

Utilização no solo do ecogesso calcítico associado ao cloreto de cálcio e seu efeito no cultivo do milho (*Zea Mays L.*)

Soil use of calcitic ecogypsum associated with calcium chloride and its effect on corn (*Zea Mays L.*)

Lucas Alchaar Matos*¹, Alexandre Sylvio Vieira da Costa¹

RESUMO

A aplicação de gesso agrícola nos solos resulta em uma melhor absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Elemento fundamental no desenvolvimento do milho, o zinco é importante em diversas etapas do seu processo fisiológico. Este trabalho teve como objetivo analisar a aplicação no solo do Ecogesso calcítico associado ao cloreto de cálcio com zinco no cultivo do milho. O Ecogesso calcítico foi aplicado em dois tipos de solos em diferentes doses, com e sem a presença do CaCl_2+Zn . As aplicações variaram de 0 a 4,0 toneladas.ha⁻¹. O solo 1 apresentou textura médio-arenosa e elevada fertilidade e o solo 2 textura médio argilosa de baixa fertilidade. A cultura avaliada foi o milho (*Zea mays L.*). Após 40 dias de desenvolvimento das plantas, verificou-se um melhor desenvolvimento da parte aérea no solo 1, de característica médio-arenosa e das raízes no solo 2, de menor fertilidade e textura médio-argilosa. No solo 1 as plantas apresentaram reduzidas respostas em relação a aplicação do Ecogesso calcítico e do CaCl_2+Zn . No solo 2 verificou-se um acréscimo contínuo das respostas das plantas com o aumento das doses de Ecogesso sem CaCl_2+Zn até as maiores doses aplicadas (4,0 toneladas.ha⁻¹).

Palavras-chave: Agricultura; Condicionador de Solo; Micronutrientes, Produção Vegetal.

ABSTRACT

The application of agricultural gypsum to soils results in better absorption of water and nutrients by plant roots. A fundamental element in the development of corn, zinc is important in several stages of its physiological process. This study aimed to analyze the soil application of calcitic ecogypsum associated with calcium chloride with zinc in corn cultivation. The calcitic ecogypsum was applied to two types of soils at different rates, with and without the presence of CaCl_2+Zn . Applications ranged from 0 to 4 tons.ha⁻¹. Soil 1 had a medium-sandy texture and high fertility and soil 2 had a medium-sandy texture of low fertility. The crop evaluated was maize (*Zea mays L.*). After 40 days of plant development, there was a better development of the shoots in soil 1, with medium-sandy characteristics, and of the roots in soil 2, with lower fertility and medium-clay texture. In soil 1 the plants showed reduced responses in relation to the application of calcitic ecogypsum and CaCl_2+Zn . In soil 2, there was a continuous increase in plant responses with increasing doses of Ecogypsum without CaCl_2+Zn up to the highest applied doses (4 tons.ha⁻¹).

Keywords: Agriculture; Soil Conditioner; Micronutrients, Plant Production.

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
*E-mail: lucasalchaar@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são fundamentais para a manutenção dos seres vivos do planeta. Esses recursos incluem os elementos básicos como água, oxigênio, alimentos, dentre outros. Segundo Córdula *et al.* (2018), as ações antrópicas e a excessiva exploração dos recursos naturais do planeta nas últimas décadas geraram uma crise ambiental sem precedentes na sociedade moderna.

Os resíduos gerados pelas indústrias são considerados um dos principais responsáveis pelas maiores agressões ao meio ambiente, à saúde pública e aos recursos naturais (SALAMONI *et al.*, 2009). Dentre os inúmeros resíduos industriais gerados diariamente estão as matérias primas para produção do Ecogesso calcítico, constituída do ácido sulfúrico residual de baterias automotivas descartadas (MORO *et al.*, 2016).

Uma das principais limitações encontradas nos solos brasileiros que comprometem o desenvolvimento das plantas é decorrente da elevada concentração de alumínio e acidez, restringindo a produção agrícola em várias áreas no mundo (COLEMAN e THOMAS, 1967).

Desta forma, uma alternativa para a neutralização da acidez do solo e redução do alumínio livre tem sido a utilização do calcário associado ao gesso agrícola. Apesar dos benefícios desta associação, Zandoná *et al.* (2015) descreveram que o uso do gesso agrícola no solo em período de déficit hídrico potencializou a produção de grãos de soja e milho, independente do uso do calcário, em sistema de plantio direto.

Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa concentração de zinco (LOPES, 1983). Desta forma, a deficiência de zinco é reconhecida como problema nutricional para a produção das culturas (FAGERIA, 2001). Isso ocorre porque o teor de zinco disponível no solo não é suficiente para suprir as necessidades das culturas agrícolas de alta demanda nutricional. Parte do zinco presente no solo encontra-se adsorvido nas partículas de argila e outra parte imobilizada no complexo orgânico do solo (ARAÚJO E SILVA, 2012).

A cultura do milho (*Zea mays* L.) constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo (PUGA, 2011). De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2004), devido à sua diversidade de utilização, seja na alimentação humana ou animal, a produção de milho assume relevante papel sócio-econômico.

A deficiência de zinco é um problema comum em muitas áreas produtoras de milho no Brasil (GALRÃO, 1996). Segundo Malavolta (1980) os sintomas de deficiência deste elemento na cultura são a clorose acentuada ao longo da nervura principal,

encurtamento dos entrenós e menor produção de folhas novas, surgindo tonalidades roxas no caule e folhas, redução no crescimento das plantas e produção de grãos. Para Fancelli e Dourado Neto (2000), o teor adequado de zinco no solo para a cultura do milho está entre 0,5 e 1,0 mg kg⁻¹.

METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no município de Ataléia/MG e no laboratório de Resíduos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) na cidade de Teófilo Otoni/MG.

O ácido sulfúrico residual foi gerado de baterias automotivas usadas e desmontadas no processo de logística reversa e o calcário calcítico adquirido em casas comerciais. Foi realizada a reação química dos dois produtos no laboratório do Campus da UFVJM. O calcário de calcítico foi adicionado ao ácido sulfúrico residual lentamente, em pequenas porções, e mantido em reação durante alguns minutos até que o pH da solução atingisse valores próximos a 6,5. Após a reação concluída, o material foi secado a sombra para retirada do excesso de umidade e colocado em estufa a 65° C durante 72 horas. Após a secagem o material foi destorroado e peneirado em peneiras de malha 0,2 mm.

O cloreto de cálcio contendo zinco (CaCl₂+Zn) foi obtido da reação do ácido clorídrico residual oriundo do processo de decapagem de chapas galvanizadas da indústria siderúrgica. Este ácido residual foi filtrado em filtros de celulose para retirada de metais tóxicos e a sua reação de neutralização realizada com o carbonato de cálcio, produzindo o CaCl₂. Como o ácido é de origem de decapagem, foi identificada uma grande quantidade de zinco na sua composição após o seu uso e que permaneceu após a sua neutralização. Após a preparação e secagem o material foi destorroado e peneirado.

As características químicas do CaCl₂+Zn estão apresentadas na Tabela 1 e do Ecogesso calcítico na Tabela 2.

Tabela 1. Composição química do cloreto de cálcio + zinco utilizado.

	Ca	Cl	Zn	Fe	Cu	Pb	Cr	Se	Hg	Ni
	mg.kg ⁻¹									
CaCl ₂ +Zn	201.448	8.720	33.128	42.361	2,03	67	26	<0,5	<0,025	9,89

Tabela 2. Características químicas do Ecogesso calcítico.

Ecogesso	MgO	CaO	Ca	S	Cd	Hg	Ar	Cr	Se	Ni	Pb
	%			mg.kg ⁻¹							
Calcítico	-	35,21	25,16	13,39	< 5,00	< 0,10	< 10,00	15,93	< 10,00	< 10,00	14,44

Para realização do experimento, foram coletadas duas amostras de solo no município de Ataléia para análise Química e Física de rotina em laboratório credenciado. O primeiro solo (Solo 1) apresentou característica textural médio-arenosa e o segundo (Solo 2) apresentou característica textural médio-argilosa. Após a realização das análises químicas os solos foram coletados no campo, secados a sombra e peneirados em peneiras de 20 mm de malha para utilização no experimento. No laboratório da UFVJM os materiais Ecogesso e CaCl₂+Zn foram preparados.

Os recipientes utilizados foram copos plásticos de 700 cm³. Os recipientes foram pintados com tinta spray prata visando bloquear a passagem de raios solares.

O experimento com o solo 1 foi conduzido na primeira etapa e o solo 2 na segunda etapa. Após a preparação dos recipientes foi utilizado o Ecogesso calcítico em um grupo experimental e o Ecogesso calcítico associado ao CaCl₂+Zn no outro grupo experimental. Os solos de cada grupo experimental receberam doses de 0,35g, 0,70g, 1,05g, 1,40g e 2,80g do Ecogesso sem a inclusão de CaCl₂+Zn e as mesmas doses de Ecogesso calcítico misturado com CaCl₂+Zn na proporção de 9:1, distribuídos em quatro repetições totalizando 80 recipientes para cada grupo experimental. As dosagens aplicadas nos vasos foram equivalentes a 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 4,0 toneladas.ha⁻¹ no campo, considerando a proporcionalidade de volume do solo no recipiente e volume do solo em um hectare a 0,10 centímetro de profundidade. Os materiais foram adicionados aos recipientes e uniformizados em sacos plásticos. O experimento foi conduzido com quatro repetições.

Em seguida, foram semeadas quatro sementes de milho hídrido (*Zea mays* L.) em cada um dos recipientes e irrigados diariamente com água. Foram acrescentados os tratamentos testemunha, sem adição de Ecogesso e Ecogesso com CaCl₂+Zn, para os dois tipos de solos com quatro repetições, totalizando mais oito vasos.

Após a semeadura nos recipientes, acompanhou-se a germinação. Após dez dias da semeadura foi realizado o desbaste das plantas mantendo-se duas plantas por vaso para ambos os experimentos. Após um período de 30 dias da germinação, as plantas foram coletadas. Foram separadas as partes aéreas das raízes de cada planta na região do coleto.

O solo foi retirado dos recipientes para a separação das raízes mergulhando-o em um balde com água. Em seguida as raízes foram colocadas em um tanque e com o auxílio de água corrente foi retiradas pequenas porções de solo que permaneciam aderidas.

Os materiais foram conduzidos para o laboratório de Ecologia e Solos do Campus da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri onde foi realizada avaliação do peso úmido das partes vegetativas das plantas de milho (parte aérea e raiz).

Os materiais foram colocados em saco de papel e em estufa de secagem por um período de 72 horas a temperatura de 60° C. Após a secagem foram novamente pesados em balança de precisão para determinação do peso seco.

Após concluir as etapas dos experimentos, todos os dados obtidos foram tabelados para análises dos resultados. Os dados foram avaliados utilizando as análises de regressão ajustada até o modelo cúbico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido em dois tipos de solos considerando suas características físico-químicas distintas. O solo denominado solo 1, coletado no horizonte A1 de um local próximo a área de vegetação arbustiva e arbórea apresentou característica textural médio-arenosa e de cor mais escura, apesar do teor de matéria orgânica não se apresentar elevado (1,19 dag kg⁻¹) (Tabela 3). O seu pH mostrou-se satisfatório para o cultivo do milho. Segundo Ribeiro *et al.* (1999), os valores de fósforo e potássio obtidos neste solo são considerados elevados, assim como o teor de cálcio. A inexistência de alumínio livre no solo e a saturação de bases de 75% indicaram não existir necessidade de aplicação de corretivos neste solo para o cultivo do milho.

O solo 2 apresentou característica textural médio-argilosa sendo coletado em um local descampado, sem vegetação e com exposição de horizonte B2. De coloração alaranjada, apresentou teor de matéria orgânica reduzido (0,50 dag kg⁻¹). O seu pH foi classificado como de acidez mediana. Os teores de fósforo e potássio são classificados como médios e os teores de cálcio e magnésio reduzidos. Apesar do teor de alumínio livre ser reduzido, apresentou acidez potencial elevada, superior ao solo 1. A saturação de bases (V) de 28% indicando ser um solo distrófico e com a necessidade de correção. Apesar de ser um solo com características mais argilosas apresentou CTC total inferior

ao solo 1, com características mais arenosas. Este fato pode ser explicado pela maior presença de argilas intensamente intemperizadas de reduzida carga.

Estes resultados estão de acordo com o descrito por Diácono e Montemurro (2010) que colocam as substâncias húmicas como componentes químicos ativos do solo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais úmidas do Brasil onde a CTC dos solos são altamente influenciadas pela matéria orgânica. Os solos tropicais apresentam uma marcante característica de acidificação em função de seu processo de intemperismo e manejo inadequado (COSTA *et al.*, 2015), comprometendo a produtividade das culturas.

Tabela 3. Análise química dos solos utilizados nos experimentos.

	pH _(H2O)	pH _(CaCl2)	P	K	Ca	Mg	Al ⁺³	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.
				mg.dm ⁻³						Cmolc dm ⁻³			%	dag kg ⁻¹
Solo 1	6,4	5,8	158	166	3,0	0,7	0,0	1,4	4,14	4,14	5,54	75	0,0	1,19
Solo 2	5,6	5,1	18	64	0,6	0,2	0,2	2,6	0,98	1,18	3,58	28	17,0	0,50

No Gráfico 1, verifica-se o desenvolvimento da parte aérea e das raízes do milho cultivados nos diferentes solos e aplicação de diferentes doses de Ecogesso calcítico com acréscimo ou não de CaCl₂+Zn. Comparando os Gráficos 1A e 1C das plantas de milho cultivadas no solo 1 com os Gráficos 1B e 1D, resultado do desenvolvimento das plantas cultivadas no solo 2, observamos uma nítida diferença na produção das plantas.

O solo 1 favoreceu de forma mais intensa o desenvolvimento do peso úmido das plantas, tanto da parte aérea quanto das raízes. No Gráfico 1A, observa-se pequenas alterações nos ganhos de massa verde da parte aérea das plantas de milho com o uso de doses crescentes de Ecogesso calcítico acrescentado de CaCl₂+Zn. Os acréscimos na massa verde foram constantes, com valores próximos a 25 gramas de peso úmido.vaso⁻¹ no tratamento testemunha, sem aplicação de Ecogesso calcítico com CaCl₂+Zn, até valores em torno de 30 gramas de peso úmido das plantas.vaso⁻¹ nas maiores doses do produto aplicado no solo. Em relação ao tratamento com doses crescentes de Ecogesso calcítico sem a presença de CaCl₂+Zn, observa-se oscilações insignificantes com os valores médios do peso úmido da parte aérea oscilando entre 24 e 26 gramas vaso⁻¹.

No solo 2, em relação ao peso úmido da parte aérea das plantas de milho (Gráfico 1B) o comportamento mostrou-se diferenciado em relação ao solo 1. Com a utilização de

doses crescentes de Ecogesso sem a presença de CaCl_2+Zn , as plantas apresentaram desempenho crescente no seu desenvolvimento. No tratamento testemunha (0 g.vaso^{-1}) o peso úmido da parte aérea das plantas foi de aproximadamente $7,0 \text{ gramas.vaso}^{-1}$, sendo crescente o aumento de massa com o aumento da dose de Ecogesso calcítico aplicada, atingindo valores próximos a 11 gramas , um acréscimo de aproximadamente 67% , com a aplicação de $1,4 \text{ gramas.vaso}^{-1}$ de Ecogesso calcítico sem a presença da CaCl_2+Zn . Esta dose corresponde a aplicação de $2,0 \text{ toneladas.ha}^{-1}$ do produto.

Quando é avaliado a aplicação do Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn neste mesmo solo, verifica-se um comportamento da parte aérea das plantas distinto em relação ao uso exclusivo do Ecogesso calcítico. Verifica-se um intenso acréscimo no peso úmido das plantas ainda nas menores doses, com o pico de produção sendo atingido com o uso de $0,7 \text{ gramas vaso}^{-1}$ do produto, equivalente a $1,0 \text{ tonelada.ha}^{-1}$, com acréscimo dos valores de peso úmido na ordem de 70% . Com o aumento da dosagem do produto no solo, a evolução do peso úmido da parte aérea tendeu a reduzir, atingindo na maior dose, o que corresponde a $4,0 \text{ toneladas.ha}^{-1}$ valores pouco acima de $8,0 \text{ gramas}$ de peso úmido das plantas.

No solo 1 a produção de peso úmido da parte aérea das plantas de milho nas diferentes doses de Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn foi superior ao uso do Ecogesso sem o CaCl_2+Zn . No solo 2 o melhor desempenho da parte aérea das plantas com o uso do Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn ocorreu até a utilização de aproximadamente $1,2 \text{ gramas vaso}^{-1}$. Acima desta dosagem até a máxima testada, observou-se um melhor desempenho do peso úmido da parte aérea das plantas utilizando apenas o Ecogesso calcítico.

No desenvolvimento das raízes (peso úmido) com a aplicação das diferentes doses de Ecogesso calcítico, com e sem o uso do CaCl_2+Zn , observou-se no solo 1 (Gráfico 1C) desempenho semelhante entre os tratamentos com pequenas alterações nos valores da massa úmida com o aumento da dosagem dos produtos aplicados no solo. No solo 2 com característica médio argilosa e reduzidos teores de nutrientes minerais, as respostas foram mais significativas em relação a resposta da produção de massa úmida pelas raízes das plantas (Gráfico 1D).

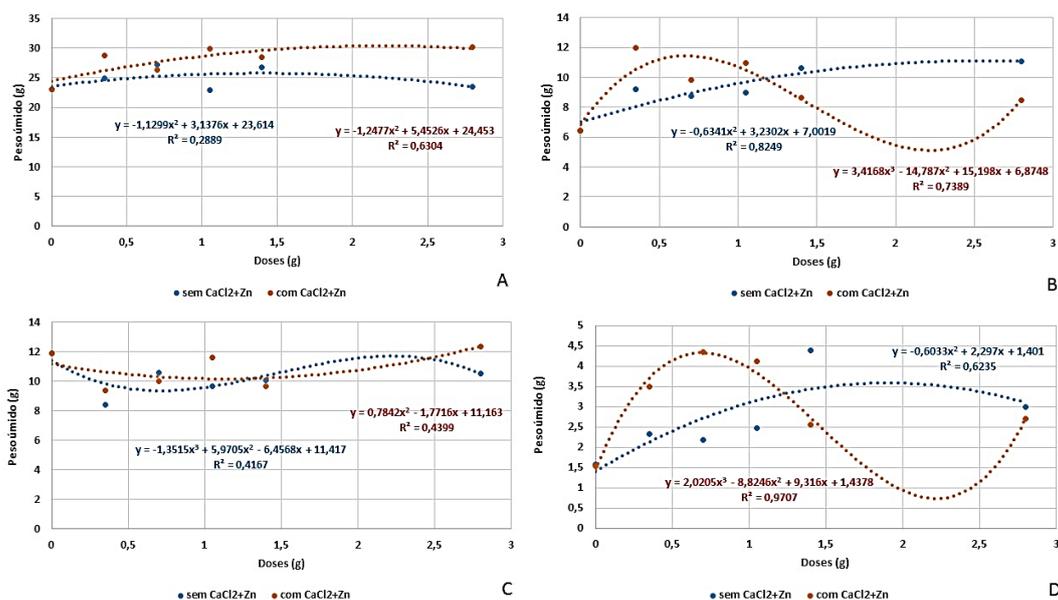
O aumento gradativo da aplicação do Ecogesso calcítico, sem a presença do CaCl_2+Zn , promoveu ganhos na massa úmida das raízes quando comparado ao tratamento testemunha. No tratamento testemunha, os valores do peso das raízes foram próximos a

1,5 grama.vaso⁻¹ e com a aplicação de aproximadamente 2,0 gramas.vaso⁻¹ de Ecogesso o peso úmido das raízes foi de 3,6 gramas.vaso⁻¹, um aumento superior a 100%, com uma pequena queda de produção até a maior dose de Ecogesso aplicada. Na aplicação de Ecogesso calcítico com CaCl₂+Zn, a resposta das raízes foi diferenciada. O pico de produção de massa úmida neste tratamento ocorreu com a aplicação de 0,70 grama.vaso⁻¹, incremento de aproximadamente 180%.

As diferenças de comportamento das plantas nos dois solos com o Acréscimo das doses do Ecogesso e do Ecogesso com CaCl₂+Zn podem estar associadas a capacidade tamponante dos solos. O solo 1 que possui maior teor de matéria orgânica e CTC total apresenta maior capacidade tamponante, fator que interfere na adsorção e liberação de elementos para a solução do solo, tanto os nutrientes minerais quanto os elementos potencialmente tóxicos. Esta condição fez com que as respostas das plantas neste solo em relação ao aumento das doses dos produtos químicos aplicados apresentassem ação reduzida, tanto na parte aérea quanto nas raízes, principalmente em relação ao CaCl₂+Zn.

Corroborando com os resultados deste trabalho, Lima *et al.* (2007), demonstraram o potencial tampão do solo promovido pela matéria orgânica na redução dos danos ao desenvolvimento das plantas. Aplicando alumínio no solo, verificou uma redução no desenvolvimento das plantas de mamona, mas revertendo a resposta com a adição da matéria orgânica neste mesmo solo.

Gráfico 1. Peso úmido da parte aérea (A) e das raízes (C) das plantas de milho cultivadas no solo 1 e da parte aérea (B) e das raízes (D) das plantas de milho cultivadas no solo 2.



O peso seco das plantas apresentou um comportamento próximo ao ocorrido na avaliação da massa verde (Gráfico 2). Na parte aérea das plantas com as diferentes dosagens de Ecogesso calcítico, com e sem a presença de CaCl_2+Zn , no solo 1 (Gráfico 2A), observa-se as tendências de comportamento das curvas. Em todas as doses aplicadas verificou-se um melhor desempenho da parte aérea com a utilização do Ecogesso calcítico acrescido de CaCl_2+Zn . Apesar disto, os ganhos registrados na massa seca foram muito reduzidos em relação ao aumento da aplicação dos produtos no solo.

No solo 2, a produção da massa seca da parte aérea das plantas de milho em função do aumento de aplicação dos produtos se mostrou diferenciado. Verificou-se um ganho constante com o aumento da aplicação do Ecogesso calcítico sem CaCl_2+Zn até a dose máxima aplicada correspondente a $4,0 \text{ toneladas} \cdot \text{ha}^{-1}$. Este aumento contínuo resultou em ganhos de massa seca na ordem de 50%, fato que não ocorreu com a aplicação do Ecogesso calcítico acrescido de CaCl_2+Zn . Neste caso, as menores doses promoveram os maiores ganhos na massa seca das plantas, na ordem de 50% em relação a testemunha. Semelhante ao ocorrido na avaliação da massa úmida, as reduções de produção da massa seca da parte aérea do milho a partir deste ponto foram significativas até a maior dosagem aplicada dos produtos, obtendo-se valores abaixo do tratamento testemunha (Gráfico 2B).

Em relação a massa seca das raízes, observou-se um comportamento semelhante ao obtido no peso úmido (Gráfico 2C). No solo 1, com melhores características químicas, observou-se falta de resposta das raízes em relação ao aumento da aplicação do Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn , com uma pequena resposta sendo obtida na maior dosagem do produto ($2,8 \text{ gramas} \cdot \text{vaso}^{-1}$). Com a utilização do Ecogesso calcítico sem a presença do CaCl_2+Zn , as respostas da produção da massa seca das raízes oscilaram, apresentando melhor desempenho de produção na dosagem de aproximadamente $2,1 \text{ gramas} \cdot \text{vaso}^{-1}$.

No solo 2 (Gráfico 2D), o comportamento do desenvolvimento das raízes foi distinto em relação aos tratamentos. Com a utilização do Ecogesso calcítico sem a presença do CaCl_2+Zn , ocorreram ganhos significativos até a dosagem de aproximadamente $2,0 \text{ gramas} \cdot \text{vaso}^{-1}$, com aumento de produção das plantas de milho da ordem de 50% e pequena queda na maior dose testada. Com a utilização do Ecogesso calcítico acrescido de CaCl_2+Zn , os ganhos da massa seca das raízes foram menores, na ordem de 30% nas menores doses aplicadas no solo. A partir deste ponto, as quedas de

produção são significativas, abaixo dos resultados obtidos pela testemunha até a maior dose aplicada (2,8 gramas.vaso⁻¹) indicando toxidez nas plantas.

No solo 2, de menor teor de matéria orgânica, CTC e conseqüentemente efeito tampão, podemos observar um maior impacto da ação do CaCl₂+Zn no desenvolvimento das plantas de milho, na parte aérea e nas raízes. Conforme descrito na Tabela 1, alguns elementos se apresentam em elevadas concentrações no composto como o cálcio com 201 g.kg⁻¹; o cloro com 8,7 g.kg⁻¹, o zinco com 33,1 g.kg⁻¹ e o ferro com 42,3 g.kg⁻¹. Considerando que a aplicação nos solos foi da mistura 9:1 de Ecogesso e CaCl₂+Zn, as aplicações de CaCl₂+Zn no solo atingiram valores de 400 kg.ha⁻¹ na maior dose aplicada, podendo gerar toxidez de alguns elementos de forma individual ou em ação sinérgica.

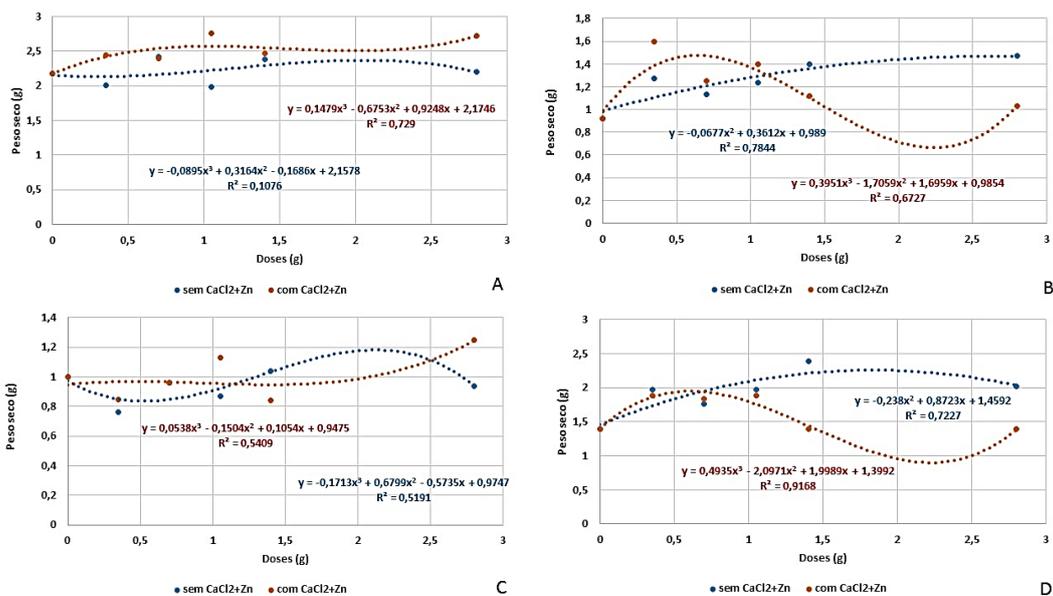
Segundo White e Broadley (2001), plantas sensíveis ao cloro toleram no máximo 16mM.L⁻¹ e plantas tolerantes até 200mM. L⁻¹. Segundo Marschner (2012), as plantas exigem 0,2 a 0,4 g.kg⁻¹ de cloro na matéria seca, mas em algumas culturas podem ser encontrados entre 2,0 e 20 g de cloro por quilo de matéria seca.

Segundo Kirkby e Romnheld (2007), devido a reduzida necessidade deste elemento pelas plantas, são encontrados mais relatos de toxicidade promovida pelo cloro quando comparado a deficiência. Gomes *et al.* (2017), descreve que o estresse vegetal devido ao excesso de cloro afeta a absorção e redistribuição dos nutrientes resultando em menor crescimento e desenvolvimento das plantas.

O ferro é outro possível elemento causador da toxidez das plantas. Segundo Kogel-Kanabner *et al.* (2010), a disponibilidade de ferro no solo depende de suas características físico-químicas, como textura, matéria orgânica, pH, potencial redox e fertilidade do solo, variáveis que explicam a diferença de comportamento das plantas de milho cultivadas nos diferentes solos avaliados neste trabalho.

A toxidez nas plantas promovida pelo excesso de ferro, segundo Sosbai (2014) promove redução na absorção de nutrientes. Segundo Jiang *et al.* (2009) a principal redução na absorção pelas raízes ocorre em relação aos elementos fósforo, cobre e zinco.

Gráfico 2. Peso seco da parte aérea (A) e das raízes (C) das plantas de milho cultivadas no solo 1 e da parte aérea (B) e das raízes (D) das plantas de milho cultivadas no solo 2.



Em relação ao peso úmido total das plantas de milho (parte aérea+raiz) verifica-se um comportamento distinto das plantas em relação aos produtos avaliados (Ecogesso calcítico com e sem a presença do CaCl₂+Zn).

No solo 1 (Gráfico 3A) verificou-se que, com o acréscimo da dose do Ecogesso calcítico com CaCl₂+Zn, a massa úmida total aumentou até a maior dose aplicada (2,8 g vaso⁻¹). Em relação ao tratamento testemunha o aumento da produção das plantas até a maior dose aplicada foi de aproximadamente 20%. Para o tratamento com aplicação do Ecogesso calcítico sem a presença do CaCl₂+Zn, apesar do menor ajuste da curva, não foi identificado um comportamento definitivo das plantas, sem alterações significativas na produção de massa úmida. Nas curvas dos dois tratamentos verifica-se um melhor desempenho das plantas no tratamento Ecogesso calcítico com CaCl₂+Zn com o aumento das doses aplicadas no solo. Na maior dose aplicada dos dois produtos, as plantas apresentaram diferenças de produção do peso úmido de aproximadamente 23%.

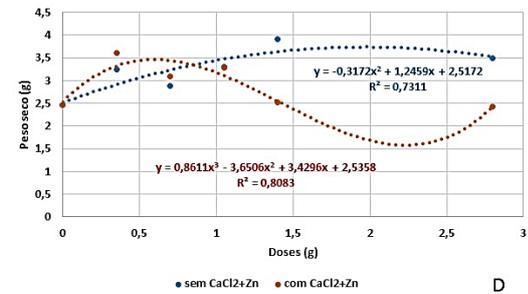
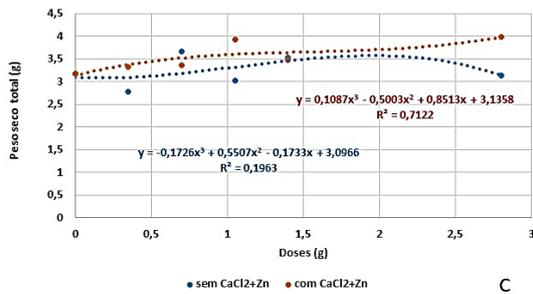
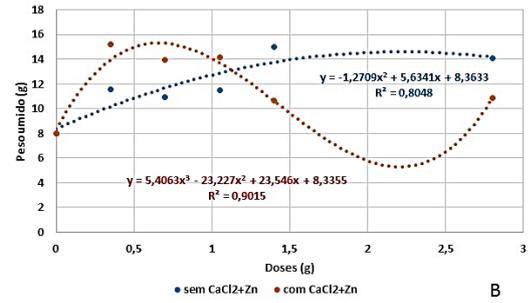
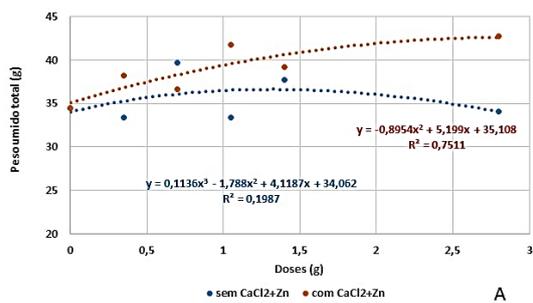
Quando se analisa os valores do peso úmido total das plantas no solo 2 (Gráfico 3B), verifica-se um comportamento diferenciado das plantas em função do produto utilizado. Neste solo o aumento das doses aplicadas de Ecogesso calcítico sem a presença de CaCl₂+Zn promoveu um crescimento contínuo na massa verde das plantas até a maior dose utilizada. No tratamento testemunha, a produção da planta foi de 8,35 gramas.vaso⁻¹ e atingindo valores superiores a 14 gramas.vaso⁻¹ nas maiores doses, um acréscimo superior a 80% na sua produção.

Na utilização do Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn observa-se um efeito intenso nas doses iniciais com acréscimos na massa úmida superior a 90%, seguido de queda intensa com o aumento da dose aplicada no solo, tendência semelhante à ocorrida quando avaliou-se o peso úmido da parte aérea e das raízes. Verifica-se que, de modo geral, a massa úmida das plantas de milho foi maior no solo 1 em comparação ao solo 2, provavelmente pela sua melhor característica físico-química, que beneficiou as plantas.

Em relação ao peso seco total das plantas de milho no solo 1 observa-se um comportamento muito próximo das plantas quando comparamos os dois produtos testados no solo (Ecogesso calcítico com e sem a presença do CaCl_2+Zn). No tratamento do Ecogesso calcítico com CaCl_2+Zn as plantas apresentaram um aumento de produção crescente atingindo peso seco total das plantas de 4,0 gramas.vaso⁻¹ na maior dose testada (2,8 gramas.vaso⁻¹), um aumento de aproximadamente 20% em relação a testemunha. Este comportamento não foi observado no tratamento Ecogesso calcítico sem CaCl_2+Zn onde os valores do peso seco das plantas não apresentaram um bom ajuste da curva.

No solo 2 verificou-se um comportamento na produção de matéria seca total das plantas semelhante ao observado no peso úmido (Gráfico 3D). Apesar do peso úmido total das plantas se apresentar, em média, maior no solo 1 em relação ao solo 2, no peso seco esta diferença mais significativa não foi verificada, com os valores se apresentando mais próximos. Este fato ocorreu devido as características de desenvolvimento das raízes do milho nos diferentes solos. Verificou-se que no solo 1, de textura médio-arenosa e de características químicas mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, a massa úmida das raízes se mostrou mais elevada em relação ao solo 2, de textura médio-argilosa e de características químicas menos favoráveis, mas em relação ao peso seco em média, a massa seca das raízes foi superior no solo 2 em relação ao solo 1, fato que não aconteceu com a parte aérea onde na média geral, tanto para o peso seco quanto para o peso úmido a massa foi maior para as plantas cultivadas no solo 1 em relação ao solo 2.

Gráfico 3. Peso úmido (A) e peso seco total (C) das plantas de milho cultivadas no solo 1 e peso úmido total (B) e peso seco total (D) das plantas de milho cultivadas no solo 2.



Apesar da redução do desempenho das plantas de milho no solo 2 com as elevadas doses de CaCl_2+Zn aplicadas, não foram observadas nas plantas sintomas de toxidez. Estes resultados corroboram com os obtidos por Amaral *et al.* (2017) onde foram aplicadas elevadas doses de zinco, mas sem a ocorrência de sintomas de toxidez nas folhas, mas com a redução na produção de massa seca das plantas de milho.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste trabalho em relação ao desempenho das plantas de milho podemos concluir:

- As plantas apresentaram um melhor desenvolvimento da parte aérea no solo 1, de característica textural médio-arenosa e das raízes no solo2, de menor fertilidade e textura médio-argilosa;

- No solo 1, de maior fertilidade e teor de matéria orgânica, as plantas apresentaram reduzidas respostas em relação a aplicação do Ecogesso e do CaCl_2+Zn em relação ao desempenho do peso seco e verde e a sua significância;

- No solo 2, de textura médio-argilosa e de menor fertilidade inicial, verificou-se um acréscimo contínuo das respostas das plantas com o aumento das doses de Ecogesso sem CaCl_2+Zn até as maiores doses aplicadas (4,0 toneladas.ha⁻¹). Com o acréscimo do CaCl_2+Zn ao Ecogesso as plantas apresentaram ganho no desempenho nas menores doses, mas com queda no desenvolvimento nas maiores doses aplicadas;

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. A.; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. **Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas do solo.** Revista Agrarian, v.10, n.35, p.31-41, 2017.
- ARAÚJO, E. O.; SILVA, M. A. C. **Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Pernambuco, v. 7, n. 1, p.720-727, 2012.
- CÓRDULA, E. B. L., NASCIMENTO, G. C. C.; LUCENA, R. P. F. **Comunidade, meio ambiente e etnociência: saberes locais na conservação dos recursos naturais.** Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA), v.13, n.2, p.85–103, 2018.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ARAÚJO U. N.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; CAVASANO, F. A.; FILHO, M. C. M. T. **Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 10, n. 1, p. 8-16, 2015.
- DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. **Long-term effects of organic amendments on soil fertility.** A review. Agronomy for Sustainable Development v. 30, p.401–422, 2010.
- FAGERIA, N. K. **Avaliação de genótipos de arroz na eficiência de uso de zinco.** Scientia agricola, v.58, p.623-626, 2001.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** 2ª. ed. Piracicaba, 2004. 360 p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba:Agropecuária, 2000. 360p.
- GALRÃO, E. Z. **Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.283-289, 1996.
- GOMES, M. A. C.; PESTANA, I. A.; CATARINA, C. S.; DAVIS, R. A. H.; SUZUKI, M. S. **Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl.** Acta Limnologica Brasiliensia, v. 29, n. 0, p.1–13, 2017.
- JIANG, F. Y.; CHEN, X.; LUO, A. C. **Iron plaque formation on wetland plants and its influence on phosphorus, calcium and metal uptake.** Aquat Ecol., v.43, p.879–890, 2009.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade.** Informações agronômicas, v. 118, n. 2, p. 1–24, 2007.
- KÖGEL-KNABNER, I.; AMELUNG, W.; CAO, ZHI-HONG.; FIEDLER, S.; FRENZEL, P.; JAHN, R.; KALBITZ, K.; KÖLBL, A.; SCHLOTTER, M. **Biogeochemistry of paddy Soils.** Geoderma, v.157, p. 1-14, 2010.
- LIMA, R. de L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica.** Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15–21, 2007.

- LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: características propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFÓS, 1983. 162p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, 251p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.
- MORO, L.; SIMONETE, M. A.; WARMLIG, M. T.; PAULINO, P. da S.; WARMLING, M. I. **Efeito de lama de cal na produção de massa seca da parte aérea da aveia preta**. ii simpósio internacional de inovação em cadeias produtivas do agronegócio, Universidade de Caxias do Sul, 2016. Caxias do Sul, RS.
- PUGA, A. P. **Modos de aplicação de zinco em milho e sorgo cultivados em latossolo vermelho distrófico**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011. Jaboticabal, SP.
- SALAMONI, R.H., PINHEIRO, R.J.B., NUMMER, A.V. **Processo operacional da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita**. Santa Maria, RS. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.14, p.43-50, 2009.
- SILVEIRA, V. C.; OLIVEIRA, A. P.; SPEROTTO, R. A.; ESPINDOLA, L. S.; AMARAL, L.; DIAS, J. F.; CUNHA, J. B.; FETT, J. P. **Influence of iron on mineral status of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 19, n. 2; p. 127-139, 2007.
- SOSBAI -Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasília**. In: Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, Bento Gonçalves, RS. Anais SOSBAI, 188p., 2014.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. **Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review**. Annals of Botany, v. 88, n. 6, p. 967-988, 2001.
- ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. **Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja**. Pesquisa Agropecuária Tropical: v.45, n.2, p.128-137, 2015.

Recebido em: 18/11/2022

Aprovado em: 21/12/2022

Publicado em: 28/12/2022