

Propriedades químicas do solo e morfologia radicular da soja sob aplicação de diferentes granulometrias de calcário

Soil's chemical properties and radicular morphology of soybean after the application of different limestone granulometries

Rafael Felipe Ratke¹, Tiago da Silva Rodrigues², Aline Assis Cardoso³, Joaquim José Frazão⁴, Eliana Paula Fernandes Brasil⁵, Alan Mario Zuffo⁶

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar o uso de diferentes granulometrias do calcário e o uso de CaCO₃+MgCO₃ nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico e sua correlação com parâmetros de desenvolvimento da cultura da soja. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Os tratamentos utilizados foram a aplicação de CaCO₃+MgCO₃, e calcário com granulometrias de 2,00 a 0,82 mm, 0,30 a 0,20 mm e 0,05 a 0,01 mm, sendo o tratamento controle o solo sem calcário. As avaliações foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos. As avaliações foram feitas em laboratório, analisando atributos químicos como o pH (em H₂O), H⁺+Al³⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. Na soja, 45 dias após a emergência, foram avaliados a massa seca da parte aérea e de raízes, como também; área radicular, diâmetro radicular, comprimento radicular e volume de raiz. Aos 15 dias de reatividade, foi observado maior aumento de pH ao utilizar a granulometria entre 0,30 e 0,20 mm e CaCO₃+MgCO₃, no entanto; é visto que os demais tratamentos de uma forma geral foram eficientes na elevação do pH. A maior massa radicular de soja foi observada com o uso de calcário com granulometria acima de 0,82 mm. A aplicação de calcário com granulometria de 0,30 a 0,20 mm e CaCO₃+MgCO₃ promoveu maior massa da parte aérea da soja.

Palavras-chave: *Glycine max.* Massa seca. pH. Saturação por bases.

ABSTRACT: The use of different limestone granulometries and CaCO₃+MgCO₃ in chemical attributes of dystrophic Red Latosol and their co-relationship with parameters of development of soybean culture are evaluated. Assay was totally randomized, with four replications. Treatments comprised application of CaCO₃+MgCO₃, limestone with granulometries between 2.00 and 0.82 mm; 0.30 and 0.20 mm; 0.05 and 0.01 mm; control consisted of soil without limestone. Evaluations were undertaken at 15, 30 and 45 days after application of treatments. Evaluation were undertaken in the laboratory by analyzing chemical attributes such as pH (in H₂O), H⁺+Al³⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺. Dry matter of the areal and root section, radicular area, radicular diameter, radicular length and root volume were evaluated forty-five days after soybean emergence. After 15 days of reactivity, a greater pH increase was detected when granulometry between 0.30 and 0.20 mm and CaCO₃+MgCO₃ were employed. However, other treatments were also somewhat efficient in pH increase. Greatest soybean radicular mass was detected when limestone with granulometry larger than 0.82 mm was used. The application of limestone with granulometry between 0.30 and 0.20 mm and CaCO₃+MgCO₃ triggered a greater mass in soybean aerial section.

Keywords: Dry matter. *Glycine max.* pH. Saturation per bases.

Autor correspondente:

Rafael Felipe Ratke: rfratke@gmail.com

Recebido em: 09/12/2019

Aceito em: 11/05/2020

INTRODUÇÃO

Os solos de regiões tropicais, em geral, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas e a acidez do solo restringe a produção agrícola. Os Latossolos localizados na região dos cerrados, no Brasil, são naturalmente ácidos, e apresentam baixa fertilidade devido ao seu material de origem e ao intemperismo acentuado das

¹ Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS), Brasil.

² Acadêmico de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul (MS), Brasil.

³ Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, Goiânia (GO), Brasil.

⁴ Docente substituto do Instituto Federal Goiano - IF Goiano, Campus Iporá, Iporá (GO), Brasil.

⁵ Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, Goiânia (GO), Brasil.

⁶ Doutor em Agronomia, pesquisador e editor chefe da Pantanal Editora, Nova Xavantina (MT), Brasil.

regiões tropicais. O uso de calcário é a forma mais eficiente e barata de corrigir a acidez do solo (GOULDING, 2016; AULER *et al.*, 2017). No Brasil, em 2018 foram utilizados aproximadamente 42 milhões de toneladas de calcário, consumo que vem aumentando ao longo dos anos (ABRACAL, 2019).

Os materiais calcários apresentam diferentes características físicas e químicas em função da sua origem, que influenciam a sua reatividade e poder de neutralização da acidez do solo (GOVINDASAMY *et al.*, 2017; RATKE *et al.*, 2018). Os calcários são oriundos de rochas sedimentares e metamórficas, principalmente de rochas calcíticas e dolomíticas, que passam pelo processo de moagem (PARAHYBA, 2009). A sua reatividade depende da concentração de CaCO e MgCO presente no material calcário e de sua granulometria após a moagem. Calcários com partículas mais grosseiras reagem mais lentamente no solo, e podem apresentar maior poder residual no solo que os calcários finamente moídos (QUAGGIO, 2000).

No Brasil, considera-se que o calcário agrícola que fica retido na peneira ABNT n° 20 apresenta 20% de reatividade, que fica retido na peneira ABNT n° 50 apresenta 60% de reatividade, e que passa na peneira ABNT n° 50 apresenta 100% de sua reatividade em 3 meses após a sua aplicação no solo (PARAHYBA, 2009). Porém, com a evolução tecnológica os calcários podem ser mais finos (RATKE *et al.*, 2014b), e apresentar granulometria de nanopartículas (GOVINDASAMY *et al.*, 2017). Dessa forma, o produtor pode escolher qual a granulometria de calcário utilizar, o que geralmente é definido por fatores técnicos e econômicos.

A soja é a principal cultura cultivada no Brasil, com aproximadamente 36 milhões de há com produção total estimada em 115 milhões de toneladas de grãos na safra 2019/2020 (CONAB, 2019). O uso de calcário permitiu o cultivo de soja no Brasil na região dos cerrados (FAGERIA *et al.*, 2014), pois a soja não é adaptada a solos ácidos e pobres em nutrientes.

A produtividade de soja e demais culturas em solos ácidos deve-se ao uso de calcário para corrigir a acidez do solo (COSTA *et al.*, 2016). Assim, o uso de calcário nos sistemas de produção agrícola em solos ácidos é indispensável.

O uso de diferentes fontes e faixas de reatividade de calcário não proporcionaram diferenças nas produtividades de milho e soja (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015). Porém, calcário com maior granulometria promoveu o maior desenvolvimento radicular e produtividade de milho no primeiro ano de cultivo após a calagem (RATKE *et al.*, 2018). Nesse contexto, os diferentes materiais calcários apresentam variações na eficiência agrônômica, quando observados em diferentes culturas. Além disso, o tempo de correção da acidez do solo pode variar entre diferentes granulometrias de calcário, afetando a disponibilidade de nutrientes no solo, a produção e a morfologia do sistema radicular de plantas de soja.

Devido à importância que a cultura da soja representa para o Brasil, estudos sobre calcário são necessários, sobretudo; em solos de Cerrado, onde os processos de acidificação são acelerados. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes granulometrias de calcário em função do tempo de reatividade nos atributos químicos do solo e nos parâmetros de desenvolvimento da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em outubro de 2010, em casa de vegetação na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, localizado na latitude: 16° 36'6,91" S, longitude: 49° 16'57,22" WO. O clima conforme Köppen, classificado como tropical chuvoso, tendo caráter sub-úmido, com estação úmida e seca bem definidas (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

2.2 REATIVIDADE DOS CALCÁRIOS

Os tratamentos consistiram do uso de material calcário com diferentes granulometrias e CaCO+MgCO (Tabela 1). Para a elaboração do tratamento de CaCO+MgCO, estes foram misturados respectivamente na proporção de 3:1 na base gravimétrica de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio.

Tabela 1. Descrição dos materiais corretivos da acidez do solo

Materiais Calcários	Peneira (ABNT ¹)	Reatividade	PN ²	PRNT ³	Dose calcário utilizado	Dose calcário utilizado
		%			(mg 500 ml ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
Controle	-	-	-	-	-	-
CaCO+MgCO	-	100	100	100	28,57	1,90
0,82 - 2,00 mm	10	20	100	20	142,85	9,50
0,20 - 0,30 mm	100	100	100	100	28,57	1,90
0,05 - 0,01 mm	325	100	100	100	28,57	1,90

¹ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

²PN - Poder de neutralização.

³PN - Poder relativo de neutralização total.

A dose de calcário recomendada foi calculada para elevar a saturação por bases do solo a 50% (SOUSA; LOBATO, 2004), baseada na análise de solo do experimento (Tabela 2). O solo utilizado foi coletado entre 0,40 m a 0,60 m de profundidade em uma área de cerrado nativo da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. O perfil de solo coletado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico baseado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018).

Tabela 2. Análise química e física do solo utilizado no experimento

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	K ⁺	SB ¹	T ²	P	V ⁴	MO ⁵	AREIA	SILTE	ARGILA
H ₂ O	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³			%	-----g kg ⁻¹ -----			
4,30	0,80	0,40	0,40	5,20	0,18	1,38	6,59	5,60	21,09	1,50	370	175	455

¹SB: soma de bases; ²T: capacidade de troca de cátions; ³V: saturação por bases; ⁴MO: Matéria Orgânica.

O calcário utilizado no experimento foi coletado e acondicionado em sacos plásticos, posteriormente enviados para o laboratório de Análises de Solos e Foliar da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (LASF/EA/UFG), para que fossem separados nas granulometrias utilizadas no experimento através de peneiras apropriadas. Após a separação, os diferentes tipos de granulometrias foram analisados quimicamente em laboratório visando caracterizar a reatividade e a quantificar o teor de cálcio e magnésio. O calcário utilizado foi extraído de rochas metamórficas e possuía os teores de 38% de CaO e 13% de MgO. A reatividade do material calcário está descrita no Quadro 1. O calcário com granulometria de 0,82 a 2,00 mm; teve a dose aumentada em 5x devido à sua reatividade, para garantir a equidade dos tratamentos calcários, preservando o efeito da granulometria (QUAGGIO, 2000).

Os materiais calcários foram aplicados ao solo e homogeneizados. Posteriormente, os solos com os diferentes calcários foram acondicionados em recipientes plásticos de 500 mL, sendo que cada recipiente foi considerado uma parcela. A irrigação dos recipientes foi realizada para manter a umidade a 60% da capacidade do solo, controlada gravitacionalmente utilizando uma balança de precisão (0,001 g).

As avaliações foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias após a aplicação dos materiais calcários coletando-se com auxílio de uma pequena sonda os solos dos recipientes, de 0,05 m de altura e diâmetro de 0,02 m, em dois pontos aleatórios da parcela. Os solos coletados foram homogeneizados, peneirados em peneira de 2.00 mm e secos ao ar, para a sua análise química. As análises dos atributos químicos dos solos foram: pH (H₂O), H⁺ + Al³⁺, Al³⁺, Ca²⁺, P, K⁺ e Mg²⁺ (TEIXEIRA *et al.*, 2017). O P e K⁺ foram extraídos do solo em solução de Mehlich⁻¹ (HCl 0.05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ extraídos do solo em solução de KCl (1,0 mol L⁻¹) e H⁺ + Al³⁺ extraído em solução de acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹ a pH 7,1). A partir dos resultados, foram calculadas a capacidade de troca catiônica total (T) e os valores de saturação por bases (V).

2.3 SOJA EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES CALCÁRIOS

A cultura da soja foi cultivada em vasos de 6 dm³ com solo descrito no Quadro 2. Nos vasos foram aplicados, incorporados e homogeneizados no solo os materiais calcários correspondentes a cada tratamento descrito no Quadro 1. Devido aos baixos níveis nutrientes no solo (Quadro 2), foi necessária a adubação de plantio da soja, seguindo a recomendação de Souza; Lobato (2014). Dessa forma, após 45 dias do uso dos materiais calcários, foram aplicados 1,05 g por vaso, correspondente a 350 kg ha⁻¹, do adubo formulado N-P₂O₅-K₂O, na proporção 2-20-18, o fertilizante foi incorporado ao solo e homogeneizado manualmente em cada vaso.

Posteriormente foi realizada a semeadura de quatro sementes de soja da cultivar ValiosaRR. As sementes de soja foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente. Também foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ células viáveis por mL), na dose de 150 mL para 50 kg de sementes. A inoculação consistiu na mistura homogênea entre sementes e inoculante em recipiente de vidro previamente esterilizado.

472

Aos 15 dias após a emergência da soja (DAE) foi realizado o desbaste deixando 2 plantas por vasos, e aplicou-se 6 mL vaso⁻¹ de uma solução de micronutrientes contendo: B=0,3, Cu=0,02, Fe=2, Mn=0,4, Mo=0,06 e Zn=0,06 mg L⁻¹ conforme recomendado por Furlani *et al.* (1999).

Aos 45 DAE, retirou-se, com uma sonda de 0,20 m de altura e 0,05 m de diâmetro, solo de quatro pontos do vaso. O solo foi preparado e analisado conforme descrito no experimento de reatividade de calcário no solo. Após a coleta de solo, a soja foi coletada dos vasos separando-se parte área da parte radicular. As raízes foram lavadas para retirar o solo, e posteriormente escaneadas conforme recomendados por Ratke *et al.* (2014a), mensurando área radicular, diâmetro radicular e comprimento radicular através do *software* Safira[®] (JORGE; SILVA, 2010). Em seguida, foi determinado o volume radicular utilizando o método volumétrico (BASSOI *et al.*, 2001) e a massa seca de raiz. As partes aéreas e as raízes de soja foram colocadas em estufa a 65 °C por 72 horas e pesadas em balança (0,001g) para obter o peso seco desses materiais.

2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições, sendo o experimento de reatividade de calcário no solo em esquema fatorial no tempo (15, 30 e 45 dias). Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com a aplicação do teste F a 5% de probabilidade, e quando significativo, aplicou-se teste Tukey (P < 0,05).

Os resultados para os parâmetros da soja e atributos químicos do solo foram avaliados por rede de correlações de Pearson (P > 0.6). A rede de correlação foi utilizada para expressar graficamente os resultados, nos quais a proximidade entre os nós (traços) são proporcionais aos valores de correlação absoluta entre os parâmetros avaliados. A espessura da borda foi controlada pela estimativa das correlações, onde as correlações positivas foram destacadas

em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em vermelho. A ANOVA, teste de média de Tukey e a rede de correlação de Pearson foram feitas através do *software* RBio (BHERING, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 REATIVIDADE DOS CALCÁRIOS NO SOLO

De forma geral, todos os materiais calcários mostraram-se eficientes em manter o pH desejado, ou seja, próximo ao valor de 6,0, consequentemente, estes calcários diminuíram os teores de $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} do solo (Tabela 3). A reatividade foi proporcional ao tempo, apresentando uma acidificação do solo a partir dos 30 dias nos tratamentos de $CaCO_3 + MgCO_3$, 0,30-0,20 mm e 0,05-0,01 mm. No tratamento de 2,00-0,82 mm, o pH foi menor aos 45 dias após a aplicação deste calcário, e apresentou o menor valor de pH comparado às granulometrias mais finas.

Tabela 3. Teores médios de pH, $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} do solo em função da aplicação de materiais calcário e tempo de reatividade

Tempo de Reatividade	Tratamentos					média	CV (%)
	Controle	CaCO + MgCO	2,00-0,82 mm	0,30-0,20 mm	0,05-0,01 mm		
Dias	pH (H₂O)						
15	4,80 aC*	6,40 aAB	6,35 aAB	6,47 aA	6,32 aB	6,07	0,99
30	4,73 abC	6,20 bB	6,35 aA	6,30 bAB	6,18 bB	5,95	
45	4,63 bC	6,18 bA	5,73 bB	6,15 cA	6,23 abA	5,78	
Média	4,72	6,26	6,14	6,31	6,24	-	-
CV (%)	1,18					-	-
	H⁺ + Al³⁺ (cmol_c dm⁻³)					média	CV (%)
15	2,58 bA	1,79 bB	1,70 cB	1,65 bB	1,70 bB	1,87	4,88
30	3,03 aA	1,95 aB	1,90 bB	1,95 aB	1,90 aB	2,15	
45	2,65 bA	1,90 aC	2,10 aB	1,85 aC	1,90 aC	2,08	
Média	2,75	1,85	1,90	1,82	1,83	-	-
CV (%)	2,84					-	-
	Al³⁺ (cmol_c dm⁻³)					média	CV (%)
15	0,00b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,42
30	0,10aA	0,00B	0,00B	0,00B	0,00B	0,10	
45	0,00b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Média	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
CV** (%)	15,92					-	-

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$). ** CV: Coeficiente de Variação.

O aumento do pH do solo é proporcionado pelo uso do calcário e sua reatividade está relacionada à sua granulometria (MELLO *et al.*, 2003; RATKE *et al.*, 2018). O calcário com granulometria menor que 0,30 mm proporciona correção do pH mais rapidamente, pela maior reatividade do material (GOULDING, 2016). Porém, cal-

cário com maior granulometria proporciona maior poder residual, que resulta na manutenção dos valores de pH (QUAGGIO, 2000).

Os materiais calcários utilizados apresentam menor valor de pH aos 45 dias após sua aplicação. A rápida liberação de Ca e Mg saturou a superfície coloidal do solo, e assim o Ca e Mg presentes na solução do solo podem ter sido removidos por lixiviação devido às irrigações ocorridas no experimento. A acidificação do solo pode ocorrer pela exsudação de íons de H⁺ pelas raízes das plantas, pela reação de fertilizantes no solo, pela presença de H⁺ na água da chuva, e a lixiviação das bases nas regiões tropicais (QUAGGIO, 2000).

Os calcários em diferentes granulometrias foram eficientes na redução da acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) e trocável (Al³⁺) do solo quando comparado ao controle. Os tratamentos não diferiram entre si, exceto a granulometria de 2,00 a 0,82 mm, que obteve valor maior de acidez potencial aos 45 dias após a aplicação. Assim como o pH, a acidez potencial e a acidez trocável também foi modificada ao longo do tempo, mostrando baixo efeito residual dos materiais calcários utilizados. Em todos os tratamentos, pode ser observado um aumento da acidez quando se comparam as médias do primeiro e do último período de avaliação (15 e 45 dias, respectivamente). Por outro lado, Alvarez *et al.* (2010) verificaram que o uso de granulometria fina de calcário promoveu rápido aumento do pH e redução do teor de alumínio no solo.

Adicionalmente, o uso de calcário com granulometria de 2,00 a 0,82 mm apresentou efeito residual no controle da acidez do solo no cultivo de milho após 18 meses da aplicação (RATKE *et al.*, 2018), efeito não observado nesta pesquisa. O Al³⁺ complexa com íons hidroxila (OH⁻) precipitando-se devido ao aumento do pH do solo acima do teor de 5,5 (ALLEONI *et al.*, 2010).

Os materiais calcários apresentaram interação significativa com o tempo de reatividade para teores de Ca, P e K do solo (Tabela 4). Os teores de Ca do solo foram elevados em função do uso de materiais calcários independente da sua granulometria (Quadro 4). Porém, o uso de calcário com granulometria grosseira, acima de 0,82 mm, não proporcionou aumento nos teores de Ca e Mg do solo com rotação de milho e pastagem (VIADÉ *et al.*, 2011).

Tabela 4. Teores de cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K) em função das granulometrias de calcário e tempo de reatividade em Latossolo Vermelho Distrófico. Goiânia (GO), 2010

(Continua)

Tempo de Reatividade	Tratamentos					média	C.V. (%)
	Controle	CaCO + MgCO	2,00-0,82 mm	0,30-0,20 mm	0,05-0,01 mm		
Dias	Ca (cmol_d dm⁻³)						
15	0,85 aB	2,00 aA	2,03 aA	1,73 aA	2,00 aA	1,72	18,46
30	0,78aB	1,78 aA	2,18 aA	1,50 aA	1,45 bA	1,68	
45	0,60 aB	1,78 aA	1,48 bA	1,45 aA	1,65 abA	1,39	
Média	0,98	1,85	1,89	1,56	1,70	-	-
C.V. (%)	18,95					-	-
	P (mg dm⁻³)					média	C.V. (%)
15	1,48 aA	1,33 aA	1,63 aA	1,25 aA	1,13 aA	1,36	41,25
30	0,78 bA	1,05 aA	0,58 bA	0,58 bA	0,50 bA	0,70	
45	0,43 bA	0,30 bA	0,55 bA	0,70 abA	0,95 abA	0,59	
Média	0,89	0,89	0,92	0,84	0,86	-	-
C.V. (%)	33,02					-	-

(Conclusão)

Tempo de Reatividade	Tratamentos					média	C.V. (%)
	Controle	CaCO + MgCO	2,00-0,82 mm	0,30-0,20 mm	0,05-0,01 mm		
	K (mg dm⁻³)						
15	33,25 aB	33,50 aB	36,50 bAB	37,00 aAB	40,00 aA	36,05	
30	31,75 aC	34,25 aBC	39,00 abA	35,75 aAB	36,00 bAB	35,35	5,80
45	33,00 aC	36,00 bcA	40,00 aA	38,00 aAB	35,75 bBC	36,55	
Média	32,67	34,58	38,50	36,92	37,25	-	-
C.V. (%)	4,0					-	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Os teores de Ca mantiveram-se elevados, não diferindo conforme os dias de avaliação, exceto para a granulometria 0,05-0,01 mm aos 30 dias e para a de 2,00-0,82 mm aos 45 dias. Os mesmos resultados foram observados ao utilizar calcário com granulometria 2,00-0,82 mm no solo aos 18 meses após a aplicação (RATKE *et al.*, 2018) em sistema de plantio direto (SPD). Em SPD, os teores de cálcio do solo foram elevados, em relação ao controle, com a aplicação de diferentes granulometrias de calcário, independente da granulometria utilizada (MELLO *et al.*, 2003).

Os teores de P no solo foram reduzidos ao longo do tempo de reação dos materiais calcários, como também no tratamento sem calcário. Os materiais calcários não apresentaram influência sobre os teores de P. Porém, a adequação do pH do solo, devido à aplicação de materiais calcários, é uma estratégia para diminuir a sorção do P ao colóides do solo, principalmente nos Latossolos (TUCHER; HÖRNDL; SCHMIDHALTER, 2018).

O calcário com granulometria 2,00-0,82 mm promoveu aumento significativo de K no solo a partir dos 30 dias após a aplicação. Contudo, para o calcário com granulometria de 0,05-0,01 mm observou-se a redução nos teores de K. O Ca compete com o K nos sítios de sorção dos colóides do solo, com aumento do Ca menor será a disponibilidade de K, que fica na solução do solo, passível de lixiviação. Assim, calcários mais finos disponibilizam rapidamente o Ca, favorecendo a diminuição de K no solo (FERNANDES; SILVEIRA, 1998). Entretanto, em outros sistemas de cultivo, o uso de calcário com diferentes granulometrias não influenciou os teores de K no solo cultivado com rotação milho e pastagem (VIADÉ *et al.*, 2011).

Os teores de Mg do solo apresentaram efeito isolados dos materiais calcários e tempo de reatividade (Tabela 5). O calcário com granulometria de 0,30-0,20 mm apresentou maior teor de magnésio no solo e os demais não diferiram do solo sem calcário. A elevação dos teores de Mg no solo ocorre em função do uso de calcário com partículas finas (ALVAREZ *et al.*, 2010; VIADÉ *et al.*, 2011). Observou-se aumento do teor de magnésio aos 30 dias após a aplicação do calcário, no entanto; não houve diferenças significativas entre o tempo de reatividade do calcário. O uso de calcário agrícola de rocha dolomítica com diferentes granulometrias elevou os teores de Mg no solo aos 6 e 18 meses após sua aplicação e incorporação em comparação à área sem calagem, independente da granulometria utilizada (RATKE *et al.*, 2018).

Tabela 5. Teores de Magnésio em função das granulometrias de calcário e do tempo de reatividade em Latossolo Vermelho Distrófico

Tratamentos	Magnésio (cmol _c dm ⁻³)
Controle	0,41c*
CaO+MgO	0,52bc
2,00-0,82 mm	0,43c
0,30-0,20 mm	0,85a
0,05-0,01 mm	0,58b
Dias	Magnésio (cmol _c dm ⁻³)
15	0,50b
30	0,60a
45	0,57ab
Média geral	0,56
C.V.** 1 (%)	20,50
C.V. 2 (%)	20,23

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); **C.V.: Coeficiente de Variação.

O uso de diferentes granulometrias de calcário e tempo de reatividade não influenciou significativamente as médias de CTC do solo, quando comparados ao tratamento sem calcário (Tabela 6). A CTC do solo está diretamente ligada à concentração de cargas positivas como H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (FERNANDES; SILVEIRA, 1998). Dessa forma, como o uso de diferentes granulometrias influenciou os teores de H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ do solo, porém não elevou os teores do CTC do solo.

A saturação por bases do solo (V) foi maior com o uso de calcário independente de sua granulometria. Observou-se que a aplicação de calcário com granulometrias entre 2,00 e 0,82 mm resultou diminuição expressiva de V aos 45 dias após a aplicação. Assim, mesmo em maiores doses, o calcário com maior granulometria não manteve a saturação por bases do solo, não apresentando efeito residual. Resultados semelhantes foram encontrados por Alvarez *et al.* (2010), os quais avaliaram diferentes granulometrias de calcário em solo com pastagem, e observaram que o calcário apresentou o mesmo efeito para a soma de bases, sendo grosso ou fino. Mello *et al.* (2003) também observaram que o calcário de granulometria mais grossa apresenta maior efeito residual no solo.

Tabela 6. Capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (V) em função das granulometrias de calcário e tempo de reatividade em Latossolo Vermelho Distrófico. Goiânia (GO), 2010

Tempo de Reatividade	Tratamentos						média	C.V. (%)
	Controle	CaO + MgO	2,00-0,82 mm	0,30-0,20 mm	0,05-0,01 mm			
Dias	CTC (%)							
15	3,84 bA*	4,29 aA	4,27 aA	4,15 aA	4,35 aA	4,18	8,44	
30	5,08 aA	4,34 aB	4,58 aAB	4,52 aAB	4,04 aB	4,51		
45	3,73 bA	4,29 aA	4,10 aA	4,29 aA	4,22 aA	4,13		
Média	4,22	4,31	4,31	4,32	4,20	-	-	
C.V. (%)	6,99						-	-
	V (%)						média	C.V. (%)
15	32,85 abB	60,01 aA	60,02 aA	60,15 aA	60,90 aA	54,78	6,91	
30	39,19 aB	54,86 aA	58,0 aA	56,80 aA	52,96 bA	52,36		
45	29,08 bC	55,71 aAB	48,80 bB	56,94 aA	54,86 abAB	49,08		
média	33,71	56,86	55,60	57,96	56,24	-	-	
C.V. (%)**	7,74						-	-

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$). **C.V.: Coeficiente de Variação.

3.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA SOJA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO

A MSPA e MSR da soja apresentaram influência do uso de calcário com diferentes granulometrias (Tabela 7). O uso de diferentes materiais calcários não promoveu influência significativa nos parâmetros VR, AR, DR e CR da soja. O uso de CaCO₃+MgCO₃ para corrigir a acidez do solo proporcionou o maior incremento MSPA da soja. O uso de calcário com maior granulometria promoveu maior MSR da soja em vaso. Resultados semelhantes para a MSR foram observados com o uso de calcários com diferentes granulometrias na cultura do milho (RATKE *et al.*, 2014a).

Tabela 7. Médias das características morfológicas da soja cultivada em solo com a aplicação de diferentes granulometrias de calcário

Calcários	MSPA ¹	MSR ²	VR ^{3ns**}	AR ^{4ns}	DR ^{5ns}	CR ^{6ns}
	g vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹	cm ³ vaso ⁻¹	cm ² vaso ⁻¹	mm	cm vaso ⁻¹
Controle	1,77b*	1,28b	32,40	86,21	0,35	779,36
CaCO ₃ +MgCO ₃	8,05a	1,95ab	23,91	59,27	0,38	1049,12
2,00-0,82 mm	3,22b	2,06a	26,11	75,86	0,36	694,75
0,30-0,20 mm	3,66ab	1,68ab	34,75	87,96	0,33	595,38
0,05-0,01 mm	2,42b	1,45ab	27,13	73,22	0,38	910,73
médias	4,34	1,69	28,88	76,51	0,36	805,87
desvio padrão	1,96	0,27	3,72	9,43	0,02	145,79
C.V.(%)**	17,48	16,05	21,24	17,41	8,47	62,37

¹ MSPA: Massa seca da parte aérea; ² MSR: Massa seca de raiz; ³ VR: volume de raiz; ⁴ AR: área radicular; ⁵ DR: diâmetro radicular; ⁶ CR: Comprimento Radicular. * Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); **C.V.: Coeficiente de Variação. ***ns: dados não significativos pelo teste F ($P > 0,05$).

Os diferentes materiais calcários influenciaram a química do solo cultivado com soja, porém sem efeito significativo para CTC e P (Tabela 8). Os resultados corroboram os observados nos recipientes de 500 mL em função do tempo de reatividade no solo devido à aplicação dos diferentes calcários. Destaca-se que todos os calcários foram eficientes em promover a correção da acidez do solo e elevar os teores de pH, Ca^{2+} , K^+ e V do solo em comparação ao tratamento controle. O uso de diferentes calcários tem por objetivo aumentar a fertilidade do solo para torná-lo nutricionalmente adequado para o cultivo de plantas (CAIRES; JORIS; CHURKA, 2011; RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015), como ocorreu nesta pesquisa.

O maior pH do solo e consequentemente menor teor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ foi observado no tratamento com calcário de 0,30 a 0,20 mm. O uso de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ promoveu o menor valor de K no solo, quando comparado aos demais calcários utilizados. O calcário com partículas de 2,00 a 0,82 mm não foi eficiente em elevar os teores de Mg no solo, quando comparado com os demais materiais calcários, sendo que o maior teor de Mg foi promovido pelo uso de calcário com 0,30 a 0,20 mm. De acordo com Alvarez *et al.* (2010), o uso de calcário fino aumentou os teores de Ca e Mg no solo e houve aumento na produtividade de forrageiras, diferindo desta pesquisa, que não apresentou diferença de elevação de Ca no solo, somente para Mg, quando utilizou-se partículas grosseiras de calcário.

Tabela 8. Médias dos atributos químicos do solo com a aplicação de diferentes granulometrias de calcário e cultivado com soja

Tratamentos	pH	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CTC ^{ns***}	K^+	P ^{ns}	V
	H_2O	-----cmol _c dm ⁻³ -----							
Controle	4,72c	2,75a	0,03a	0,97b	0,41c	4,22	32,67c	0,89	33,71b
$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	6,26ab	1,85bc	0,00b	1,85a	0,52bc	4,31	34,58b	0,89	56,86a
2,00-0,82 mm	6,14b	1,90b	0,00b	1,89a	0,42c	4,32	38,50a	0,92	55,60a
0,30-0,20 mm	6,31a	1,82c	0,00b	1,56a	0,85a	4,32	36,91a	0,84	57,96a
0,05-0,01 mm	6,24ab	1,83bc	0,00b	1,70a	0,58b	4,21	37,25a	0,86	56,24a
médias	5,93	2,03	0,01	1,60	0,56	4,27	35,98	0,88	52,07
desvios padrão	0,41	0,24	0,01	0,22	0,10	0,04	1,57	0,02	6,12
C.V.%**	0,92	1,63	0,00	10,99	11,86	4,05	2,31	18,95	4,47

¹MSPA: Massa seca da parte aérea; ²MSR: Massa seca de raiz; ³VR: volume de raiz; ⁴AR: área radicular; ⁵DR: diâmetro radicular; ⁶CR: Comprimento Radicular. * Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); **C.V.: Coeficiente de Variação. *** ns: dados não significativos pelo teste F ($P > 0,05$).

Os atributos Ca^{2+} , V, K^+ e pH do solo apresentam uma forte correlação positiva entre si (Figura 1). O mesmo ocorre para $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} que apresentam correlação negativa para Ca^{2+} , V, K^+ e pH. O Mg apresenta correlação fracamente positiva com Ca^{2+} , K^+ , pH e V, e negativa com $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ e Al^{3+} . O P não apresentou correlações positivas com os atributos químicos do solo e com os parâmetros de desenvolvimento da soja. A MSPA correlacionou positivamente com Ca^{2+} , CTC, V e pH e com o diâmetro de raiz (DR). O DR foi único parâmetro radicular a apresentar correlação positiva com a CTC. O VR se correlaciona positivamente com Mg^{2+} e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ do solo. Os atributos VR, AR e CR correlacionam positivamente entre si, e negativamente com DR.

Resultados que estão de acordo aos observado por Viadé *et al.* (2011), que descrevem que os teores de K, Ca e Mg do solo correlacionam com os teores observados no tecido vegetal de plantas. Neste sentido, a neutralização da acidez do solo favorece a disponibilidade de nutrientes para a soja e consequentemente promove o seu desenvolvimento e produção (CAIRES *et al.*, 2006; DA COSTA *et al.*, 2016; FAGERIA *et al.*, 2014; SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009).

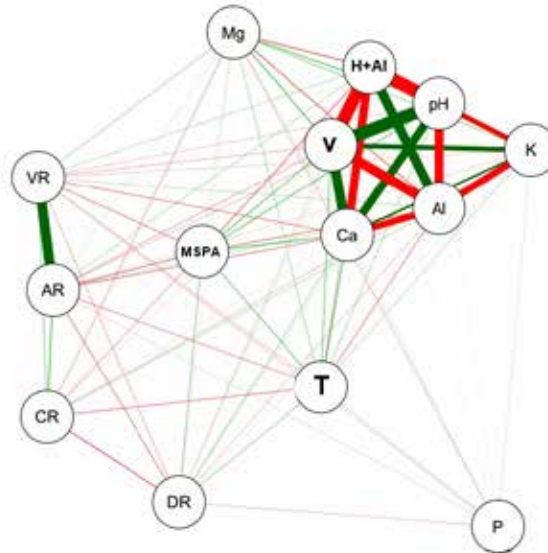


Figura 1. Rede de correlação de Person ($P < 0.60$) dos atributos químicos do solo e parâmetros da soja com o uso de diferentes materiais calcários. Mg: Magnésio; H+Al: hidrogênio e alumínio; pH: potencial hidrogeniônico; V: saturação por bases; K: potássio; Al: alumínio; Ca: Cálcio; T: capacidade total de troca de cátions; P: fósforo; MSPA: massa seca da parte aérea; VR: volume de raízes; AR: área radicular; CR: comprimento radicular; DR: diâmetro radicular.

4 CONCLUSÃO

As diferentes granulometrias de calcário testadas são eficientes em corrigir a acidez trocável ($H^+ + Al^{3+}$) e elevar o teor de Ca e a saturação por bases do solo (V). Contudo, a partir de 45 dias de incubação, a maior granulometria (2,00-0,82 mm) apresentou maior acidez trocável comparada às demais granulometrias de calcário. Os atributos Ca, V, K e pH do solo apresentam uma forte correlação positiva entre si. O mesmo ocorre para $H^+ + Al^{3+}$ e Al^{3+} , que apresentam correlação negativa para Ca, V, K e pH.

Com relação à resposta de plantas de soja, as maiores produções de MSPA e MSR foram observadas com os tratamentos $CaCO_3 + MgCO_3$ e calcário de granulometria entre 2,00 e 0,82 mm, respectivamente. A morfologia radicular não foi influenciada pelos tratamentos. Os resultados do presente estudo permitem aprimorar as práticas de correção da acidez do solo, visto que o efeito residual varia significativamente com a granulometria de calcário e, consequentemente, melhorar a resposta dos cultivos de soja em Latossolos no bioma do cerrado

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001, e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

REFERÊNCIAS

ABRACAL. Associação Brasileira de Produtores de Calcário Agrícola. **Consumo aparente de calcário agrícola 1992 a 2018**. Disponível em: <http://www.abracal.com.br/estatisticas>.

ALLEONI, L. R. F. *et al.* Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, n. 3, p. 1010-1017, 2010.

- ALVAREZ, E. *et al.* Limestone Particle Size and Liming Scheduling Influence Soil Properties and Pasture Production. **Soil Science**, v. 175, n. 12, p. 601-613, 2010.
- AULER, A. C.; PIRES, L. F.; CAIRES, E. F. Surface and incorporated liming effects on clay dispersion, water availability, and aeration capacity of a dystrochrept soil. **Bragantia**, v. 76, n. 3, p. 433-446, 2017.
- BASSOI, L. H. *et al.* Distribuição radicular de cultivares de aspargo em áreas irrigadas de Petrolina - PE. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 17-24, 2001.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 17, p. 187-190, 2017.
- CAIRES, E. F. *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum Applications. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.
- CAIRES, E. F. *et al.* Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 5, p. 532-540, 2008.
- CAIRES, E. F.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Bragantia**, v. 62, n. 2, p. 283-290, 2003.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, p. 45-53, 1 mar. 2011.
- 480 CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2019.
- COSTA, C. H. M. *et al.* Efeitos residuais da calagem superficial em solo tropical com plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.
- FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.
- FAGERIA, N. K. *et al.* Influence of Lime and Gypsum on Yield and Yield Components of Soybean and Changes in Soil Chemical Properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 3, p. 271-283, 4 fev. 2014.
- FURLANI, P. R. *et al.* **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 30p. (Boletim técnico, 168).
- GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016a.
- GOVINDASAMY, P. *et al.* Influence of nanolime and curing period on unconfined compressive strength of soil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 17, n. 1, p. 1-9, 2017.
- JORGE, L. A. de C.; SILVA, D. J. da C. B. **SAFIRA: Manual de utilização**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. 28p.
- KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 126, 2017.
- MELLO, J. C. A. *et al.* Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 553-561, 2003.

MUNOZ FERNANDES, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre de material seco e nutrição de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

PARAHYBA, R. E. **Calcário Agrícola**. Brasília: DNPM - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, 2009. 10p.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

QUAGGIO, J. **A acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111p.

RATKE, R. F. *et al.* Root Growth, Nutrition and Yield of Maize with Applied Different Limestone Particle Size in the Cerrado Soil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 1, p. 463-472, 2014a.

RATKE, R. F. *et al.* Root Growth, Nutrition and Yield of Maize with Applied Finely Limestone in Surface of Cerrado Soil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 834-844, 15 mar. 2014b.

RATKE, R. F. *et al.* Different limestone particle sizes for soil acidity correction, Ca and Mg supply and corn yield. **Communicata Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 175-184, 2018.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723-1736, 2015.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. 356p.

SIQUEIRA NETO, M. *et al.* Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análises de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 537p.

TUCHER, S. VON; HÖRNDL, D.; SCHMIDHALTER, U. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet. **Ambio**, v. 47, n. suppl. 1, p. 41-49, 2018.

VIADÉ, A. *et al.* Effect of particle size of limestone on Ca, Mg and K contents in soil and in sward plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 200-208, 2011.