



Revista
Técnico-Científica



ATRIBUTOS BIOMÉTRICOS DA SOJA INFLUENCIADOS PELO NÍVEL DE pH DO SOLO

Fernando Marcos Brignoli¹, Abelino Anacleto de Souza Junior¹, Douglas Luiz Grando¹, Gilmar Luiz Mumbach², Fernando Francisco Dillmann Pajara³

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

³Professor do Instituto Federal Catarinense

RESUMO: A calibração da necessidade de calagem para um solo é de fundamental importância para a correção efetiva da acidez além de assegurar o bom desenvolvimento das culturas agrícolas. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi estabelecer a dose de corretivo de acidez mais adequada para o desenvolvimento da cultura da soja. O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação, utilizando um Cambissolo Háplico. Os tratamentos consistiram na incorporação de CaCO_3 na quantidade equivalente para elevar o pH a 6,0 e frações desta dose. Após o período de incubação determinou-se o pH do solo e posteriormente foi realizada a semeadura da soja. O pH- H_2O e a acidez potencial (H+Al) variaram de 4,0 a 6,8 e 15,6 a 1,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ entre a menor e maior dose de corretivo, respectivamente. O incremento de massa seca da parte aérea foi proporcional a quantidade de corretivo, com produtividade máxima para a dose de 110% do preconizado, com posterior declínio. O número de vagens e a massa seca das raízes também foram positivamente influenciados pelo aumento da dose. Com base na correlação entre os componentes do solo e da planta, a quantidade de CaCO_3 recomendada para a cultura da soja neste solo é de 10 t ha^{-1} .

Palavras-chave: Acidez do solo, Corretivos de acidez, Calagem, Cambissolo.

SOYBEAN BIOMETRIC ATTRIBUTES INFLUENCED BY pH SOIL LEVEL

ABSTRACT: *Calibrating the need for liming for a soil is of fundamental importance for the effective correction of acidity in addition to ensuring the good development of agricultural crops. Therefore, the objective of the work was to establish the most appropriate rate of acidity corrective for the development of soybean culture. The work was carried out in a greenhouse, using an acid Inceptisol. The treatments consisted of*

incorporating CaCO₃ in an equivalent amount to raise the pH to 6,0 and fractions of this rate. After the incubation period, soil pH was measured and soybean sowing was subsequently carried out. The pH-H₂O and the potential acidity (H + Al) varied from 4,0 to 6,8 and 15,6 to 1,3 cmol_c dm⁻³ between the lowest and highest rate of corrective, respectively. The increase in dry mass of the aerial part was proportional to the amount of corrective, with maximum productivity for the rate of 110% of the recommended, with subsequent decline. The number of pods and the dry weight of the roots were also positively influenced by the increase in the rate. Based on the correlation between soil and plant components, the recommended amount of CaCO₃ for soybean cultivation in this soil is 10 t ha⁻¹.

Keywords: Soil acidity, Acidity correctives, Liming, Inceptisol.

INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento adequado das plantas. Os solos do sul do Brasil, em sua maioria, são naturalmente ácidos, tornando a produção das culturas praticamente inviável sem a correção da acidez (ERNANI, 2016). Mais especificamente, a região do Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina, é caracterizada pela formação predominante de Cambissolos de origem sedimentar que possuem alto potencial tamponante da acidez (ALMEIDA et al., 1997).

Os solos ácidos apresentam predomínio de formas trocáveis e fitotóxicas de alumínio (Al³⁺) na solução do solo em pH ≤ 5,5, comprometendo assim o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e o rendimento da maior parte das culturas agrícolas (RUTKOWSKA et al., 2015). A principal alternativa para correção da acidez é a aplicação de calcário, proporcionando um ambiente favorável ao crescimento radicular, diminuindo a atividade de elementos tóxicos (VARGAS et al., 2019), com isso contribuindo no aumento da saturação de bases (JORIS et al., 2013). A calagem também tem como vantagem o elevado efeito residual e de tamponamento da atividade do Al³⁺, onde a frente alcalinizante é deslocada ao longo do perfil do solo (KAMINSKI et al., 2005; VARGAS et al., 2019).

As diferentes espécies de interesse agropecuário apresentam resposta diferenciada ao pH do solo. Para as culturas anuais, o pH ideal situa-se entre 5,5 e 6,5 e segundo a CQFS-RS/SC, (2016), o valor de pH indicado para a cultura da soja

é 6,0. A quantidade de calcário a ser aplicada é estimada utilizando os valores do índice SMP, sendo este índice usado oficialmente nos estados do RS e SC, apresentando boa estimativa da acidez potencial (PREDEBON et al., 2018).

Contudo, existem particularidades e variações nas características químicas do solo para diferentes regiões, com a possibilidade de haver subestimação ou superestimação da dose real necessária. Com isso, a realização de calibrações específicas para cada região, quando economicamente viável, pode ser vantajosa. A calibração da quantidade requerida de calcário pode ser realizada através da curva de incubação (ROSSA, 2006), com determinados valores de referência que otimizem a resposta da cultura agrícola de interesse.

Alguns parâmetros biométricos da soja podem demonstrar o comportamento agrônomico da planta a diferentes condições edáficas. A resposta a adição de calcário pode ocorrer mesmo em baixas doses, promovendo incremento tanto na massa seca de parte aérea como em raízes (CUNHA et al., 2019). Além disso, níveis de pH muito baixos podem interferir negativamente na sobrevivência de bactérias fixadoras de nitrogênio (SILVA et al., 2011). Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo calibrar e quantificar a dose de carbonato de cálcio (CaCO_3) ideal para a otimização do desenvolvimento da cultura da soja em um Cambissolo ácido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, no Instituto Federal Catarinense - Campus Rio do Sul ($27^\circ 11'17''$ S, $49^\circ 39'19''$ W), situado a 668 m acima do nível do mar, com início no segundo semestre de 2016. O solo utilizado foi um Cambissolo Háplico (SANTOS et al., 2018), coletado na camada de 0-20 cm de profundidade em área de pastagem natural. Uma porção amostrada foi tamisada em peneira com malha de 2 mm para a caracterização química, segundo as metodologias propostas por Tedesco et al. (1995), com a obtenção dos seguintes resultados: argila: 190 g kg^{-1} ; pH- H_2O : 4,6; índice SMP: 5,1; matéria orgânica: 3,1%; fósforo (P) extraível (Mehlich 1): $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$; potássio (K) trocável: $80,0 \text{ mg dm}^{-3}$; Al trocável: $2,2 \text{ cmol}_c$

dm^{-3} ; cálcio (Ca): $1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; magnésio (Mg): $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $12,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC pH 7,0: $14,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Para a montagem dos tratamentos o solo passou por peneira de 5 mm e posteriormente foi seco ao ar em lona plástica. Cada unidade experimental foi constituída de 3 kg de solo acondicionados em vasos plásticos com capacidade de 4,8 L. Para a correção da acidez utilizou-se o CaCO_3 . Após a aplicação das doses e homogeneização, a umidade do solo foi mantida próxima a 80% da capacidade de campo. De acordo com a CQFS-RS/SC, (2016) a dose de calcário aplicada para atingir o valor de pH 6,0 foi de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por percentuais de calcário em relação à dose recomendada pela CQFS-RS/SC, (2016): controle (sem correção), 50%, 100% e 150% da quantidade de corretivo recomendada. Assim, as quantidades de calcário aplicadas corresponderam a 0, 4,6, 9,1 e $13,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Com a finalidade de evitar a perda excessiva de umidade, os vasos foram cobertos por um filme plástico.

Após 90 dias de incubação, o solo foi removido dos vasos e homogeneizado, retirando-se uma amostra de cada tratamento para a determinação do pH- H_2O (TEDESCO et al., 1995). A adubação seguiu os critérios técnicos da cultura (CQFS-RS/SC, 2016), adicionando-se ao solo doses equivalentes a 255 mg kg^{-1} de P_2O_5 e 210 mg kg^{-1} de K_2O , utilizando as fontes superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Para a melhor distribuição dos fertilizantes no solo, os mesmos foram moídos e passados em peneira de 1 mm. Após a adubação o solo foi novamente transferido para os vasos.

A variedade de soja utilizada foi a BMX Potência RR, utilizando-se cinco sementes por tratamento, as quais foram tratadas com uma solução contendo molibdato de sódio e sulfato de cobalto, objetivando fornecer molibdênio (Mo) e cobalto (Co), respectivamente. Depois da secagem da solução, as sementes foram tratadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando inoculante turfoso com garantia de $5 \times 10^9 \text{ UFC g}^{-1}$. Efetuou-se o raleio em plena emergência das sementes aos 10 dias após a semeadura, mantendo-se duas plantas por tratamento.

Aos 74 dias após a semeadura, estágio R4, procedeu-se a coleta da parte aérea das plantas, realizando a separação das vagens. Concomitantemente, as raízes foram separadas do solo através de lavagem com jatos de água e os nódulos removidos manualmente. No momento da coleta foi quantificado a massa fresca de nódulos (MFN) e o número de vagens. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 60°C com circulação de ar forçado até atingirem peso constante, para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). Cada tratamento consistiu na análise de duas plantas avaliadas conjuntamente. Para o cálculo da massa seca total (MST) utilizou-se o somatório da MSPA e MSR.

Os dados foram submetidos as pressuposições de normalidade de Shapiro Wilk e ao teste de homogeneidade de variância de Bartlett. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA e quando significativos ($p < 0,05$) para dose as médias foram comparadas por regressão e correlação de Pearson. Para todos os cálculos estatísticos e confecção dos gráficos foi utilizado o programa R, versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS

A aplicação de CaCO_3 reduziu de modo significativo a acidez do solo (Figura 1). Após 90 dias de incubação, os valores de pH- H_2O variaram em média de 4,0 a 6,8, considerando o tratamento controle e a maior dose de corretivo aplicado, respectivamente. Ressalta-se que no tratamento sem aplicação de corretivo houve aumento da acidez em relação à avaliação do pH realizada antes da incubação, com redução de 0,6 unidades de pH.

Nas condições analisadas, para alcançar o pH 6,0, indicado para a cultura da soja, foi necessária uma dose de 110% da quantidade recomendada, indicando uma subestimação da dose recomendada pela CQFS-RS/SC, (2016), necessitando aumentar a dose em 910 kg ha⁻¹. Deste modo, a dose ideal de corretivo para o solo alcançar pH 6,0 passaria de 9,1 para 10,0 t ha⁻¹. Neste mesmo sentido, verificou-se

que para o aumento de uma unidade de pH-H₂O é requerida uma quantidade de aproximadamente 4,6 t ha⁻¹ de CaCO₃.

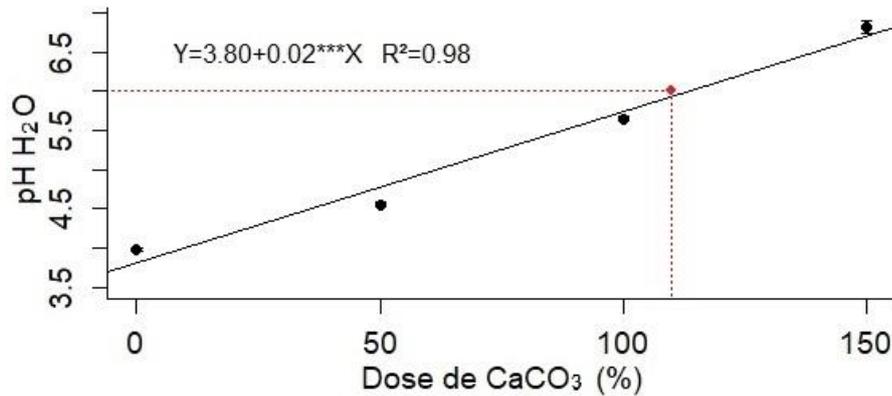


Figura 1. pH H₂O do solo em função da dose de corretivo de acidez ($p < 0,05$). (***) significativo a 0,1% de probabilidade de erro. Ponto vermelho representa o pH recomendado para cultura da soja. Linhas verticais representa o erro padrão da média.

Em paralelo ao observado para o pH, a acidez potencial (H+Al) reduziu com a aplicação de calcário (Figura 2), com amplitude de 15,6 e 1,3 cmol_c dm⁻³, considerando o tratamento controle e a maior dose de corretivo (150%), respectivamente. É notável que no tratamento sem adição de corretivo o valor de H+Al se aproximou muito da CTC pH 7,0 do solo, indicando o elevado poder tampão deste solo.

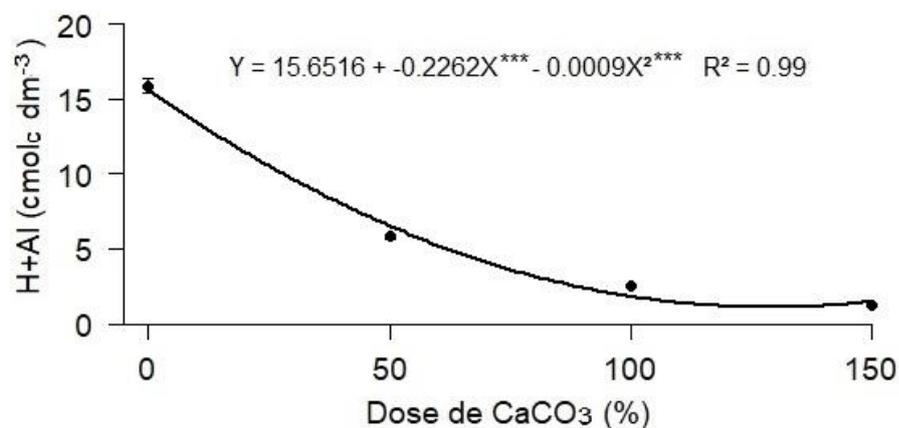


Figura 2. Acidez potencial em função da dose de corretivo de acidez ($p < 0,05$). (***) significativo a 0,1% de probabilidade de erro. Linhas verticais representa o erro padrão da média.

Os parâmetros vegetais avaliados indicaram resposta positiva da planta à aplicação de CaCO_3 . Com relação à massa seca da parte aérea (MSPA), verificou-se aumento com base em um comportamento quadrático (Figura 3), com máxima produtividade de biomassa na dose correspondente a 110% do valor recomendado, correspondente à quantidade necessária para atingir o valor de pH 6,0, preconizado para a cultura (CQFS-RS/SC, 2016), ocorrendo declínio na produção de MSPA para a maior dose (150%).

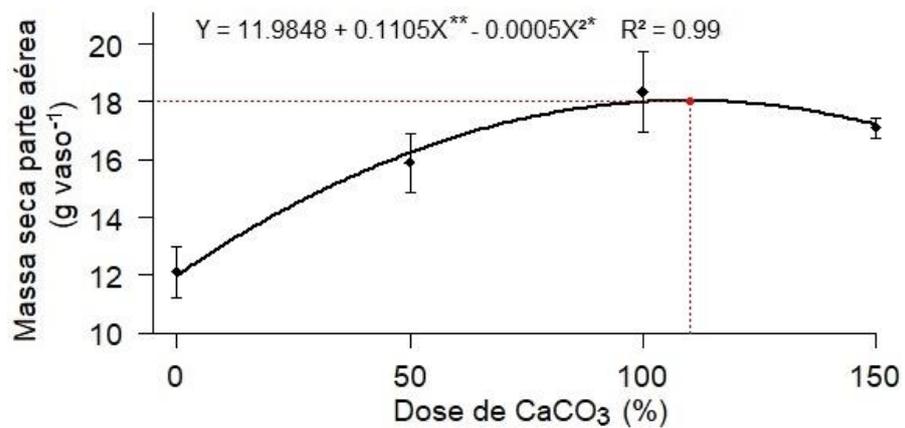


Figura 3. Produção de massa seca da parte aérea da soja em função da dose de corretivo de acidez. Ponto vermelho representa a máxima eficiência do corretivo de acidez. (**) significativo a 1% de probabilidade de erro. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. Linhas verticais representa o erro padrão da média.

Houve aumento linear do número de vagens com o incremento da dose de corretivo, apesar do baixo coeficiente de determinação (Figura 4).

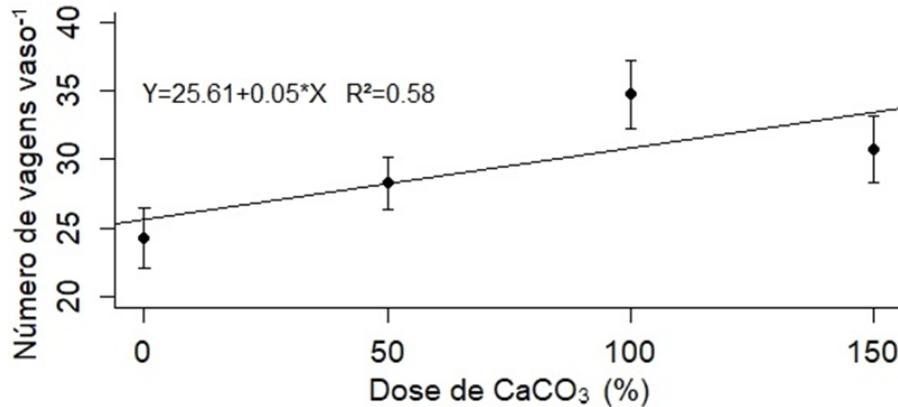


Figura 4. Número de vagens em função da dose de corretivo de acidez. (*) significativo a 5% de probabilidade de erro. Linhas verticais representa o erro padrão da média.

A massa seca de raízes (MSR) também apresentou resposta linear e positiva à calagem (Figura 5). Com base nos valores obtidos, observa-se um ganho proporcional de 0,1 gramas a cada aumento de uma tonelada de corretivo.

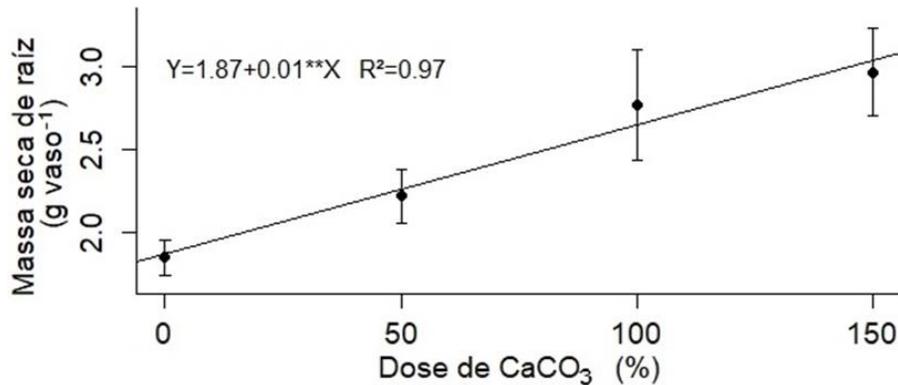


Figura 5. Produção de massa seca de raiz da soja em função da dose de corretivo de acidez. (**) significativo a 1% de probabilidade de erro. Linhas verticais representa o erro padrão da média.

Não houve alteração da massa fresca de nódulos (MFN) com a correção da acidez. A média de MFN foi de 1,6 g vaso⁻¹ (Figura 6).

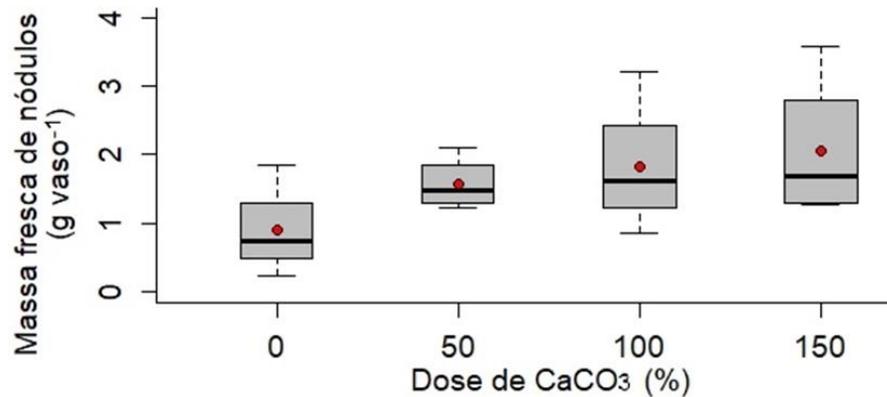


Figura 6. Massa fresca de nódulos em função da dose de corretivo de acidez. Os boxplots representam o intervalo interquartil (segundo e terceiro quartis), enquanto as linhas verticais que se estendem a partir das caixas indicam o quartil superior e inferior. A linha dentro do boxplot é a mediana (percentil 50). Pontos vermelhos dentro das caixas representam a média.

Para melhor compreender as relações entre as variáveis de solo e planta avaliadas, foi realizada uma análise de correlação (Figura 7). O pH-H₂O apresentou maior correlação com a MSR em relação à MSPA. Entretanto, a acidez potencial demonstrou comportamento inverso no que diz respeito a esses dois parâmetros, demonstrando maior correlação com a MSPA, apesar de negativa. As correlações mais moderadas para a acidez potencial se referem ao número de vagens e a MFN, as quais não apresentaram correlações significativas com o pH-H₂O.

Dentre as variáveis de planta, o número de vagens apresentou baixos valores de correlação com os demais parâmetros, porém se obteve forte correlação com a MSPA. Com exceção à acidez potencial, a MFN não apresentou correlação significativa com as demais variáveis.

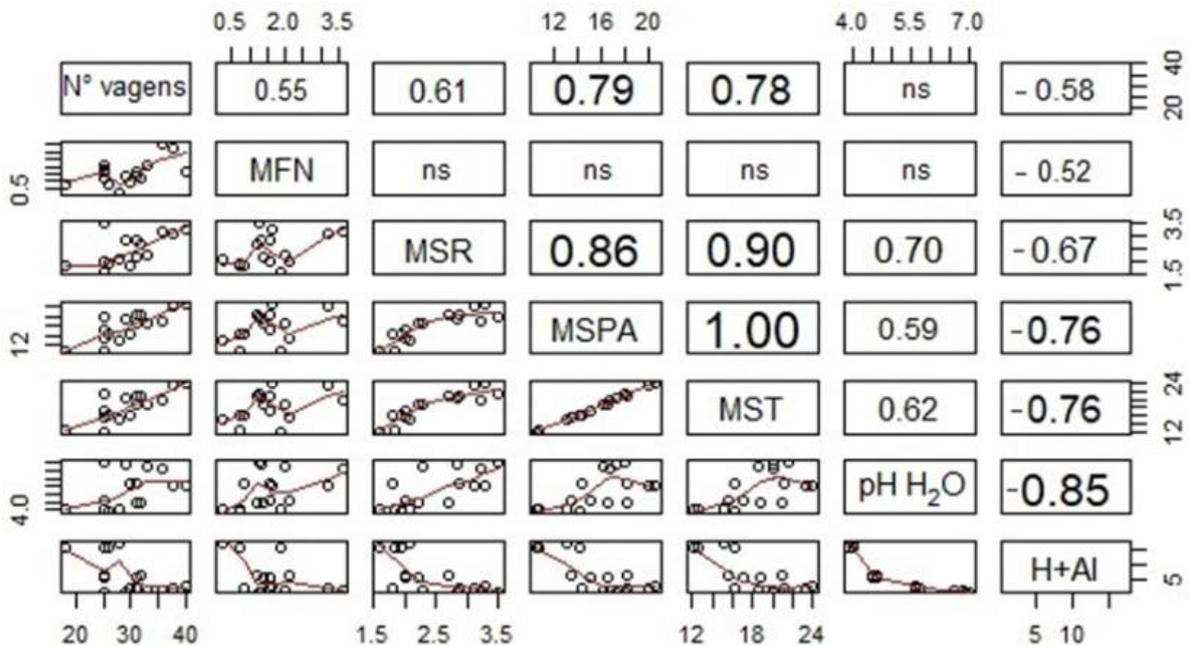


Figura 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre os componentes de acidez do solo e da planta. ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro. N° vagens: número de vagens. MFN: massa fresca de nódulos. MSR: massa seca de raiz. MSPA: massa seca da parte aérea. MST: massa seca total. H+Al: acidez potencial.

DISCUSSÃO

A produtividade de MSPA pode ser considerado o principal indicador da resposta da cultura da soja à calagem, nas condições experimentais avaliadas. Neste contexto, a obtenção da melhor resposta da cultura com o pH 6,0 reforça as recomendações atualmente vigentes (CQFS-RS/SC, 2016). O favorecimento da calagem às plantas enaltece a importância da correção da acidez do solo para que a cultura possa expressar seu máximo potencial produtivo (RUTKOWSKA et al., 2015) e, conseqüentemente, garantir maior retorno econômico ao agricultor. O calcário é o principal corretivo usado para correção do pH do solo e sua efetividade é bem fundamentada na literatura para solos do sul do Brasil, havendo uma série de estudos voltados à eficiência e custo/benefício de seu uso em relação a outras alternativas no mercado (MIOTTO et al., 2020; PÖTTKER; BEN, 1998; VARGAS et al., 2019).

A acidez do solo traz inúmeros prejuízos ao estabelecimento e produção das culturas anuais, dentre eles se destaca a presença do Al trocável (CUNHA et al.,

2019). A presença deste elemento ocasiona o engrossamento das raízes, desorganizando a estrutura das membranas e comprometendo a absorção de nutrientes (TAIZ et al., 2017). Esses efeitos deletérios explicam a baixa produção de MSPA na testemunha (Figura 3), uma vez que o pH-H₂O ficou em torno de 4,0, apresentando forte correlação negativa entre os dois parâmetros (Figura 7). Além da neutralização da acidez, a calagem fornece Ca e/ou Mg e permite o aumento na disponibilidade de P e K no solo (ERNANI, 2016). Isto, somado à neutralização de elementos tóxicos, explica o incremento de produção de MSPA conforme o aumento da dose de CaCO₃ (Figura 3).

A dose de calcário necessária para a obtenção da máxima produtividade de MSPA apresentou uma pequena dispersão em relação à recomendação da CQFS-RS/SC, (2016). A acidez potencial real do solo e, conseqüentemente, a necessidade de calagem, podem apresentar variações em relação ao determinado pelo índice SMP (PREDEBON et al., 2018). Contudo, a quantidade a ser aplicada deve sempre seguir critérios técnicos, seja seguindo os manuais vigentes na região de interesse ou realizando estudos de incubação pontuais, minimizando erros de “subcalagem” ou “supercalagem”, ambos prejudiciais às plantas e de potencial prejuízo econômico.

Os resultados observados para acidez potencial (Figura 2) podem ser atribuídos aos aspectos vinculados ao material de origem. A presença de argilominerais 2:1, com potencial conteúdo de polímeros de Al nas entrecamadas, encontrados por Pajara (2014) ao avaliar a composição mineralógica deste mesmo solo, contribuem para o alto tamponamento deste solo (MOTTA; MELO, 2019), justificando a elevada dose de CaCO₃ de 10 t ha⁻¹ para atingir o pH desejado.

Doses elevadas podem acarretar valores de pH acima do adequado para a maioria das culturas agrícolas, como observado para a dose de 150%, na qual o pH atingiu valores próximos a 7,0 (Figura 1). Valores de pH próximos à neutralidade, normalmente acima de 6,5, podem trazer prejuízos ao desenvolvimento das plantas, especialmente pela redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos no solo (ALFAIA; MURAOKA, 1997; SAHA et al., 2019), perdas de nitrogênio por volatilização (MANDAL et al., 2018) e indisponibilização de fósforo pela formação de precipitados com Ca (PENN; CAMBERATO, 2019).

A redução do pH observada no tratamento testemunha (Figura 1), sem aplicação de corretivo, pode ser proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo e, conseqüente, desprotonação de radicais ácidos (ERNANI, 2016), os quais atuam como tamponantes da acidez do solo. Além disso, a amônia proveniente da decomposição da matéria orgânica é transformada em nitrato, liberando íons H^+ no processo de nitrificação (GIULIANI, 2015), causando decréscimo do pH do solo.

O aumento linear no número de vagens com o incremento da dose de $CaCO_3$ tem relação direta com o aumento na produtividade da MSPA (Figura 7). Com isso, o aumento na disponibilidade de Ca pode também favorecer esse parâmetro biométrico, uma vez que, como destacado por Faquin (2005), o nutriente é fundamental na síntese da parede celular e crescimento do tubo polínico e a sua deficiência pode causar o abortamento de flores e vagens. Portanto, o suprimento adequado deste nutriente via calagem pode justificar o modesto acréscimo de vagens observado nos tratamentos. Cabe destacar, que os fatores ecofisiológicos, como a variação no arranjo populacional das plantas, podem representar substancial participação na determinação do número de vagens por planta (BUSANELLO et al., 2013).

Os efeitos da calagem na supressão da acidez do solo e na conseqüente boa resposta da cultura da soja, não se refletiram em aumento na MFN (Figura 6). Contudo, estudos demonstram que acidez do solo pode prejudicar de modo direto o crescimento radicular, com efeitos negativos secundários sobre a quantidade de nódulos e, conseqüentemente, a produção de MSPA pela baixa taxa de fixação biológica de N (CÂMARA, 2015). De acordo com Bissani et al. (2004), a matéria orgânica do solo contém aproximadamente 5% de nitrogênio. Mesmo não sendo significativo, o tratamento testemunha apresentou a menor massa de nódulos e uma possível causa pode estar relacionada a disponibilidade de formas minerais de nitrogênio, como o nitrato, que prejudicam a nodulação, conforme verificado por Cardoso et al. (2018).

CONCLUSÕES

A dose ideal de $CaCO_3$ para o Cambissolo estudado é de 110% da recomendação estabelecida pela CQFS – RS/SC, ou seja, $10 t ha^{-1}$. Essa dose eleva

o pH-H₂O do solo para 6,0, atingindo a máxima produção de MSPA. O pH acima de 6,5, por outro lado, prejudica o crescimento da soja.

A produtividade de biomassa de raízes e o número de vagens respondem positivamente e de modo linear à calagem e a MFN não apresenta incremento significativo com a aplicação de CaCO₃.

REFERÊNCIAS

- ALFAIA, S. S.; MURAOKA, T. Efeito residual de calagem e micronutrientes em Latossolo Amarelo sob rotação de culturas. *Acta Amazonica*, v. 27, n. 3, p. 153–162, 1997.
- ALMEIDA, J. A. DE; KAMPF, N.; ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissol originados de rochas pelíticas nos patamares do Alto Rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 181–190, 1997.
- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas. Porto Alegre, 2004. 328 p.
- BUSANELLO, C.; BATISTTI, R.; SOMAVILLA, S.; MENEGOL, D. R. Características agrônômicas da cultura da soja submetida a diferentes densidades populacionais na região norte do Rio Grande do Sul. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 509–517, 2013.
- CÂMARA, G. M. S. de. Adubação. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. Soja: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 110-148.
- CARDOSO, N. R. P.; FONSECA, A. B.; FUJIYAMA, B. S.; RAMOS, J. A.; SILVA JÚNIOR, M. L. Efeito de doses de nitrogênio na nodulação e biomassa de plantas de soja. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 27, p. 530–543, 2018.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS-RS/SC, 2016. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376 p.
- CUNHA, G. O. de. M.; ALMEIDA, J. A. de.; ERNANI, P. R.; SOUZA, C. A.; GATIBONI, L. C.; CAMPOS, M. L. Production of soybean and maize plants cultivated in acid soils with high contents of exchangeable aluminum. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 3, 2019.

- ERNANI, P. R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes. 2. ed. Lages, 2016. 254 p.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, 2005. 186 p.
- GIULIANI, A. F. Determinação da acidez potencial de solos pela titulação direta. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISKI, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. *Plant soil*, v. 365, p. 409-424, 2013.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 29, n. 4, p. 573–580, 2005.
- MANDAL, S.; ERICA, D.; SOTIRIOS, V.; WILLIAM, S.; EUAN, S.; ENZO, L. The effect of biochar feedstock, pyrolysis temperature, and application rate on the reduction of ammonia volatilisation from biochar-amended soil. *Science of the Total Environment*, v. 627, n. 15, p. 942–950, 2018.
- MIOTTO, A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; CONTI, L. de.; TIECHER, T. L.; MARTINS, A. P.; SANTOS, D. R. de. Soil acidity and aluminum speciation affected by liming in the conversion of a natural pasture from the Brazilian Campos Biome into no-tillage system for grain production. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 66, n. 2, p. 138–151, 2020.
- MOTTA, A. C. V.; MELO, V. de. F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V. de. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo: Conceitos básicos e aplicações. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 70-126.
- PAJARA, F. F. D. Disponibilidade de fósforo no solo em função da aplicação de adubos fosfatados minerais e organominerais. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

- PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture*, v. 120, n. 8, p. 1–18, 2019.
- PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 4, p. 675–684, 1998.
- R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical computing, 2018.
- PREDEBON, R.; GATIBONI, L. C.; MUMBACH, G. L.; SCHMITT, D. E.; DALL'ORSOLETTA, D. J. BRUNETTO, G. Accuracy of methods to estimate potential acidity and lime requirement in soils of west region of Santa Catarina. *Ciência Rural*, v. 48, p. 5–9, 2018.
- ROSSA, U. B. Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.; HOCH, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. *Soil Use and Management*, v. 31, n. 1, p. 114–120, 2015.
- SAHA, S.; SAHA, B.; SETH, T.; DASGUPTA, S.; RAY, M.; PAL, B.; PATI, S.; MUKHOPADHYAY, S. K.; HAZRA, G. Micronutrients Availability in Soil–Plant System in Response to Long-Term Integrated Nutrient Management Under Rice–Wheat Cropping System. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 19, n. 4, p. 712–724, 2019.
- SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SILVA, A. F. da.; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; CARVALHO, M. A. C. de.; DALCHIAVON, F. C.; NOETZOLD, R. Inoculação com bradyrhizobium e formas de aplicação de cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 12, p. 98–104, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: 1995.

VARGAS, J. P. R. de.; SANTOS, D. R. dos.; BASTOS, M. C.; SCHAEFER, G.; PARISI, P. B. Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. Soil and Tillage Research, v. 185, p. 47–60, 2019.