

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

**DOSES DE CALCÁRIO E GESSO NA CULTURA DA SOJA EM ÁREA DE
ABERTURA NO CERRADO PIAUIENSE**

TAMARA ARAÚJO SCHENFERT

BOM JESUS-PI
2017

TAMARA ARAÚJO SCHENFERT

**DOSES DE CALCÁRIO E GESSO NA CULTURA DA SOJA EM ÁREA DE
ABERTURA NO CERRADO PIAUIENSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

BOM JESUS-PI
2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

Schenfert, Tamara Araújo.

Doses de calcário e gesso na cultura da soja em área de abertura no Cerrado Piauiense.
/ Tamara Araújo Schenfert. – 2017.
47 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora
Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom
Jesus-PI, 2017.

Orientação: “Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke”.

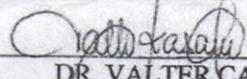


Ata da Reunião da Comissão Julgadora de Defesa de Dissertação de Mestrado de TAMARA ARAÚJO SCHENFERT. Aos vinte dias do mês de julho do ano de dois mil e dezessete, às oito horas, na Sala de videoconferência do CPCE, sob a presidência do Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Julgadora da Defesa de Dissertação de TAMARA ARAÚJO SCHENFERT, discente do curso de Pós-Graduação em AGRONOMIA _SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, visando à obtenção do título de "MESTRE EM AGRONOMIA", assim constituída: Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke (Orientador); Dr. Valter Casarin (Membro Externo); Prof. Dr. Juliano Magalhães Barbosa (Membro Exteno) e Prof.^a DP Daniela Vieira Chaves (Membro Externo), Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se à defesa de sua dissertação intitulada: "DOSES DE CALCÁRIO E GESSO NO CULTIVO DA SOJA EM ÁREA DE ABERTUR4 NO CERRADO PIAUIENSE". Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição: Dr. Valter Casarin APROVADO; Prof Dr. Juliano Magalhães Barbosa - APROVADO; Prof. ^a Dr^a Daniela Vieira Chaves - APROVADO e Prof Dr. Rafael Felipe Ratke APROVADO. Apurados os resultados, verificou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus ao título de "MESTRE EM AGRONOMIA", área de concentração: "SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS". Do que, para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Julgadora.

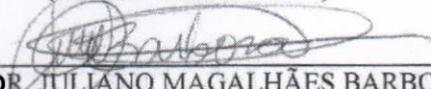
BomJesus, 20dejulho de 2017.



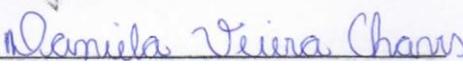
PROF. DR. RAFAEL FELIPPE RATKE Prof.^o Dr. Rafael Felipe Ratke
(Orientador - UFPI) UFPI / CPCE
SIAPE - 1784138



DR. VALTER CASARIN
(Membro Externo - IPNI)



PROF.DR. JULIANO MAGALHÃES BARBOSA
(Membro Externo - IFRR)



PROF.^a Die DANIELA VIEIRA CHAVES
(Membro Externo UFPI)

Campus Professora Cinobelina Elvas - Bom Jesus, PI - CEP 64900-000.

Telefone (89) 3562 2468

E-mail: ppgsnp@ufpi.edu.br

BIOGRAFIA

Tamara Araújo Schenfert, filha de Maria Edna Pereira de Araújo Schenfert e Antelmo José Schenfert. Nasceu em 12 de maio de 1992 na cidade de Ariquemes-RO, é Engenheira Agrônoma, pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), em 2015. Durante a graduação participou do grupo de pesquisa na área de fertilidade do solo, executando um trabalho de iniciação científica voluntária (ICV), realizou duas monitorias nas disciplinas de cálculo e economia, fez estágio voluntário na área de microbiologia de alimentos e foi membro fundador da empresa júnior de agronomia (AGRITC) no Campus Cinobelina Elvas. Em setembro de 2015 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí.

*“Peça a Deus que abençoe os seus planos,
e eles darão certo. Provérbios 16:3 ”*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí, através do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas, aos seus professores, coordenadores e funcionários, pelas oportunidades, pelos ensinamentos e pelo apoio técnico-científico.

À Capes, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao IPNI Brasil, na pessoa do Dr. Valter Casarin, pelo financiamento do projeto.

Ao meu orientador, professor Rafael Felipe Ratke, pelos ensinamentos, pela confiança e pela contínua disponibilidade em ajudar.

À Fazenda União, pela parceria e apoio na condução do experimento.

Aos colegas de grupo de pesquisa Marcela Bertechini, Marcelo Parcianello, Igor Genovez, Tiago Kulzer, Tatiana Gomes, Mayara Cavalcante, Ana Débora Paiva e Jonathan Cândido Thomas Dalzot pelo tempo dedicado em ajudar. Foram pessoas essenciais para a realização dessa pesquisa.

Aos colegas da Pós-Graduação da UFPI, pelos momentos de descontração e pelas ricas discussões e pelo companheirismo.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO 1	1
1.INTRODUÇÃO GERAL	1
2.REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Bioma Cerrado	2
2.2 Cultura da soja	4
2.3 Solos ácidos	5
2.4 Calagem	6
2.5 Gessagem	8
3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9
CAPÍTULO 2	14
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1.INTRODUÇÃO	16
2.MATERIAL E MÉTODOS	17
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.CONCLUSÕES	31
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO GERAL

SCHENFERT, Tamara Araújo. **Doses de calcário e gesso na cultura da soja em área de abertura no Cerrado Piauiense**. 2017, Cap. 1, 50 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹.

O Cerrado ocupa 21% do território nacional, nesse bioma está concentrado as atividades agropecuárias do Brasil, última fronteira agrícola do planeta. Nesse sentido, o Cerrado piauiense, vem se destacando nacionalmente como uma região de grande potencial de produção de grãos, principalmente com a cultura da soja. O presente trabalho teve por objetivo avaliar os teores foliares dos macronutrientes, a produtividade e o peso de 100 grãos em área de abertura no cerrado piauiense, submetido a doses de calcário e gesso agrícola. O experimento foi conduzido na Fazenda União (Serra das Laranjeiras), Município de Currais – PI, em solo classificado como Latossolo amarelo distrófico típico, em condições de sequeiro e em área recém-desbravada. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições e 20 tratamentos. Foram avaliados os teores foliares (N, P, K, Ca, Mg e S) produtividade e peso de 100 grãos em anos consecutivos 2016 e 2017. A produtividade e o peso de 100 grãos do primeiro ano foram influenciados pela interação calcário e gesso e expressaram um aumento de 100% em relação a testemunha. A aplicação de calcário associada à de gesso alterou significativamente os teores de cálcio foliar e expressou um aumento de 64% em comparação a testemunha. Na produtividade do segundo ano a dose de 10 t ha⁻¹ de calcário expressou aumento de 87% na produtividade da soja em relação a testemunha e o efeito de gesso isolado aumento de 70,28% em relação a testemunha. A máxima concentração de nitrogênio (N) foliar da soja foi encontrada com 2 t ha⁻¹ de gesso. A gessagem aumentou 0,5% de fósforo (P) na concentração foliar da soja em relação ao valor encontrado na testemunha. O gesso (dose de 4 t ha⁻¹) reduziu o teor de potássio (K⁺) foliar. A aplicação de calcário também apresentou uma redução máxima de 27% no teor foliar de K⁺. Observou-se resposta quadrática na absorção de magnésio pela cultura da soja, sendo o teor máximo foliar do elemento igual a 5,59 g kg⁻¹, proporcionado pela dose de 8 t ha⁻¹ de calcário. O gesso favoreceu o acúmulo de S nas folhas de soja. Houve uma redução de 15% do teor de S foliar em relação as doses de calcário. A calagem e a gessagem favoreceram incrementos na soja, tanto na produtividade quanto nos teores foliares.

Palavras-Chaves: *Glycine max* (L.) Merrill, nutrição de plantas, acidez do solo, calagem, gessagem

¹Orientador: Rafael Felipe Ratke – UFPI /Bom Jesus

SCHENFERT, Tamara Araújo. **Soybean cultivation on opening soil of the Cerrado in the function of amounts of limestone and plaster**. 2017, Cap. 1, 47 p. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí, PI¹.

The Cerrado occupies 21% of the national territory and is considered the last agricultural frontier of the planet. Therefore, the Cerrado of Piauí, has been nationally highlighted as a region with great potential for grain production, mainly with the soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill). This biome is characterized by presenting soils with low natural fertility, acidity and high concentrations of aluminum. Soil acidity is considered one of the main factors of chemical degradation capable of reducing the productive potential of the crops. To correct the acidity of the soils, it is necessary to practice liming and to improve the subsurface environment, agricultural plaster has been used. The objective of this work was to evaluate the first - year macronutrient contents, yield and weight of 100 grains in the first and second year of soybean cultivation in the first year of cultivation in the Cerrado of the Piauiense region. The experiment was conducted at Fazenda União (Serra das Laranjeiras), Municipality of Currais - PI. In yellow latosol, dry conditions and opening area. The experimental design used was in complete blocks at random, with four replications and 20 treatments. Nutrition, productivity and weight of 100 grains were evaluated. The productivity and weight of 100 grains of the first year were influenced by the interaction of limestone and gypsum and expressed a 100% increase in relation to the control. The application of limestone associated with that of gypsum significantly altered the levels of foliar calcium and expressed an increase of 64% in comparison to the control. In the second-year productivity the 10 t ha⁻¹ limestone dose showed an increase of 87% in soybean yield in relation to the control and the effect of an isolated gypsum increase of 70.28% in relation to the control. The maximum nitrogen (N) leaf concentration of soybean was found with 2 t ha⁻¹ of gypsum. Phosphorus (P) increased in the foliar concentration of soybean in relation to the value found in the control. Gypsum (4 t ha⁻¹ dose) reduced foliar potassium K content. The application of limestone also showed a maximum reduction of 27% in K leaf content. A quadratic response was observed in the absorption of magnesium by the soybean crop, with the maximum leaf content of the element equal to 5.59 g kg⁻¹ provided by the 8 t ha⁻¹ limestone dose. The plaster favored the accumulation of S in the soybean leaves. There was a 15% reduction in leaf S content in relation to limestone doses. Liming and gaging favored increases in soybean yield and foliar contents.

Keywords: mineral nutrition of plants, soil acidity, *Glycine max* (L.) Merrill, liming, plaster

¹Orientador: Rafael Felipe Ratke – UFPI /Bom Jesus

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo, determinados antes da instalação do experimento nas profundidades: 0-20, 20-40 e 40-60 cm na região do cerrado piauiense.....	18
Tabela 2. Média do número de plantas germinadas, determinados em 1 metro linear na safra 2016/2017 do experimento.....	20
Tabela 3. Efeito das doses de calcário e gesso nos teores foliares de nitrogênio(N), fósforo(P), potássio(K), cálcio(Ca), magnésio(Mg) e Enxofre(S); valores de produtividade(Prod.) e peso de 100 grãos(P100) para o primeiro e segundo ano de plantio.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados mensais de pluviosidade, temperatura média, mínima e máxima, (pluviômetro instalado na área do experimento e temperatura retirada de informações da estação meteorológica em Bom Jesus-PI-INPE).	18
Figura 2. Superfície de resposta para a produtividade (a) peso de 100 grãos (b) e teores foliares de cálcio (c) de soja em função de doses de calcário e de gesso agrícola no primeiro ano agrícola.	23
Figura 3. Efeito das doses de calcário na produtividade (a), no peso de 100 grãos (b) do segundo ano e nos teores foliares de potássio (c), magnésio (d) e enxofre (e) do primeiro ano.....	24
Figura 4. Efeito das doses de gesso na produtividade da soja (a) do segundo ano, nos teores foliares de nitrogênio (b), fósforo (c), potássio (d) e enxofre (e) do segundo ano.	27

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia e ocupa 21% do território nacional (Borlaug, 2002). Esse bioma foi considerado durante muito tempo, como um Ecossistema que não apresentava grande potencial para o desenvolvimento agrícola. A partir da década de 1970, devido inicialmente ao esgotamento das terras das regiões sul e sudeste disponíveis para exploração agropecuária e, posteriormente, à necessidade de expansão da fronteira agrícola, aliado à modernização da agricultura e à atuação do Estado em associação com empresários nacionais e com o capital estrangeiro, o Cerrado insere-se no processo de agropecuária (Aguiar & Monteiro, 2005).

Nesse cenário, o Cerrado piauiense, vem se destacando nacionalmente como uma região de grande potencial de produção de grãos, principalmente com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), (Petter et al., 2012). Essa oleaginosa se configura, a nível mundial, como a principal produzida e consumida. Possui indiscutível importância no mercado internacional de commodities agrícolas, é amplamente utilizada para a elaboração de rações animais, produção de óleo e outros subprodutos (Araújo, 2009).

Os solos de Cerrado caracterizam-se pela sua baixa fertilidade natural, acidez e altas concentrações de alumínio. O processo de acidificação do solo, nas regiões tropicais e subtropicais, inicia-se com a solubilização da rocha, com posterior perda de cátions do solo associada à retenção preferencial de cátions de maior valência, como o alumínio, nos sítios de troca da argila e da matéria orgânica (Quaggio, 2000). A acidez do solo é considerada um dos principais fatores de degradação química capaz de reduzir o potencial produtivo das culturas. Em solos ácidos com pH baixo (<5,5), há menor disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas, afetando sua capacidade produtiva. Além disso, em condições de elevada acidez ($Al^{3+} > 1,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$), o alumínio presente na solução do solo provoca inibição da expansão da raiz. Logo, essas raízes exploram menor volume de solo e conseqüentemente absorvem menores quantidades de nutrientes e água (Taylor, 1988).

Para se produzir nesses solos do Cerrado é necessário a adoção de algumas práticas de manejo, que visem adequar o ambiente às necessidades das plantas a serem utilizadas. A correção da acidez dos solos, portanto, é uma prática fundamental para elevar a capacidade produtiva destes solos. Assim, desde tempos remotos, vêm sendo utilizado diversos materiais que apresentam reação alcalina para corrigir os efeitos deletérios da

acidez do solo. Os corretivos mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, principalmente pela sua abundância na natureza, facilidade de extração e uso, baixo custo e resultados agronômicos satisfatórios (Holzschuh, 2007). A aplicação e incorporação do calcário é a prática mais comum na agricultura. Porém, a incorporação profunda do corretivo é limitada, muitas vezes por impossibilidade de utilização de implementos agrícolas apropriados, pela presença de raízes da vegetação natural em área recém-incorporada ao sistema produtivo, e pelo custo elevado da mecanização com tratores de alta potência. Uma alternativa para a melhoria do ambiente radicular abaixo da camada corrigida pelo calcário é a aplicação superficial de gesso agrícola (Toma et al., 1999).

Na maioria dos trabalhos realizados, a avaliação do calcário e gesso é realizada em solo que já estão inseridos em um sistema de cultivo, porém, é de fundamental importância que essa avaliação seja realizada em áreas de abertura. O estado do Piauí insere-se nesse contexto por apresentar áreas passíveis para a conversão em agricultura e pecuária.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de calcário e gesso no cultivo da soja do Cerrado da região Piauiense, nos seguintes fatores: teores foliares dos macronutrientes, a produtividade e o peso de 100 grãos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bioma Cerrado

O Cerrado ocupa uma área de 204,9 milhões de quilômetros quadrados, (IBGE, 2010), distribuídos por dez estados: Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal. Esse complexo de bioma, assim conceituado por Coutinho (2006), é considerado o mais rico das savanas tropicais no mundo. Apresenta uma elevada diversidade de espécies e habitats. Fatos que foram comprovados em uma pesquisa florística que revelou 914 árvores e arbustos em 315 sítios de Cerrado, 300 espécies faziam-se presente em mais de 8 locais e 614 espécies foram encontradas em apenas uma localidade (Ratter et al., 2003).

O clima predominante do Cerrado é o tropical sazonal, de inverno seco. A temperatura média anual fica em torno de 22-23°C, e as médias mensais apresentam pequenas estacionalidades. A precipitação média anual, em geral, fica entre 1200 e 1800 mm. O oposto do que acontece com a temperatura, a precipitação média mensal apresenta uma grande estacionalidade, concentrando-se nos meses de primavera e verão (outubro a março), que é a estação chuvosa. Apresenta curtos períodos de seca, chamados de

veranicos, podem acontecer em meio a esta estação, criando sérios problemas para a agricultura. No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais reduzem bastante, podendo chegar a zero. Disso resulta uma estação seca de três a cinco meses de duração (Coutinho, 2000).

O regime sazonal climático da região do Cerrado é regido por três sistemas principais de perturbação atmosférica geradores de tempos instáveis e chuvas: o primeiro é o Sistema de Oeste, representado por “linhas” de instabilidades tropicais (IT) que agem sobretudo no verão sobre os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Bahia e Minas Gerais. Os Estados do Maranhão e Piauí tem sua ação de importância secundária para esse sistema. O segundo é o Sistema de N arte, representados pela convergência intertropical (CIT), que são mais frequentes no verão e outono, principalmente nesta última estação. Sua ação é praticamente limitada ao Maranhão e Piauí. O terceiro e último é o Sistema de Sul, representados pelas frentes polares (FP). As ações destas instabilidades frontais são mais frequentes no inverno e decrescem bruscamente para o norte. É favorecido por chuvas frontais durante quase todo o ano, no Maranhão e Piauí elas são praticamente inexistentes (Nimer & Brandão, 1989).

O Cerrado Possui ampla demarcação geográfica, as classes de solos mais presentes restringem-se basicamente aos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, os quais são descritos genericamente como profundos, com baixa fertilidade natural, praticamente sem minerais primários, facilmente intemperizáveis, acidez elevada, altos níveis de alumínio trocável e com relevo plano a suave ondulado. Muitas árvores nativas e arbustos dessa região são adaptadas a absorver e acumular em suas folhas o alumínio presente no solo (Ker & Resende, 1996; Haridasan, 1982).

Apesar da maioria dos fatos relatados no parágrafo anterior serem negativos a produtividade das culturas, os solos de Cerrado possuem elevadíssimo potencial para a agricultura. Fato esse que se confirmou com a última grande revolução verde nacional que só foi possível graças à domesticação do Bioma Cerrado, onde um dos grandes alavanches foi o atual sistema de produção de grãos. Realizado da seguinte maneira: predomina-se o cultivo de soja seguindo por milho de segunda safra (ou simplesmente safrinha), consorciada ou não com uma forrageira tropical, para acúmulo de palha ou pastagem para produção de carne (Boi safrinha). Com esse avanço, o Brasil conseguiu atingir as três principais formas de potencializar a produção de alimentos, aumentando sua área cultivada, sua produtividade e a intensidade de cultivos, gerando assim dois fatores importantes: a diversificação, tornando a receita menos “refém” das constantes sazonalidades dos preços das comódites; e o melhor uso da terra (Flores & Cunha, 2016).

2.2 Cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*. Teve seus primeiros registros de produção na China. Sua origem deu-se devido ao cruzamento de duas espécies selvagens domesticadas por cientistas chineses, sendo bastante utilizada há mais de cinco mil anos no Oriente. A espécie *Glycine max* é uma planta anual, herbácea, ereta, autógama, que proporciona ampla variabilidade quanto suas características, que podem ser influenciadas pelo ambiente, como a altura e número de ramificações. Em relação ao ciclo, este pode variar de 75 dias até 200 dias dependendo da variedade e outros fatores envolvidos. O fruto é classificado como vagem e pode chegar a 400 g por planta, na maioria das cultivares apresenta vagens com dois ou três grãos de média, o que pode variar de um a cinco grãos. Os grãos de soja possuem mudanças quanto à forma, tamanho e a cor (Sediyama, 2009).

Essa cultura expandiu seu cultivo no Brasil, devido ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de baixa latitude, associada a técnicas de manejo como o emprego de corretivos de acidez e fertilizantes, fatores que são essenciais para a construção da fertilidade e pelo sucesso econômico do cultivo da soja em solos da região do Cerrado (Mann et al., 2001).

Com essa expansão a soja conseguiu ocupar uma posição de destaque na economia brasileira, devido principalmente ao seu potencial produtivo, sua composição química e valor nutritivo, que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação humana e animal, com acentuado papel socioeconômico, além de se constituir em matéria-prima imprescindível para estimular distintos complexos agroindustriais (Mauad et al., 2011).

Além do avanço das cultivares adaptadas, utilização de corretivos e fertilizante, vários outros fatores têm contribuído para o bom desempenho da soja brasileira, tais como: o desenvolvimento de tecnologias próprias à região tropical; novas técnicas de cultivo; o uso do manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas, com base na fisiologia das variedades e nas características edafoclimáticas; a adequação de técnicas de aplicação e utilização de produtos seletivos; a agricultura de precisão, conectada a técnicas de colheita, logística de armazenamento e transporte. Todos esses fatores juntos fizeram do Brasil, em pouco mais de 30 anos, uma potência na área, permitindo vislumbrar a perspectiva de, em 2020, chegar a produzir perto de 105 milhões de toneladas, ocupando uma área adicional de 8 milhões de hectares, consequência do progresso tecnológico da cultura integrada à pecuária (Parra, 2006).

2.3 Solos ácidos

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido a pobreza de cátions básicos como cálcio, magnésio, potássio e sódio no material de origem, denominados de bases, processos pedogenéticos que favoreceram a perda dos mesmos ou manejo de solos que levam à perda destas bases (Catani & Gallo, 1955).

Quando um solo possui pH 7,0 este é considerado quimicamente neutro. Nessa condição, as cargas negativas dos coloides estão ocupadas por cátions básicos que, por terem cargas positivas, ficam adsorvidos no ponto de troca iônica, nos quais a carga é negativa (Quaggio, 2000). Em regiões com altas precipitações, há uma disposição constante para o processo de acidificação do solo, por dois principais mecanismos: suprimento contínuo de íons H^+ e entrada de ácido carbônico pelas águas das chuvas (Sposito, 1989).

Em condições naturais os solos do Cerrado apresentam caráter ácido em função da interação entre o material de origem, relevo, clima e atividade biológica durante seu processo de formação que os caracterizam como altamente intemperizados. O principal fenômeno que resulta na acidificação destes é justamente a remoção de cátions básicos do complexo de troca, que são substituídos por cátions de natureza ácida, como alumínio trocável e hidrogênio não dissociado, presente principalmente, nos compostos orgânicos provenientes da mineralização da matéria orgânica (Flores & Cunha, 2016).

Desta maneira, a acidez do solo pode ser dividida nos seguintes componentes: acidez ativa (fator determinante) e acidez potencial (fator quantidade), e esta, por sua vez, dividida em acidez trocável e acidez não trocável (Kingo, 1983). A acidez ativa refere-se à atividade do H^+ na solução do solo, expressa em valores de pH, refletindo, portanto, o hidrogênio que se encontra dissociado no solo. Quanto maior for a atividade de H^+ na solução do solo, menor será o pH. Já acidez potencial o pH do solo representa o grau de dissociação dos compostos (grupos funcionais orgânicos e inorgânicos) que liberam H^+ não fornecendo nenhuma indicação sobre a natureza ou quantidade destes compostos. Logo, a acidez não trocável corresponde ao hidrogênio ligado, de forma covalente, aos coloides de carga variável e aos compostos de alumínio, enquanto a acidez trocável refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas (Lopes et al., 1991).

Os macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e os micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e níquel (Ni) classificados como nutrientes essenciais às plantas absorvidos a partir do solo. Estes desempenham papéis

vitais no metabolismo vegetal, influenciando diretamente na produtividade das culturas. Vários são os fatores que influenciam na disponibilidade dos nutrientes, sendo o pH um dos principais. Estudos demonstram que, os macronutrientes apresentam, por efeitos diretos ou indiretos, maior disponibilidade em pH na faixa de 6,0 a 6,5 (Dechen & Nachtigall, 2006; Meurer, 2007).

2.4 Calagem

Em solos altamente intemperizados, como por exemplo os latossolos, faz-se necessária a correção da acidez. A calagem é o corretivo mais utilizado para neutralizar a acidez do solo, é também uma das práticas agrícolas menos dispendiosas e eficazes na melhoria das condições ambientais no qual as raízes das plantas se desenvolvem. Constitui-se em um sal de compostos de baixíssima solubilidade, porém esse reage com os ácidos do solo, desencadeando uma série de reações. Essas reações configuram a elevação do pH neutralizando a acidez do solo, no fornecimento de cálcio e de magnésio, e redução no teor de alumínio trocável. Possui ainda destacado papel na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das plantas e, como tal, vem sendo utilizada a décadas com essa finalidade (Kaminski, 1989).

Além dos benefícios diretos proporcionados pelo calcário e expostos acima, ainda existem os benefícios indiretos, ou seja, com a neutralização da acidez, redução do Al trocável e disponibilização de Ca e Mg, conseqüentemente, ocorre o favorecimento no desenvolvimento do sistema radicular, promovendo maior absorção de nutrientes e água. O uso adequado da calagem contribui também com o aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, estimula a atividade microbiana e uma melhor fixação de nitrogênio pela simbiose com leguminosas (Alvarez-Venegas & Ribeiro, 1999).

Em solos tropicais de carga variável a calagem afeta a sua eletroquímica o que favorece o aumento do potencial elétrico superficial, contribuindo para a dispersão de argila, principalmente de microagregados. No entanto, a influência da calagem na dispersão de argila, bem como na estabilidade de macroagregados, necessita que seja dependente do seu efeito no aumento da quantidade de resíduos vegetais acrescentados ao solo, os quais são fontes de Carbono e energia aos microrganismos e, deste modo, podem determinar aumento da atividade microbiana no solo (Chan & Heenan, 1999).

A reação do produto no solo se comporta da seguinte forma, o carbonato de cálcio é consumido pela acidez dos solos conforme o calcário se movimenta no perfil em função da umidade. Porém, esse corretivo é produto de baixa solubilidade e, devido a essa

característica, necessitam de bom contato com as partículas do solo, fonte de acidez, para reagirem. Como consequência, os efeitos da calagem se restringem, principalmente, nas camadas mais superficiais do solo. Portanto, a movimentação do calcário no perfil é facilitada em sistemas de cultivo que utilizam o revolvimento do solo anualmente, já que esta prática aumenta o contato entre as partículas do solo e do corretivo (Natale et al., 2008).

O calcário pode ser considerado um insumo de grande benefícios, em comparação a outros insumos agrícolas, como fertilizantes, herbicidas e inseticidas, devido seus benefícios durarem mais de uma safra. Fato explicado com a baixa solubilidade do material corretivo e pela variabilidade de partículas que compõem os calcários, o que lhes confere diferentes capacidades de neutralizar a acidez ao longo do tempo. Dessa forma, a calagem pode ser recomendada de acordo com a necessidade de duração dos efeitos e a rapidez com que a acidez é corrigida. As partículas mais finas proporcionam rápida correção da acidez, e esse efeito residual pela ação das partículas menos finas, devido à sua solubilização mais lenta. Logo, o calcário mais eficiente é aquele que promove a mais rápida correção da acidez e que tem o maior efeito residual (Natale et al., 2007).

A recomendação da calagem inclui duas etapas: a necessidade de calagem (decisão da aplicação ou não do corretivo de acidez) e definição da dose a aplicar para atingir o objetivo. O pH, o Al (troçável ou sua saturação) e a saturação por bases são indicadores que podem ser utilizados para determinar se há ou não necessidade de calagem. A acidez potencial, o índice SMP (método tampão) e as fórmulas que envolvem fatores e, ou, componentes da acidez (Al troçável, MO, saturação por bases) têm sido utilizados para determinar a dose de corretivo aplicada no solo para atingir objetivos preestabelecidos (Nolla & Anghinoni, 2004).

2.5 Gessagem

O gesso é conceituado como material manufaturado a partir da gipsita moída e aquecida entre 190 e 200°C. O autor também define gesso como um subproduto da fabricação de superfosfato (Curi,1993). No caso da última definição o gesso como produto oriundo de processo industrial, denominado gesso agrícola é o sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), obtido como subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados. Para se produzir ácido fosfórico, as indústrias de fertilizantes utilizam como matéria prima a rocha fosfatada (apatita, especialmente a fluorapatita) que, ao ser atacada por ácido sulfúrico + água, produz, como subproduto da reação, o sulfato de Ca e o ácido fluorídrico (Malavolta, 1992).

Existem dois principais impedimentos que limitam a penetração do sistema radículas as camadas mais profundas do solo: o impedimento físico (consiste na compactação) e químicos (acidez e toxidez de Al^{3+}), fatores tais que, prejudicam a absorção de água e nutrientes (Marschner, 2002).

A calagem é uma importante prática agrícola para a correção da acidez dos solos. Contudo, seu efeito fica limitado à camada superficial do solo, não solucionando o problema da acidez em subsolo. Trabalhos demonstraram que a incorporação do calcário a grandes profundidades é uma prática demasiadamente onerosa, não sendo viável do ponto de vista econômico. Em contrapartida, experimentos mostraram que a utilização de gesso agrícola pode melhorar o ambiente radicular em subsuperfície, sem a necessidade de revolvê-lo. O descobrimento do efeito do gesso em subsolo, promovendo desenvolvimento radicular com aproveitamento de água durante veranicos, criou a expectativa da possibilidade da melhoria de solos ácidos ao longo do perfil para estimular o maior crescimento radicular (Raij, 2008).

A solubilidade do gesso agrícola e à presença de um ânion estável (SO_4^{2-}) justifica a alta mobilidade no perfil. Ocorrendo a dissociação do gesso a liberação do ânion SO_4^{2-} forma par iônico neutro com o Ca^{2+} , esse par iônico devido a sua neutralidade é facilmente levado para a subsuperfície do solo, além disso, a presença do íon SO_4^{2-} na solução pode reduzir a atividade do Al^{3+} trocável pela reação e formação do $AlSO_4^{2-}$ (Pavan et al., 1984). Comparando o efeito do gesso agrícola e o do sulfato de cálcio puro com relação a eficiência na redução da toxidez de Al, o gesso agrícola se destaca pela presença de F^- , um ânion que forma complexos mais estáveis com Al do que o SO_4^{2-} (Cameron et al., 1986).

A maioria das culturas tem expressado respostas a aplicação de gesso agrícola como condicionador do ambiente radicular em profundidade. Essa melhoria resulta na melhor distribuição do sistema radicular das culturas em profundidade no solo, pela redução de impedimentos químicos, em decorrência da presença de teores elevados de Al trocável e os baixos teores de cálcio nessas camadas, o que proporciona as culturas o aproveitamento de maiores quantidades de água na presença de veranicos (Saldanha et al., 2007).

Outra função comprovada do gesso é a excelente fonte de enxofre (S) para as culturas, que é um nutriente essencial para as plantas, a ausência desse elemento no solo pode afetar consideravelmente o seu desenvolvimento e a produtividade. Como o S na planta ocorre, em sua maior parte, em proteínas, no solo, o enxofre encontra-se, principalmente, em forma orgânica, na camada superficial. Nessa parte do solo, o sulfato

não encontra condições adequadas de absorção e o mesmo tende a mover-se para a subsuperfície (Moraes et al., 1998).

Após a divulgação dos resultados do trabalho de Ritchey et al. (1980) as pesquisas com gesso agrícola intensificaram-se. O autor estudou os efeitos do gesso na melhoria das condições de acidez do subsolo, permitindo o enraizamento profundo do milho num latossolo do Brasil central. Os resultados encontrados no trabalho evidenciaram a importância da utilização do gesso no aumento dos teores de cálcio em profundidade, diminuição da saturação por alumínio o que resultou no maior aprofundamento das raízes. Desde então, os trabalhos buscaram solucionar as dúvidas sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas e sobre o método de recomendação do produto interligando os diversos fatores que influenciam a produtividade das culturas.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T.J.A.; MONTEIRO, M.S.L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: A ocupação do Cerrado Piauiense. **Ambiente & Sociedade**, v.8, n. 02, p.1-18, 2005.

ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas. **Anais...**Campinas. 1983.p.11-22.

ALVAREZ-VÊNEGAS, V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VÊNEGAS, V. H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, Viçosa: CFSEMG, p. 43 - 60, 1999.

ARAÚJO, M.M. **Caracterização e seleção de linhagens de soja resistentes ou tolerantes à ferrugem asiática**. 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP, Piracicaba.

BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v.38, n. 02, p.221-228, 2002.

CAMERON, R. S.; RITCHIE, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1231-1236, 1986.

CATANI, R. A.; GALLO, J. ROMANO. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. **Revista de Agricultura, Piracicaba**, v. 30, n. 1/3, p. 49-60, 1955.

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 06, p. 1841-1844, 1999.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento; INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Boletim de Monitoramento. Culturas de verão – safra 2013/2014. Região do MATOPIBA. Sul do Estado de Maranhão, Leste do Estado do Tocantins, Sudoeste do Estado do Piauí e Extremo Oeste do Estado da Bahia. 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_01_09_10_40_53_boletim_a14_v03_n01_p1.pdf>. Acesso em: 05 Mai. 2017.

COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. **Eugene Warming eo cerrado brasileiro (AL Klein, ed.)**, p. 77-92, 2000.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta botanica brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

CUR I, N.; LARAC H, J.O.I.; KÄMPF, N.; M ONIZ, A.C.; FONT ES, L.E.F. Vocabulário da ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 90, 1993.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.1-6.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. 1 ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. 501 p.

HARIDASAN, M. Aluminium accumulation by some Cerrado native species of central Brazil. **Plant and Soil**, v. 65, n. 2, p. 265-273, 1982.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. 2007. 85f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

IBGE. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3914#resultado>>. Acesso em: 09 de maio de 2017.

KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. Corretivos da acidez do solo. Anais do In: II Seminário. Santa Maria: UFSM/Sociedade. Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p. 224.

KER, J.C.; RESENDE, M. Recursos edáficos dos Cerrados: ocorrência e potencial. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no cerrado, Planatina. **Anais...** Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-CPAC, 1996. p.15-19.

KINJO, T. Conceitos de acidez de solos. In: RAIJ. B.van; BATAGLIA,O.C.; SILVA, N.M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: SBCS, 1983. p.23-31.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUIMARÃES GUILHERME, L.R. Correção da acidez do solo. São Paulo: ANDA. 1991. 22p. (Boletim Técnico 1).

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – Perguntas e Respostas. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1992. p. 66.

MANN, E. N.; DE REZENDE, P. M.; DE CARVALHO, J. G.; CORRÊA, J. B. D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em Diferentes épocas na cultura da soja [*Glycine max (l.) Merrill*]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 264-273, 2001.

MARSCHNER, B.; BREDOW, A. Temperature effects on release and ecologically relevant properties of dissolved organic carbon in sterilised and biologically active soil samples. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 4, p. 459-466, 2002.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; NETO, A. I. A.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. **Agrarian**, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2011.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p. 113.

MORAES, J.F.L.; BELLINGIERI, P.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GALON, L.A. Efeitos de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. Carioca-80. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 03, p. 75-82, 1998.

MORAIS, A. A. C.; da SILVA, A. L. **Soja: Suas Aplicações**. 1 ed. Editora científica LTDA (MEDSI), 1977. p. 240.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1.475-1.485, 2007.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. de; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 1, p. 97-111, 2009.

PARRA, J.R.P. Editorial. Visão Agrícola: soja. Piracicaba, v.5, p.60-62, 2006.

PETTER, F. A.; DA SILVA, J. A.; PACHECO, L. P.; DE ALMEIDA, F. A.; DE ALCÂNTARA NETO, F.; ZUFFO, A. M.; DE LIMA, L. B. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 03, p. 190-196, 2012.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. V. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 233p.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 1, p. 40-44, 1980.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, v.20, n.4, 2007.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. 1 ed. Londrina, PR: Mecenias, 2009. 314 p.

SPOSITO, G. The Chemistry of Soils. University of California at Berkeley. Oxford University Press. New York, 1989.

TAYLOR, G.J. 1988. **The physiology of aluminum phytotoxicity**. Siegal, (ed.) Metals ions in biological systems. New York, EUA, 1988. p.123-163.

TOMA, M.; SUMNE, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 04, p.891-895, 1999.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Embrapa-CPAC, Planaltina. 1997.

CAPÍTULO 2

CULTIVO DA SOJA EM ÁREA DE ABERTURA DO CERRADO EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO E GESSO

RESUMO

SCHENFERT, Tamara Araújo. **Cultivo da soja em área de abertura do cerrado em função de doses de calcário e gesso**. 2017, Cap. 2, 48 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹.

A produção de soja em área de abertura do Cerrado é limitada pela acidez e excesso de alumínio no solo, portanto é necessário o uso de calcário e gesso agrícola para diminuir esses fatores e favorecer o desenvolvimento da soja. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de calcário e de gesso agrícola na nutrição foliar e no rendimento de grãos da soja, em área de abertura, no Cerrado da região Piauiense. O trabalho foi conduzido na Fazenda União (Serra das Laranjeiras), Município de Currais – PI entre dezembro de 2015 a abril de 2016. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, onde se testaram nas faixas horizontais as doses de calcário agrícola e nas faixas verticais as doses de gesso agrícola. Foram avaliados nutrição foliar (N, P, K, Ca, Mg e S), produtividade e peso de 100 grãos. A produtividade e o peso de 100 grãos expressaram um aumento de 100% em relação a testemunha na safra 2016. Na safra 2017 houve efeito isolado dos tratamentos em relação a produtividade e peso de 100 grãos. A aplicação de calcário associada à de gesso alterou significativamente os teores de cálcio foliar. Os nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre foram significativos. Houve efeito da interação entre as doses de calcário e gesso sob a produtividade e teor de cálcio foliar na safra 2016. E houve efeito isolado dos tratamentos calcário e gesso para produtividade na safra 2017.

Palavras chaves: *Glycine max* (L.) Merrill, nutrição mineral, acidez do solo

¹Orientador: Rafael Felipe Ratke – UFPI/Bom Jesus

ABSTRACT

SCHENFERT, Tamara Araújo. **Soybean cultivation on opening soil of the Cerrado in the function of amounts of limestone and plaster**. 2017, Cap. 2, 48 p. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí, PI¹.

The production of soybeans in the Cerrado opening area is limited by the acidity and excess of aluminum in the soil, so it is necessary to use limestone and agricultural gypsum to reduce these factors and favor the development of soybeans. The objective of the present work was to evaluate the effect of the application of limestone and gypsum in the nutrition and grain yield of the soybean in the first year of cultivation in the Cerrado of the Piauiense region. The work was conducted at Fazenda União (Serra das Laranjeiras), Municipality of Currais - PI between December 2015 and April 2016. The experimental design used was divided into strips with four replications and 20 treatments. Nutrition, productivity and weight of 100 grains were evaluated. The yield and weight of 100 grains expressed a 100% increase in relation to the control in the 2016 harvest. In the 2017 harvest, there is an isolated effect of the treatments in relation to productivity and weight of 100 grains. The application of limestone associated with that of gypsum significantly altered the levels of foliar calcium. The nutrients nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and sulfur were significant only for one of the treatments. There was an interaction effect between limes and gypsum rates under yield and leaf calcium content in the 2016 harvest. And there is an isolated effect of limestone and gypsum treatments for yield in the 2017 crop.

Keywords: mineral nutrition of plants, soil acidity, Glycine max (L.) Merrill

¹Orientador: Rafael Felipe Ratke – UFPI/Bom Jesus

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se incrementar a produção de alimentos é crescente e proporcional ao aumento da população e, com isso, novas áreas estão sendo exploradas. Há muitos anos o Cerrado brasileiro vem sendo explorado nesse sentido, já que possui condições topográficas favoráveis, caracterizando-se em uma região apta à incorporação do sistema produtivo das grandes culturas para a produção de alimentos, fibras e energia (Brannstrom et al., 2008; Silva & Miziara, 2011).

Segundo Silva et al. (2010), a soja se configura como uma espécie de grande interesse socioeconômico, em função dos teores elevados de proteína (40%), óleo (20%), produtividade de grãos e ampla adaptação a ambientes diversos. Em termos de produção mundial o Brasil é o segundo maior produtor, perdendo apenas para os Estados Unidos da América com cerca de 33.176,9 milhões hectares de área plantada (Conab, 2016). Porém, para adequar a cultura da soja em solos do Cerrado brasileiro, é necessário a correção do pH do solo, devido ao predomínio de solos altamente intemperizados, caracterizados pela acidez e baixa disponibilidade de nutrientes às plantas (Silva et al., 2016).

A acidez do solo é um dos fatores que mais limitam a produção das culturas, podendo estar associado ainda à presença de baixos teores de cálcio, magnésio e potássio. Essa restrição não ocorre apenas na camada mais explorada pelas raízes das plantas (0 a 20 cm), mas também em profundidade, o que prejudica o desenvolvimento do sistema radicular no perfil do solo, limitando a absorção de água e nutrientes (Flores & Cunha, 2016). Dessa maneira, é de fundamental importância a correção da acidez do solo em todo seu perfil para que o sistema radicular das culturas explore maior volume de solo, de forma que as plantas apresentem maior eficiência na absorção de água e nutrientes, garantindo a sustentabilidade do uso agrícola do mesmo, já que solos ácidos comprometem o desenvolvimento e a produtividade das culturas (Oliveira et al., 2010; Nolla, 2004).

A calagem tem se destacado como a prática mais utilizada na agricultura para adequar as propriedades químicas do solo às necessidades das culturas, é um corretivo do solo obtido pela moagem da rocha calcária. Seus componentes são o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). Com seu uso, ocorre a neutralização dos íons H^+ e Al^{+3} , liberando cargas que serão ocupadas por Ca^{2+} e Mg^{2+} (Miyazawa et al., 2000). Porém a incorporação profunda de calcário para melhorar as condições em subsuperfície nem sempre é viável, devido principalmente ao elevado custo da

incorporação profunda. Logo, camadas mais profundas do solo, abaixo de 40 cm, podem continuar com excesso de alumínio tóxico, associado ou não à deficiência de cálcio, mesmo que se tenha efetuado calagem adequada (Sousa & Lobato, 2004).

Dessa maneira, uma das alternativas para a melhoria do ambiente radicular em subsuperfície é a utilização de gesso agrícola. O material é um subproduto na produção superfosfatos, no qual as rochas fosfatadas ao entrarem em contato com ácido sulfúrico formam dentro outros compostos, o sulfato de cálcio (Toma, 1999). Atua diminuindo a saturação por alumínio e aumentando os teores de cálcio e enxofre e, juntamente com a adubação equilibrada constitui técnica fundamental para os solos do cerrado (Vitti, 2008).

Nesse contexto, surgiu a necessidade do estudo das doses de melhor desempenho agrônômico para a cultura da soja em relação ao tipo de solo e condições edafoclimáticas da região. Poucas regiões podem realizar esse tipo de estudo, visto que, apenas o MATOPIBA (mesorregiões situadas mais ao Sul do Estado do Maranhão, Leste do Estado do Tocantins, Sudoeste do Estado do Piauí e Extremo Oeste do Estado da Bahia), apresenta áreas possíveis de abertura (Conab, 2014). Esse fato é realidade no Piauí devido ainda ter terras passíveis para conversão em agricultura e pecuária.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de calcário e de gesso agrícola na nutrição foliar e no rendimento de grãos da soja, em área de primeiro ano de cultivo, no Cerrado da região Piauiense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda União (Serra das Laranjeiras), Município de Currais - PI (08°38'12'' Sul e 44°40'11'' Oeste e altitude de 550 m) nas safras 2015/2016 e 2016/2017. O clima da região é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen. Possui duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Os dados de pluviosidade, temperatura do ar média, mínima e máxima ocorrida durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

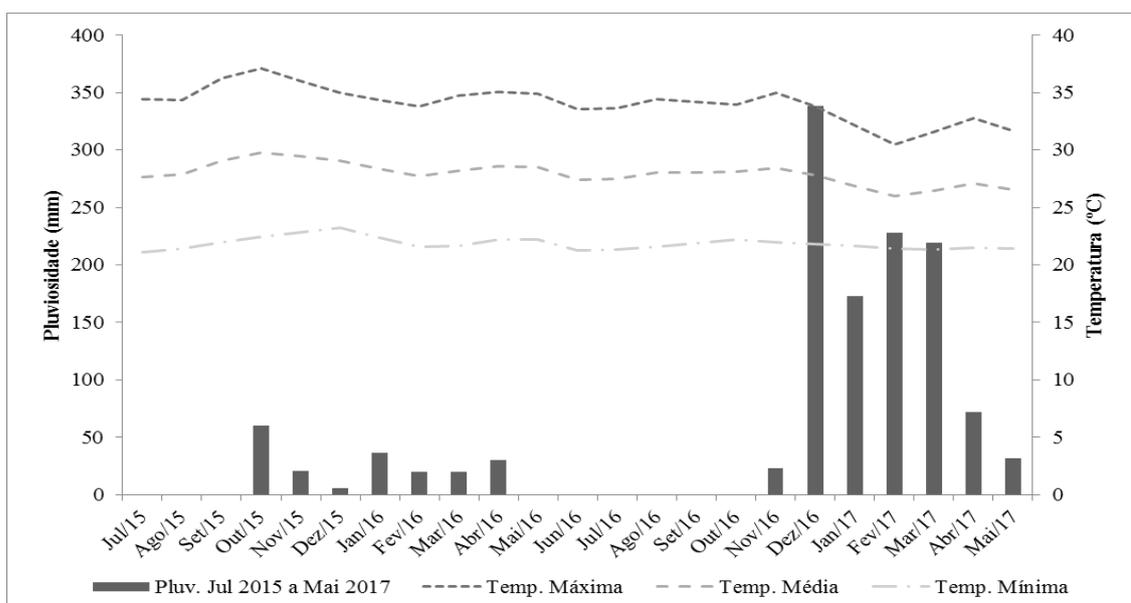


Figura 1. Dados mensais de pluviosidade, temperatura do ar média, mínima e máxima, (pluviômetro instalado na área do experimento e temperatura retirada de informações da estação meteorológica em Bom Jesus-PI-INPE).

O estudo foi desenvolvido em sistema de semeadura direta, em condições de sequeiro e em área de abertura. O solo foi classificado como latossolo amarelo (Pragana, 2011), com textura franco-argilo-arenoso (argila: 232 g kg⁻¹, silte: 30 g kg⁻¹ e areia: 738 g kg⁻¹). Os atributos químicos do solo antes da instalação do experimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, determinados antes da instalação do experimento nas profundidades: 0-20, 20-40 e 40-60 cm na região do Cerrado piauiense.

Prof.	pH*	M.O	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B	CTC	V	m
		g dm ⁻³	--mg dm ⁻³ --					mmol.dm ⁻³					----%----
0-0,20	3,7	21	4	2	0,1	2	1	47	5	3	50	6	62
0,20-0,40	3,8	7	4	6	0,1	3	1	28	3	4	32	13	42
0,40-0,60	3,9	5	4	3	0,1	2	1	31	3	3	34	9	49

*pH em CaCl₂; MO: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, onde se testaram nas faixas horizontais as doses de calcário agrícola e nas faixas verticais as doses de gesso agrícola. A área da parcela foi de 136,5m² e o espaçamento entre as faixas de 3 m. Os tratamentos constituíram-se pela combinação de cinco doses de calcário (0, 2, 4, 8 e 10 t ha⁻¹) e 4 doses de gesso (0, 1, 2 e 4 t ha⁻¹). Os mesmos foram aplicados e incorporados ao solo na profundidade de 0,20 metros através de maquinários especializados, três meses antes do plantio da primeira safra 2015/2016.

As doses de calcário foram definidas com valores abaixo e acima da dose recomendada. Fez-se o cálculo da necessidade de calagem pelo método que utiliza a saturação por bases do solo descrito por Sousa e Lobato (2004):

$$N.C.(t/ha) = \frac{V_2 - V_1}{100} T \times f$$

Em que:

V2 = Saturação por bases que se deseja

V1 = S/T x 100 = Saturação por bases atual

T = (H + Al + S) cmolc/dm³

S = (Ca + Mg + K) cmolc/dm³

f = fator de correção para a qualidade do calcário = $\frac{100}{PRNT}$

As doses de gesso foram definidas com valores abaixo e acima da dose recomendada. A necessidade de gesso definida segundo fórmula descrita por Raij 2008: Necessidade de gesso (NG) = 6 x argila (g kg⁻¹).

As características do calcário agrícola utilizado no experimento, possui: 30,3% de CaO, 17,4% de MgO, com um *poder relativo de neutralização total* (PRNT) de 87,5% e com poder de neutralização (PN) de 96,5%. O gesso agrícola utilizado apresentou: 27,3% de CaO e 15,4% de S.

A cultivar de soja utilizado no ano agrícola 2015/2016 foi a TMG 133RR semeada em 20 de dezembro de 2015, e a cultivar utilizada no ano agrícola 2016/2017 foi a M8808 semeada em 30 de janeiro de 2017. Foi utilizada a densidade de 13 sementes por metro linear e espaçamento de 0,50 m entre linhas. As médias dos números de plantas emergidas para as duas safras encontram-se na Tabela 2. As sementes foram previamente tratadas com Standak TOP (Fungicida/Inseticida de ação protetora (Piraclostrobina), sistêmico (Metil Tiofanato) e de contato e ingestão (Fipronil), do grupo das estrobilurinas, benzimidazol (percursor de) e pirazol.) 100 mL ha⁻¹, Vitavax thiram (Fungicida sistêmico e de contato para tratamento de sementes do grupo químico Carboxanilida (Carboxina) e Dimetilditio carbamato) 150mL ha⁻¹, Booster (micronutriente Mo e extrato da alga Ecklonia) 150mL ha⁻¹ e inoculadas com *Bradyrhizobium* (100 mL para 50 kg de semente). A soja foi adubada no momento da semeadura na safra 2015/2016 com 225 kg ha⁻¹ de mono-amônio-fosfato MAP (N:11%, P₂O₅: 52%) e 160 kg ha⁻¹ de Cloreto de potássio KCL (K₂O: 60%). Na safra 2016/2017 com 200 kg ha⁻¹ de MAP e 140 kg ha⁻¹. Os tratos culturais para controle de doenças, pragas e plantas daninhas foram realizados conforme a necessidade da cultura durante o experimento no campo.

Em pleno florescimento (estádio R1) da cultura no primeiro ano, foi realizada amostragem de folhas, coletando-se aleatoriamente o terceiro trifólio a partir do ápice das plantas, em número de 20. As folhas foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas, posteriormente, enviadas ao laboratório para análise química dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Malavolta et al., 1997).

A soja do primeiro ano foi colhida quando atingiu a maturação (estádio R8) em 26 de abril de 2016 e a do segundo ano em 20 de maio de 2017. Ambas em área útil de 4m² dentro da parcela e trilhadas mecanicamente para determinação da produtividade e peso de 100 grãos (Brasil, 2009). A massa de 100 grãos e o peso total dos grãos da área útil da soja foram determinados através de balança analítica de precisão (0,001 g), utilizando-se quatro repetições. Os valores do peso total de grãos da área útil foram extrapolados para kg ha⁻¹, corrigindo-se a umidade contida nos grãos a 13%.

Os dados obtidos para cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, quando houve diferença significativa sem a interação das doses de calcário e gesso, foram ajustadas equações de regressão linear ou quadrática para o estudo do efeito isolado da dose, utilizando-se o Software Sigma Plot 11.0. Contudo, quando as doses apresentaram interação, foram submetidos à análise de regressão múltipla, utilizando-se o programa computacional Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito da interação doses de calcário x doses de gesso

A produtividade do primeiro ano foi influenciada pela interação calcário e gesso. A superfície de resposta (Figura 2a), expressou um aumento de 100% de produção (889,06 kg ha⁻¹) quando se utilizou 10 t ha⁻¹ de calcário e 2 t ha⁻¹ de gesso. O mesmo efeito e as mesmas doses de máxima expressão que ocorreram na produtividade, aconteceram com o peso de 100 grãos do primeiro ano (17,3 g) com aumento de 100% em relação a testemunha, (Figura 2b). Resultados semelhantes foram obtidos por Zandoná et al. (2015), que observaram incrementos na produtividade e no peso de grãos afetada pela interação entre as doses de calcário e gesso em soja cultivada em latossolo.

O aumento da produtividade no trabalho, possivelmente está relacionada ao aumento dos teores foliares de Ca e Mg na soja, proporcionado pela calagem, como também, o aumento nos teores foliares de N, P, Ca e S com a gessagem. A maior média de produtividade encontrada neste estudo foi de 889,06 kg ha⁻¹. Esse valor encontra-se

abaixo da média do Piauí (1143 kg ha⁻¹) para a safra 2015/2016, porém por se tratar de uma área de abertura essa média é justificável.

A limitação hídrica verificada durante o cultivo da soja, ocorrido durante a condução do experimento (Figura 1) provavelmente foi a causa das baixas médias de produtividades encontradas. O estresse hídrico provoca alterações nas plantas como a redução do potencial hídrico foliar, o fechamento estomático, diminuição da assimilação líquida de CO₂, prejudicando o processo fotossintético, a redução da parte aérea, a aceleração da senescência e abscisão das folhas, o que acarreta na ocorrência de plantas de soja pouco desenvolvidas, com pequena estatura, área foliar reduzida e entrenós curtos (Ferrari et al., 2015). Logo, a gessagem pode ter amenizado esse efeito de déficit hídrico, pelo favorecimento do crescimento radicular em virtude da disponibilização de Ca em profundidade e o aumento dos teores de S (Caries et al., 1999).

A aplicação de calcário associada à de gesso alterou significativamente os teores de cálcio (Ca) nas folhas de soja (Figura 2c). O gráfico de superfície de resposta, indica que a melhor absorção pela planta desse nutriente aconteceu na dose 8 t ha⁻¹ de calcário associada à 4 t ha⁻¹ de gesso. O uso de calcário e gesso proporcionou aumento de 64% nos teores de Ca foliar, quando comparado a testemunha. Tanto o calcário quanto o gesso disponibilizam Ca ao solo em superfície e subsuperfície respectivamente, favorecendo a nutrição da soja, resultados similares foram encontrados por Soratto e Crusciol (2008). O nutriente cálcio apresenta funções no processo metabólico relacionado ao crescimento e desenvolvimento das plantas, atua na divisão, diferenciação, polaridade e alongamento celular, como também na defesa da planta a estresses biótico e abiótico. Por esse nutriente participar diretamente do crescimento radicular e, possuir característica de baixa mobilidade natural no solo, baixa mobilidade na planta impedindo que tecidos mais velhos supridos de Ca atendam a demanda dos mais novos em crescimento, além de sua absorção quase exclusiva na coifa da raiz, faz com que o aumento desse nutriente em superfície e o deslocamento em profundidade, proporcionado pelo gesso, seja importante no aumento da tolerância das plantas a períodos de déficit hídrico. (Pauletti et al., 2014; White & Broadley, 2003).

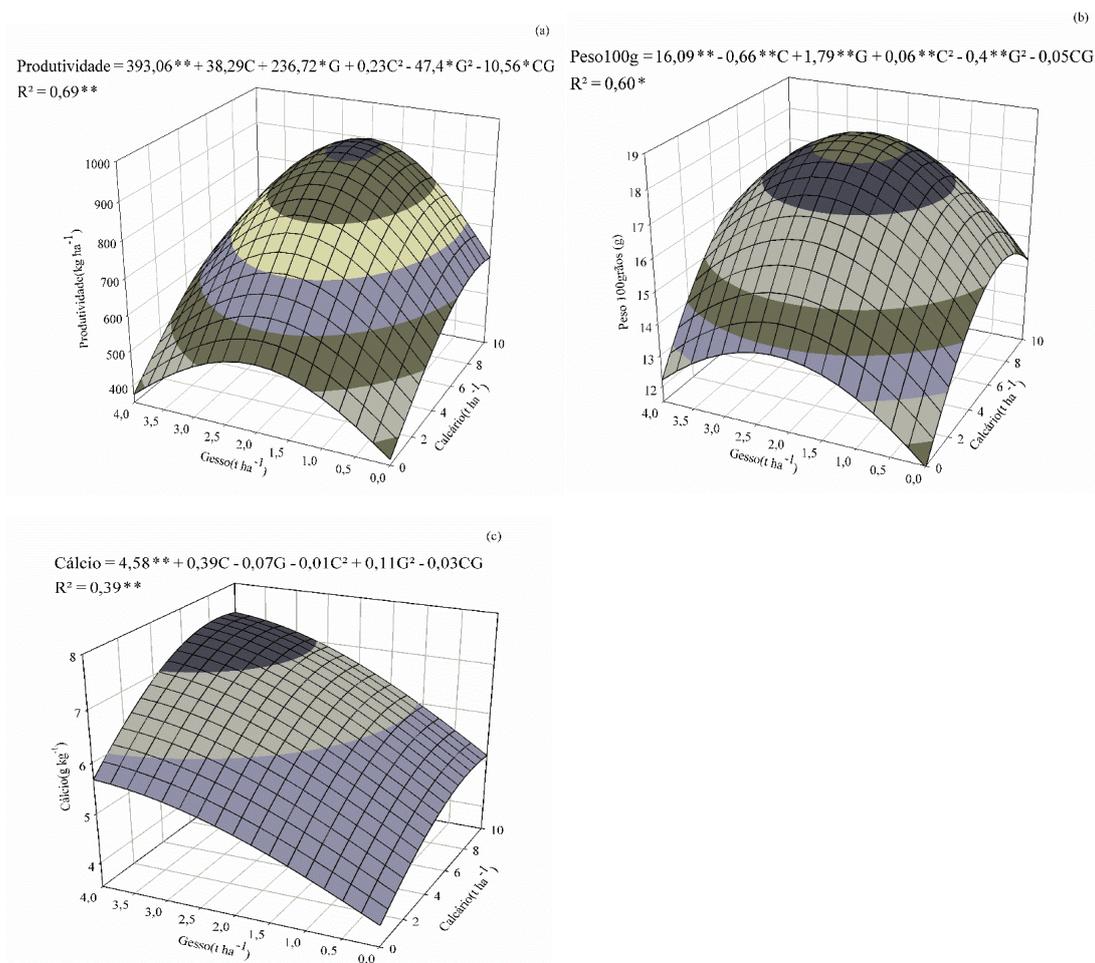


Figura 2. Superfície de resposta para a produtividade (a) peso de 100 grãos (b) e teores foliares de cálcio (c) de soja em função de doses de calcário e de gesso agrícola no ano agrícola 2015/2016.

3.2. Efeito do fator isolado de calcário

Ajustou-se o modelo exponencial para a produtividade do segundo ano em relação as doses de calcário (Figura 3a). A dose de 10 t ha⁻¹ de calcário expressou aumento de 87% na produtividade da soja em relação a testemunha. A média de produtividade 2713 kg ha⁻¹ no experimento encontra-se próxima a média do Piauí (2952 kg ha⁻¹) na safra2016/2017 (Conab, 2017). Esse efeito em anos de alta produtividade, que apresentou condições ambientais favoráveis, demonstra a importância da correção da acidez do solo para expressar o potencial máximo produtivo da soja. O segundo ano de cultivo da soja recebeu um maior volume de chuva em relação ao primeiro ano, assim, possivelmente não só o volume de chuvas, bem como a distribuição destas durante as diferentes fases do desenvolvimento da cultura possivelmente influenciaram a maior produtividade da soja no segundo ano (Figura 1). Associado aos benefícios gerado pela correção do calcário ao solo, que age diminuindo a acidez e fornecendo Ca e Mg ao solo, reduzindo a

solubilidade de Al e houve melhoria nos níveis de fertilidade do solo (Farias et al., 2006; Costa, 1996).

O peso de 100 grãos da safra 2016/2017, comportando-se de forma linear, apresentou significância para as doses de calcário (Figura 3b). O gráfico expressou um aumento de 13,51% na dose de 10 t ha⁻¹ de calcário em relação a testemunha. Rosseto (1994) ao estudar o efeito do calcário aplicado convencionalmente na produção de grãos de soja, observou que a prática da calagem proporcionou maior produção de grãos, favorecendo o maior tamanho e massa. Logo, a massa de 100 grãos é dos componentes de rendimento, que apresenta a menor variação percentual em função das alterações ambientais no meio de cultivo. Em condições adversas como restrição hídrica, a planta de soja preferencialmente formará poucos grãos, ao invés de vários e mal formados, pois seu objetivo biológico principal é a perpetuação da espécie (Lima, 2006).

A aplicação de calcário também apresentou redução máxima de 27% no teor foliar de K⁺, porém de forma quadrática (Figura 3c). O calcário apresenta em sua composição o cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) e, com o aumento das doses ocorreu o desbalanço na relação entre o Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, prejudicando a absorção de K⁺. Esse desbalanço ocorre devido a soja apresentar maior CTC radicular e, com isso, ocorre um favorecimento na maior retenção de cátions polivalentes, como o Ca²⁺ e o Mg²⁺ (Rampim et al., 2011; Mascarenhas & Tanaka, 1995).

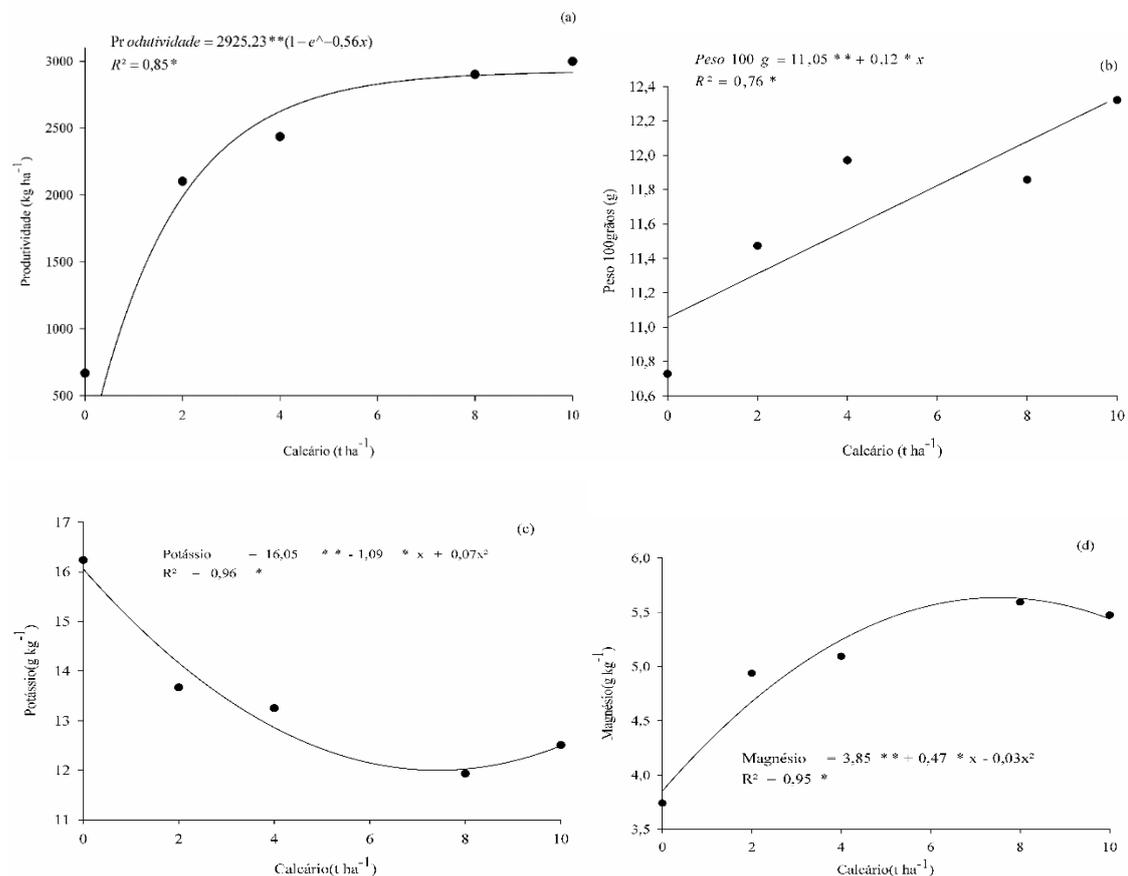
Os teores foliares de magnésio (Mg) na soja foram influenciados significativamente em função da aplicação de calcário. Observou-se resposta quadrática na absorção de magnésio pela cultura da soja, sendo o valor estimado de 5,69 g kg⁻¹ de mg, proporcionado pela dose de 7,8 t ha⁻¹ de calcário de acordo com a curva ajustada (Figura 3d). O teor de magnésio foliar aumentou 33% em relação a testemunha.

Segundo trabalho realizado por Pauletti et al. (2014), avaliando os efeitos do calcário e gesso a longo prazo, demonstraram que os teores de Mg no solo foram maiores com a aplicação do calcário em todas as profundidades. O que possivelmente aconteceu nesse experimento, visto que, o teor encontrado no solo era de 0,1 cmol_c dm⁻³ antes da calagem, o que é considerado um valor muito inferior ao recomendado por Raij et al. (1996) que considera adequado os valores superiores a 0,8 cmol_c dm⁻³. O calcário é fonte de Mg, e o utilizado no experimento foi do tipo dolomítico, que possui em sua composição 17,4% de óxido de magnésio (170,4 g/kg MgO). A redução no teor de mg a partir da dose 8 t ha⁻¹ de calcário. A explicação para a redução no teor de mg a partir da dose 8 t ha⁻¹, é semelhante com o que ocorreu com potássio foliar, houve inibição competitiva entre o Mg e K em relação à elevação dos níveis de Ca no tecido vegetal da soja. Essa competição

ocorre quando o aumento da concentração de um íon provoca a diminuição na absorção de outro nutriente (Silva & Trevizam, 2015; Malavolta, 2006).

Diferente da aplicação de gesso nas concentrações de S foliar, as doses de calcário se comportaram de forma quadrática (Figura 3e). Essa relação apresentou redução de 15% no teor de S foliar comparando-se a testemunha (2,52 g kg⁻¹) ao tratamento (4t ha⁻¹) que apresentou menor média (2,15 g kg⁻¹).

A calagem reduziu a absorção de enxofre pelas plantas de acordo com o aumento das doses de calcário, por possíveis interferências na química do solo, como por exemplo a inibição competitiva entre ânions, alterações nas espécies aniônicas em função da elevação do pH, formação de pares iônicos com o excesso de cálcio e magnésio (Foloni et al., 2012).



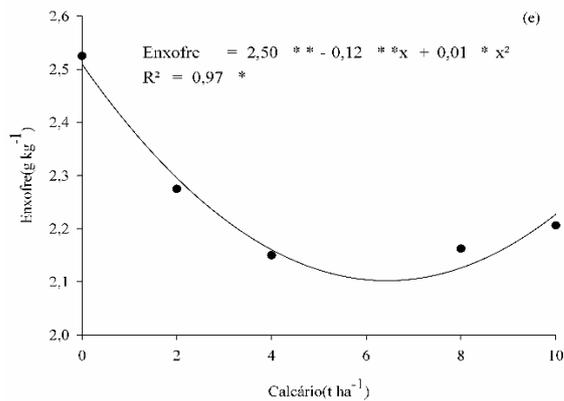


Figura 3. Efeito das doses de calcário na produtividade (a), no peso de 100 grãos (b) do segundo ano e nos teores foliares de potássio (c), magnésio (d) e enxofre (e) do primeiro ano.

3.3. Efeito do fator isolado doses de gesso

Houve significância para as doses de gesso em relação a produtividade da soja no segundo ano de plantio (Figura 4a). O comportamento foi linear com um aumento de 70,28% na dose de 4 t ha⁻¹ de gesso em comparação ao tratamento sem aplicação de gesso. A maior produtividade influenciada pelo gesso foi de 1238,47 kg ha⁻¹, que, encontra abaixo da média do Piauí na safra 2016/2017 (2952 kg ha⁻¹).

Mesmo apresentado resultados abaixo da média de produtividade do Piauí, o gesso aumentou a produtividade de grãos de soja mesmo na ausência de déficit hídrico, já que a precipitação pluvial do segundo ano se apresentou bem distribuída, atendendo à necessidade da cultura. Dessa maneira, o aumento de produtividade da soja em relação as doses de gesso no segundo ano estão relacionadas possivelmente com a melhoria dos atributos químicos do solo, como o incremento nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ em todo o perfil e decréscimo da saturação por alumínio. Alguns autores destacam que, sob condições de distribuição regular de chuvas, não há resposta à aplicação do gesso (Maschietto, 2009; Caires et al. 2006), segundo Nuemberg et al. (2005), quando o gesso é aplicado ao solo a maior resposta sob condições de deficiência hídrica está no maior crescimento radicular.

A máxima concentração de nitrogênio (N) foliar da soja foi encontrada com 2 t ha⁻¹ de gesso, apresentando um aumento de 9% em comparação ao tratamento sem gesso (Figura 4b). A média máxima estimada foi de 43,75 g kg⁻¹ de nitrogênio foliar na dose de 2,04 t ha⁻¹ de gesso.

Esse produto é citado na literatura como um condicionador do ambiente radicular em subsuperfície, de forma que incrementa teores de enxofre e cálcio, e diminui a concentração de Al³⁺ nas camadas mais profundas. Desta forma, a melhoria possibilitada

pela aplicação de gesso ao solo pode ter contribuído no aumento do nitrogênio foliar na soja, já que as plantas que fixam nitrogênio, que é o caso da soja que possui condições de formar simbiose com rizóbios, necessitam de maior fertilidade do solo (exceto o nutriente nitrogênio) ou volume do solo para absorção, por requerem os nutrientes necessários ao hospedeiro, ao rizóbios e ao sistema simbiótico (Cattelan & Hungria, 1994).

A gessagem aumentou 0,5% a concentração fósforo (P) foliar na soja em relação ao valor encontrado na testemunha (Figura 4c). O maior teor de P estimado foi encontrado na dose de 2,11 t ha⁻¹ (Figura 4c).

Esse resultado está de acordo com os obtidos por Caries et al. (2003), que avaliando as alterações químicas do solo e a resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema direto, observaram incremento nos teores foliares de P obtidos com as doses de gesso. O fósforo é considerado um dos nutrientes mais complexos no sistema solo-planta por apresentar-se em poucas formas disponíveis aos vegetais, características de elevada adsorção aos solos do Cerrado e a sua imobilidade. (Santos & Kliemann, 2005;). Possivelmente, o aumento de fósforo no tecido foliar está associado a melhoria nas condições químicas do solo e ao maior desenvolvimento do sistema radicular, que possibilitou a absorção do fósforo disponível contido nas camadas mais profundas (Shainberg et al.,1980). Mesmo com a gessagem apresentando significância para os teores foliares de fósforo, a maior concentração estimada de 2,14 g kg⁻¹ não está adequada. Segundo Raij (2011), o teor foliar adequado de fósforo para o desenvolvimento da soja varia de 2,5-5,0 g kg⁻¹.

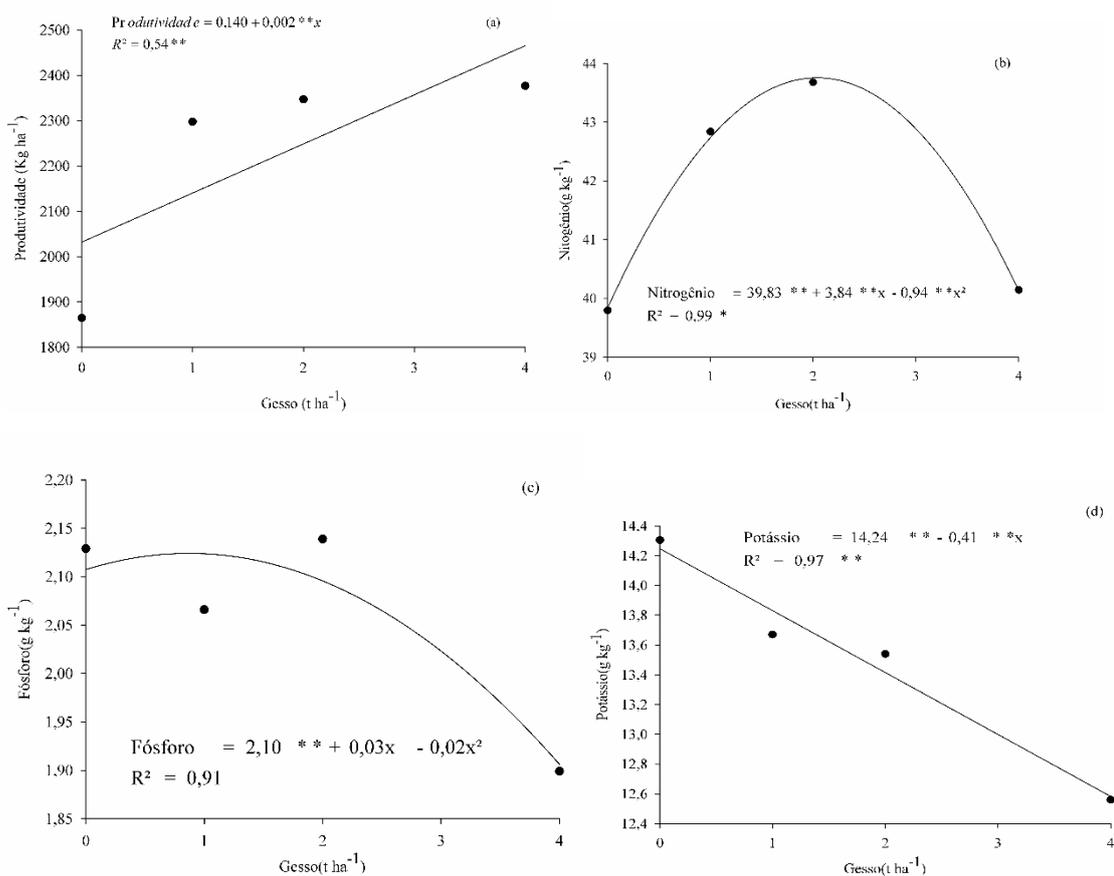
A aplicação de gesso (dose de 4 t ha⁻¹) reduziu o teor de potássio (K⁺) foliar em 12% em relação a testemunha (Figura 4d). Esse resultado corrobora com o observado por Gelain et al. (2011), avaliando os teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. Os autores encontraram com o aumento das doses de gesso quando aplicado sem molibdênio a diminuição do teor foliar de K⁺.

Uma possível explicação para essa redução na concentração de K⁺ no tecido foliar com a aplicação de doses de gesso, seria que o SO₄²⁻, produto gerado da dissociação do gesso reagiu com o K⁺ que estava naturalmente na solução do solo, formando os pares iônicos neutros (K₂SO₄⁰), o qual apresenta elevada mobilidade no perfil (Pavan et al., 1984; Dias, 1992). A lixiviação de K⁺ provocada pelo gesso a depender do tipo de solo, também foi constada por Souza & Ritchey (1986).

O gesso favoreceu o acúmulo de S nas folhas de soja, proporcionalmente a dose aplicada (Figura 4e). Em comparação a testemunha, a maior dose de gesso aplicada (4 t ha⁻¹), promoveu aumento de 33% no teor foliar de enxofre. Esse resultado é possível,

devido o gesso ser fonte mineral de S com cerca de 17% do elemento, possuir boa solubilidade e conseqüentemente, ser lixiviado para as camadas mais profundas do solo (Queiroz, 2005; Raij, 2008).

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Caires et al. (1998), que também observaram incrementos nos teores foliares de enxofre, durante o primeiro cultivo da soja. Apesar de ter sido encontrado um efeito linear para esse parâmetro, pode-se entender que não há necessidade da experimentação com doses maiores para encontrar o efeito quadrático, visto que, segundo Malavolta et al. (1997), os valores considerados adequados para plantas de soja na condição de campo, estão na faixa de 2,1 a 4,0 g kg⁻¹. Assim, na dose de 1 t ha⁻¹ de gesso desse experimento, o valor encontrado de enxofre foliar já estaria dentro da faixa adequada para a cultura da soja.



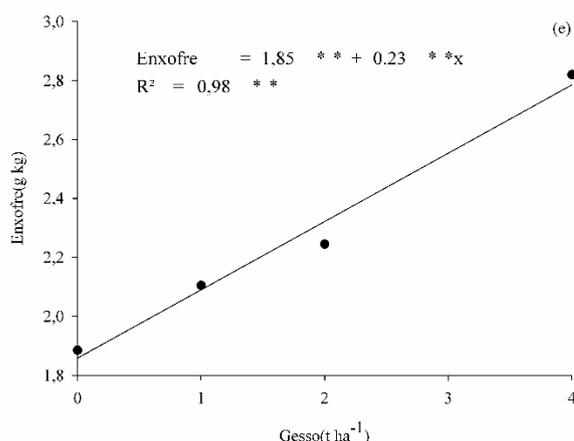


Figura 4. Efeito das doses de gesso na produtividade da soja (a) do segundo ano, nos teores foliares de nitrogênio (b), fósforo (c), potássio (d) e enxofre (e) do segundo ano.

Tabela 3. Efeito das doses de calcário e gesso nos teores foliares de nitrogênio(N), fósforo(P), potássio(K), cálcio(Ca), magnésio(Mg) e Enxofre(S); valores de produtividade(Prod.) e peso de 100 grãos(P100) para o primeiro e segundo ano de plantio.

Trat.	Doses	-----g kg-----						Prod 1°	P100 1°	Prod 2°	P100 2°
		N	P	K	Ca	Mg	S	kg ha ⁻¹	g	Kg ha ⁻¹	g
Controle	0-0	39,38	2,15	16,88	2,73	4,09	1,95	0	0	368,00	9,73
C-G	0-1	46,38	2,13	16,68	4,18	3,30	2,18	514,37	15,03	412,17	11,05
C-G	0-2	47,08	2,27	16,20	5,35	3,66	2,43	627,18	15,53	651,83	10,88
C-G	0-4	41,13	1,96	15,20	6,45	3,91	3,55	463,43	14,95	1238,47	11,25
C-G	2-0	41,30	2,17	15,18	4,53	5,48	2,00	444,37	16,18	1897,33	11,2
C-G	2-1	42,70	2,06	13,00	5,38	4,78	2,13	663,00	16,23	2160,00	11,58
C-G	2-2	42,88	2,09	13,83	5,35	4,58	2,10	629,53	16,53	2336,83	11,93
C-G	2-4	37,63	1,85	12,68	6,80	4,93	2,88	643,60	15,53	2016,33	11,18
C-G	4-0	38,85	1,99	14,18	4,70	5,58	1,80	579,06	16,68	2017,83	11,63
C-G	4-1	41,83	2,00	13,00	5,68	4,89	2,08	695,46	15,95	2496,67	12,25
C-G	4-2	43,05	2,05	13,50	6,23	4,86	2,30	776,00	16,35	2865,67	12,5
C-G	4-4	42,00	1,90	12,33	6,50	5,05	2,43	523,12	14,53	2366,17	11,5
C-G	8-0	38,15	2,09	12,98	5,28	5,51	1,83	699,43	16,55	2326,50	11,95
C-G	8-1	42,88	1,97	11,85	6,25	5,45	2,08	869,00	16,13	3472,50	12,5
C-G	8-2	42,53	2,23	12,18	6,40	5,86	2,20	869,21	16,15	2806,67	11,28
C-G	8-4	40,43	1,83	10,73	7,58	5,55	2,55	497,70	13,75	2999,00	11,7
C-G	10-0	41,30	2,24	12,33	5,40	5,73	1,85	685,62	16,28	2713,00	12,2
C-G	10-1	40,43	2,18	13,83	6,73	5,65	2,08	812,00	16,88	29,50,20	12
C-G	10-2	42,88	2,06	12,00	6,33	5,35	2,20	889,06	17,30	3073,67	12,75
C-G	10-4	39,55	1,95	11,88	6,80	5,18	2,70	610,46	15,23	3264,20	12,33
CV%*		7,01	8,86	8,21	11,55	9,96	14,12	24,23	6,62	21,47	6,7
Valor											
Calcário		2,11 ^{ns}	1,61 ^{ns}	35,80**	17,52**	35,50**	3,71**	13,71**	13,71**	64,05**	9,69**
Gesso		8,81**	7,40**	8,44**	41,11**	3,58**	31,21**	15,03**	15,03**	7,64**	2,13 ^{ns}
CxG		1,38 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,21 ^{ns}	2,01*	1,04 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,62**	2,62**	1,43 ^{ns}	1,41 ^{ns}

Trat: tratamento; C-G: Calcário-Gesso; CxG: CalcárioxGesso; *CV: Coeficiente de variação; *, ** e ns: significativos a p < 0,05, p < 0,01 e não-significativo, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

1. A interação entre as doses de calcário e de gesso aumentaram a produtividade da soja, as melhores doses foram 10 t ha⁻¹ de calcário e 2 t ha⁻¹ no ano agrícola de 2015/2016.

2. O calcário e gesso promoveram incrementos na nutrição de plantas nos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

3. A calagem e a gessagem em efeitos isolados promoveram aumento na produtividade, a melhor dose de calcário foi 10 t ha⁻¹ e a dose de gesso foi 4 t ha⁻¹, no ano agrícola 2016/2017.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANNSTROM, C. et al. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 04, p. 579-595, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

CAIRES, E. F., CHURKA, S., GARBUIO, F. J., FERRARI, R. A., & MORGANO, M. A. 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., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F. J., KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 275-286, 2003.

CAIRES, E. F., CHUEIRI, W. A., MADRUGA, E., FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 27-34, 1998.

CAIRES, E. F., FONSECA, A. F., MENDES, J., CHUEIRI, W. A., MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23: 315-327, 1999.

CATTELAN, A. J., & HUNGRIA, M. **Nitrogen nutrition and inoculation**. Tropical Soybean Improvement and Production; Brazilian Agricultural Research Enterprise. FOA of the United Nations. Rome, 1994.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Abastecimento da safrabrasileira de grãos. V.1, Safra 2015/2016, núm. 9 - nono levantamento. <<https://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 20 mai. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento; INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Boletim de Monitoramento. Culturas de verão – safra 2013/2014. Região do MATOPIBA. Sul do Estado de Maranhão, Leste do Estado do Tocantins, Sudoeste do Estado do Piauí e Extremo Oeste do Estado da Bahia. 2014. <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_01_09_10_40_53_boletim_a14_v03_n01_p1.pdf>. Acesso em: 05 Mai. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2014/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf>. Acesso em 01 jul. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2015/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf>. Acesso em 01 jul. 2017.

COSTA, J. A. **Cultura da soja** / José Antonio Costa. Porto Alegre: I. Manica, J.A. Costa, 1996.

DA SILVA, R. R.; DA COSTA, R.L.; DE FREITAS, G.A., SILVA, P.S.S., DA SILVA, J.S.C. Eficiência de fertilizante fosfatado na cultura da soja no cerrado baiano. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 11, n. 4, p. 13-22, 2016.

DIAS, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7).

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; TOBITA, S.; DE ALMEIDA, I. R. **Restrições da disponibilidade hídrica à obtenção de elevados rendimentos de grãos de soja**. In: Congresso Brasileiro de Soja, Londrina, 2006.

FERRARI, E.; DA PAZ, A.; DA SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado**. 1 ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. 501p.

FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S. Resposta da mamona a aplicação de doses excessivas de calcário em argissolo vermelho distroférrico. **Revista Colloquium Agrariae**, v.8, n. 2, 2012.

GELAIN, E., ROSA JUNIOR, E. J., MERCANTE, F. M., FORTES, D. G., SOUZA, F. R. D., ROSA, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia** 35: 259-269, 2011.

LIMA, E. D. V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura**

direta. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres Ltda. 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Potafos, Piracicaba, Brasil. 1997. 319 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Crescimento em vasos, de cultivares de soja e de trigo em função da saturação de alumínio. **Revista Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 257- 262, 1995.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.92, 2000. 8p.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. 3. 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU. CD-ROM.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2. ed. Florianópolis: Epagri, 2005. (Boletim técnico, 122).

OLIVEIRA, C. M. R.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F.; STURM, G. M.; SOUZA, R. B. Corretivo da acidez do solo e níveis de umidade no desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 01, p. 25-31, 2010.

PAULETTI, V., DE PIERRI, L., RANZAN, T., BARTH, G., & VARGAS MOTTA, A. C. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, 2014.

PAVAN, M. A., Bingham, F. T., Pratt, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal** 48: 33-38, 1984.

PEREIRA, F.R.S. 2007. **Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema de plantio direto no Estado do Alagoas**. 78f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil.

PRAGANA, R. B. 2011. **Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de solos sob plantio direto na Serra do Quilombo, Sudoeste Piauiense**. 159f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.

QUEIROZ, R. P. 2005 **Adubação fosfatada corretiva e gesso no plantio direto de soja e sorgo sobre pastagem degradada na região do cerrado**. 70f. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil.

- RAIJ, B. V. 2011. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. IPNI, 420p.
- RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 233p.
- RAIJ, B.V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. 1996. **Recomendação de adubação e calagem para o estado do São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC São Paulo, Brasil. 285p.
- RAMOS, B. Z. 2012. **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em Latossolo sob altas doses de gesso**. 96f. (Tese de doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- RAMPIM, L.; LANA, M. D. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, 2011.
- ROSSETO, C.A.V., FERNANDEZ, E.M., NAKAGAWA, J., ROSOLEM, C.A. Efeito do calcário na produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Sementes**, v.16, p.208-15, 1994.
- SANTOS, E. de A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35 n. 3, p. 139-146, 2005.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils: A review. **Advances in Soil Science**, v. 9, p. 1-111, 1989.
- SILVA, A. A.; MIZIARA, F. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.399-407, 2011.
- SILVA, L. S.; MOURA, M. C. C. L.; VALADARES, R. N.; SILVA, R. G.; SILVA, A. F. A. Seleção de variedades de soja em função da densidade de plantio, na microrregião de Chapadinha, nordeste maranhense. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 6, n. 2, p. 07-14, 2010.
- SILVA, M. L. DE S.; TREVIZAM, A. R. **Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas**. Lavras –MG, informações agronômicas nº 149, 2015. 7p.
- SORATTO, R. P., CRUSCIOL, C. A. C. 2008. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** p. 715-725, 2008.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- SOUZA, D.M.G., RITCHEY, K.D. 1986. **Uso do gesso no solo de cerrado**. In: **Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura...** Brasília, Brasil. p.119-144.

TOMA, M.; SUMNE, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.891-895, 1999.

VITTI, C. G.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104p.

WHITE, P. J., & BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; FARIAS BARRETO, C.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, 2015.