



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARCELO RIBEIRO DA SILVA

INFLUÊNCIA DO GESSO AGRÍCOLA NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA CV. BRS TRACAJÁ

BOA VISTA – RR

JUNHO – 2018

MARCELO RIBEIRO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO GESSO AGRÍCOLA NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA CV. BRS TRACAJÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, na área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadora: Prof. Dra. Sandra Catia Pereira Uchôa

Coorientador: Prof. Dr. Raphael Henrique da Silva Siqueira

Coorientadora: Prof. Dra. Kedma da Silva Matos

BOA VISTA – RR

JUNHO – 2018

MARCELO RIBEIRO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO GESSO AGRÍCOLA NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA CV. BRS TRACAJÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Federal de Roraima, como
requisito para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia, na área de concentração: Produção Vegetal.

Prof^a. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa

Orientadora - Universidade Federal de Roraima
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Prof^a. Dra. Kedma da Silva Matos

Coorientadora - Universidade Federal de Roraima
Departamento de Fitotecnia

Prof. Dr. Ozimar de Lima Coutinho

Universidade Federal de Roraima
Departamento de Fitotecnia

Profa. Dra. Kelly Tagianne S. Souza

Universidade Federal de Roraima
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Dedico este trabalho aos meus familiares pelo apoio e aos amigos por sempre estarem por perto, que de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização desta dissertação.

*A ferrovia que leva ao sucesso é
construída em cima de um solo de
humildade com pesados trilhos
chamados erros que somente são
fixados numa linha reta com
maciços pregos de perseverança.*

Eduardo Siqueira Filho

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por tudo, principalmente pela força, perseverança e objetivo o qual me concedeu.

A Universidade Federal de Roraima – UFRR, a Fundação CAPES e a EMBRAPA RORAIMA pela infraestrutura e fomento.

A minha família, em especial minha avó Maria das Dores Ribeiro, que sempre acreditou no meu esforço e potencial para alcançar o término da dissertação em Agronomia.

Aos meus orientadores Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa, Dr. Raphael Henrique da Silva Siqueira, Dra. Kedma da Silva Matos e Dr. José Maria Arcanjo Alves, por quem expresse admiração, respeito e carinho. Agradeço pela paciência, partilha de conhecimento e ensinamentos para a vida.

Aos amigos da POSAGRO, Williams Matos, Elias Ariel, Morieli Ladislau, Leonardo, Miguel Enrique, Luiz Sánchez e Astrid López pelas agradáveis lembranças que serão eternamente guardadas no coração. Aos amigos da graduação, Matheus Paulichi, Helder Santos e Luiz Guilherme.

Ao nosso querido auxiliar administrativo do POSAGRO Ismael Costa, que sempre nos ajudou solucionando quaisquer problemas, facilitando o intermédio do discente com todo o corpo docente da pós-graduação.

A minha companheira Josefa Silvanira, pelo apoio na montagem do experimento e as avaliações, e por estar presente em cada etapa na concretização desse sonho.

Muito obrigado a todos!!!

SILVA, Marcelo Ribeiro. **Influência do gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá**. Dissertação apresentada ao curso de mestrado em Agronomia/Produção vegetal, área de concentração: manejo de culturas. Universidade Federal de Roraima-UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

RESUMO

A aplicação de gesso agrícola em superfície pode aumentar a saturação por bases na subsuperfície e reduzir o efeito tóxico do Al^{3+} e diminuir a sua influência no crescimento das raízes nas camadas do solo, possibilitando melhorias nos componentes vegetativos da soja e elevando a produtividade. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a influência de doses de gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá em casa de vegetação. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo três repetições coletadas aos 45 dias após o plantio (DAP) para as variáveis dos componentes vegetativos da parte aérea e componentes da matéria seca, sendo as demais aos 110 DAP para as variáveis dos componentes de produtividade. Os tratamentos consistiram das doses de gesso agrícola: 0, 3, 6, 9, 12 Mg ha⁻¹ aleatorizados na parcela. Para as variáveis dos componentes da raiz, seguiu-se o esquema de parcelas subdivididas no mesmo modelo experimental da parte aérea e tratamentos, sendo que as comparações das doses de gesso se deram dentro das camadas 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, com três repetições. A unidade experimental consistiu de um vaso de PVC de 150 mm de diâmetro e 600 mm de altura com uma planta. Houve influência do gesso agrícola nos componentes vegetativos da parte aérea da soja, no número de folhas, diâmetro do caule, clorofila a e clorofila total, com exceção da altura da parte aérea, clorofila b, condutância estomática de CO₂ e temperatura foliar. As doses crescentes de gesso agrícola influenciaram positivamente os componentes da matéria fresca e seca da parte aérea e raiz. Os componentes da raiz apresentaram resposta positiva em função das doses crescentes de gesso nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, exceto na camada de 0,40-0,60 m. Para os componentes da raiz em função das camadas também ocorreu resposta positiva dentro das doses de gesso, exceto o comprimento radicular na camada de 0,40-0,60 m nas doses 6 a 12 Mg ha⁻¹. Os componentes de produtividade apresentaram a máxima eficiência técnica na dose de gesso agrícola 6 Mg ha⁻¹, com exceção da massa de 100 grãos na dose 12 Mg ha⁻¹.

Palavras-Chave – Correção do solo. Fertilidade do solo. *Glycine max*. Sistema radicular. Rendimento de grãos.

SILVA, Marcelo Ribeiro. **Influence gypsum in the development of soybean cv. BRS Tracajá.** Dissertation submitted to the master's degree in Agronomy/Crop production, area of concentration: crop management. Federal University of Roraima- UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

ABSTRACT

The application of surface agricultural gypsum can increase the base saturation in the subsoil and reduce the effect toxic effect of Al^{3+} and decrease its influence on root growth in the soil layers, allowing improvements in the vegetative components of soybean yield. In this context, the objective was to evaluate the influence of doses of gypsum in the development of soybean cv. BRS Tracajá in a greenhouse. The experimental design was completely randomized, with six replicates, three replicates collected at 45 days after planting (DAP) for the vegetative components of the aerial part and components of the dry matter, being the other 110 DAP for the variables productivity components. Treatments consisted of agricultural gypsum doses: 0, 3, 6, 9, 12 $Mg\ ha^{-1}$ were randomized in plot. For the variables of the root components, the plot of subdivided plots in the same experimental model of aerial part and treatments were followed, and the comparisons of the doses of gypsum were given within layers 0-0,20; 0,20-0,40 and 0,40-0,60 m, with three replicates. The experimental unit consisted of a PVC vessel 150 mm in diameter and 600 mm high with a plant. There was influence of the gypsum in the vegetative components of the aerial part of the soybean, in the number of leaves, stem diameter, chlorophyll a and total chlorophyll, except for shoot height, chlorophyll b, stomatal CO_2 conductance and foliar temperature. Increasing doses of gypsum influenced positively the components of the fresh and dry matter of the shoot and root. The root components presented a positive response as a function of the increasing doses of gypsum in the layers 0-0.20 and 0.20-0.40 m, except in the layer of 0.40-0.60 m. For the root components as a function of the layers, a positive response was also observed within the gypsum doses, except the root length in the layer of 0.40-0.60 m at doses 6 to 12 $Mg\ ha^{-1}$. The productivity components presented the maximum technical efficiency in the dose of agricultural gypsum 6 $Mg\ ha^{-1}$, with the exception of the mass of 100 grains in the dose 12 $Mg\ ha^{-1}$.

Key words - Correction of soil. Soil fertility. *Glycine max.* Root system. Grain yield.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 Gesso agrícola.....	13
3.2 Efeito do gesso agrícola no solo	14
3.3 Efeito combinado do calcário e gesso agrícola.....	15
3.4 Recomendação de gesso agrícola	16
3.5 Enxofre (S).....	17
3.6 Efeito do gesso agrícola no avanço da soja	17
3.7 Avaliação do sistema radicular da soja.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Delineamento experimental	21
4.2 Montagem dos vasos.....	23
4.3 Substrato	23
4.4 Condução do experimento	23
4.5 Análise estatística	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Componentes vegetativos	30
5.1.1 Número de folhas.....	31
5.1.2 Diâmetro do caule e altura da parte aérea.....	32
5.1.3 Clorofila a e total	33
5.2 Componentes da matéria seca.....	34
5.2.1 Massa fresca e seca da parte aérea.....	34
5.2.2 Massa seca da raiz.....	35
5.3 Componentes da raiz em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas	36
5.3.1 Volume radicular em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas.....	36
5.3.2 Área superficial em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas.....	38
5.3.3 Comprimento radicular em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas	39
5.4 Componentes da raiz em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola.....	40
5.4.1 Volume radicular em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola	41

5.4.2 Área Superficial em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola	42
5.4.3 Comprimento radicular em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola .	44
5.5 Componentes de Produtividade	45
5.5.1 Número total de vagens	46
5.5.2 Número total de grãos, massa de grãos secos, massa de 100 grãos e produtividade...	47
6. CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a mais importante leguminosa produzida atualmente, apresentando grande interesse econômico mundial, em razão da ampla utilização de seus grãos, e excelente adaptação em diversas regiões (BIANCO *et al.*, 2012; BORNHOFEN *et al.*, 2015). A soja tem sido cultivada desde as regiões mais frias dos Estados Unidos, Canadá e Japão, até as mais quentes da Indonésia, África e Brasil (SILVA *et al.*, 2010).

A grande demanda no mercado internacional proporcionou rápida expansão dessa cultura no Brasil, principalmente pela conquista de novas fronteiras agrícolas (REZENDE; CARVALHO, 2007). A soja ocupa posição de destaque no agronegócio brasileiro, devido às extensas áreas cultivadas e crescente produtividade (GAZOLLA-NETO *et al.*, 2015; MARIN *et al.*, 2015).

O rendimento das culturas em solos tropicais é afetado pela acidez e toxicidade por Al^{3+} , além de baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (VERONESE *et al.*, 2012). O Al^{3+} no solo prejudica o crescimento radicular das espécies vegetais, reduzindo a exploração do solo (RAMPIM *et al.*, 2011) e prejudicando o desenvolvimento das culturas

O calcário é o corretivo de acidez mais utilizado na agricultura, contudo é um produto de baixa solubilidade em água, e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e da umidade do solo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015). Em contrapartida, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) aplicado ao solo é fonte de cálcio e enxofre às plantas e, também, reduz o efeito tóxico do Al^{3+} em profundidade (SERAFIM *et al.*, 2012). Essas particularidades, associadas à elevada solubilidade e mobilidade do sulfato (SO_4^{2-}) permitem que o gesso, seja solubilizado pela água das chuvas e, ou irrigação, sendo redistribuído ao longo do perfil do solo (FARIA; COSTA; FARIA, 2003), potencializando a correção do alumínio e aumento dos teores de cálcio e enxofre nas camadas subsuperficiais.

O efeito do gesso na melhoria da fertilidade do solo em subsuperfície foi avaliado por Zandoná *et al.* (2015), que contataram melhor desenvolvimento radicular e maior tolerância da soja ao déficit hídrico. Ainda, segundo Nolla *et al.* (2007), o crescimento de raízes de soja é limitado em condições mais ácidas (pH 4,0).

Dessa forma, sistemas radiculares bem desenvolvidos são necessários para a produtividade das plantas cultivadas sem irrigação, nessa condição pode ocorrer restrição na absorção de água e nutrientes se as raízes não atingirem as camadas mais profundas do solo (RAIJ, 2011). Além disso, há carência de estudos com a utilização de gesso agrícola

associado à produtividade de soja, em Roraima, onde, constantemente, ocorre déficit hídrico, a exemplo da safra 2015, em que a produtividade da soja foi reduzida pelo déficit hídrico causado pelo fenômeno climático La Niña.

Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que o gesso agrícola aumenta disponibilidade de nutrientes e a absorção de água, reduz o efeito do Al^{3+} no solo em subsuperfície, promovendo maior expansão do sistema radicular da soja e, conseqüentemente melhorias nos componentes vegetativos da parte aérea elevando a produtividade da soja c.v BRS Tracajá.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de doses de gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá em casa de vegetação.

2.2 Objetivos específicos

Analisar a influência das doses de gesso agrícola nos componentes vegetativos da parte aérea da soja cv. BRS Tracajá;

Verificar a influência das doses de gesso agrícola nos componentes da matéria seca da soja cv. BRS Tracajá;

Avaliar a influência das doses de gesso agrícola nos componentes da raiz da soja cv. BRS Tracajá em diferentes camadas do solo;

Determinar a dose de gesso agrícola para máxima eficiência técnica nos componentes de produtividade da soja cv. BRS Tracajá.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gesso agrícola

O gesso ou sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um sal neutro que pode ser obtido em jazidas de gipsita presentes no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2012). É, também, subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, originado do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada para produção de ácido fosfórico utilizado na fabricação de superfosfato triplo (STP), fosfato monoamônico (MAP) e fosfato diamônico (DAP). O gesso agrícola contém principalmente Ca (Cálcio), S (enxofre), e pequenas concentrações de P (fósforo) e F (flúor) (CAIRES *et al.*, 2011).

No Cerrado e na Amazônia, os solos em sua maioria são ácidos, causando limitações de uso na camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, nas quais a toxidez do Al^{3+} e a baixa disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} são os principais fatores que limitam a as produções, por restringir o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (VILELA *et al.*, 2010).

A aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) promove a melhoria da fertilidade do solo por aumentar a saturação por bases, também, na subsuperfície e reduzir o efeito tóxico do Al^{3+} (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). O gesso reage com o Al^{3+} modificando a forma iônica para a forma AlSO_4^+ , menos tóxica (ZAMBROSI *et al.*, 2007), além de elevar os teores de Ca^{2+} e SO_4^{-2} em subsuperfície (NEIS *et al.*, 2010), sem a necessidade de incorporação ao solo (VITTI *et al.*, 2008).

Entre os efeitos indiretos do gesso agrícola destaca-se o aumento na disponibilidade de água para as culturas, reduzindo os efeitos prejudiciais gerados por veranicos (SOBRAL *et al.*, 2009). O gesso promove a flocculação das partículas do solo, melhorando a agregação (FAVARETTO *et al.*, 2006) e conseqüentemente a infiltração da água. Quando aplicado na superfície do solo, aumenta a concentração de eletrólitos da água pluvial que infiltra no solo (SERAFIM *et al.*, 2012). Assim, com o aumento da infiltração ocorre redução no escoamento superficial, por diminuir a impermeabilização da superfície e a formação crostas (FAVARETTO *et al.*, 2006).

Nogueira *et al.* (2016), avaliando o efeito residual da aplicação de gesso agrícola nos atributos físicos e matéria orgânica no perfil do solo no sistema de manejo convencional, observaram maior valor de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e matéria orgânica na camada de 0,10-0,20 m.

Por outro lado, o uso do gesso agrícola aplicado em alta dosagem, promove segundo Ramos *et al.* (2013), redução da concentração de K^+ na solução do solo em profundidade. Outras pesquisas relataram lixiviação intensa de Mg^{2+} e K^+ ao longo do perfil do solo, ocasionada pela aplicação de elevadas doses de gesso (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; SERAFIM *et al.*, 2012).

3.2 Efeito do gesso agrícola no solo

Após a dissolução do gesso no solo, o íon Ca^{2+} proveniente do gesso pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando Al^{3+} , K^+ e Mg^{2+} para a solução do solo, que podem reagir com o SO_4^{2-} formando $AlSO_4^+$ e os pares iônicos neutros: sulfato de potássio ($K_2SO_4^0$), sulfato de magnésio ($MgSO_4^0$) e sulfato de cálcio ($CaSO_4^0$), que apresentam grande mobilidade no perfil do solo (RAMPIM *et al.*, 2011). O íon SO_4^{2-} é mais solúvel do que o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), permitindo que o efeito da reação seja realizado em menor tempo no solo (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Segundo Sousa *et al.* (2007), a neutralização do alumínio trocável pela adição de gesso pode ocorrer a partir das seguintes reações: a) precipitação na forma de $Al(OH)_3$ pela liberação de OH^- para a solução, em decorrência da adsorção do sulfato; b) formação do par iônico $AlSO_4^+$, que é menos tóxico às plantas; c) formação do par iônico AlF_2^+ decorrente da presença de F^- no gesso agrícola; d) precipitação de minerais de alumínio, como alunita e basaluminita, por exemplo, decorrente do aumento da concentração de sulfato na solução; e) aumento da força iônica na solução do solo, em profundidade, causando diminuição da atividade química do Al^{3+} .

A lixiviação de Mg^{2+} tem sido constatada em alguns estudos devido a aplicação de doses elevadas de gesso ao solo, assim, é necessário conciliar sua utilização com a aplicação de calcário dolomítico para equilibrar as perdas de magnésio trocável (CAIRES *et al.*, 2004), evitando problemas com relação a nutrição das plantas cultivadas após a gessagem. Serafim *et al.* (2012) avaliaram a influência de doses de gesso (0, 3, 6, 9, 12 e 15 $Mg\ ha^{-1}$) na movimentação de íons em Latossolo gibbsítico e observaram o aumento da lixiviação de Mg^{2+} na camada 0-0,2 m e acúmulo na camada 0,7-0,9 m com aumento das doses de gesso.

Além da lixiviação de Mg^{2+} pelo uso de gesso, Rampim *et al.* (2011) verificaram lixiviação de K^+ nas camadas de 0-0,10 m aos 12 meses e de 0,10-0,20 m aos seis meses, contudo, não observaram acúmulo do K^+ lixiviado na camada de 0,20-0,40 m, o qual pode ter sido arrastado além de 0,40 m no perfil do solo. Ramos *et al.* (2013) avaliaram o efeito de

elevadas doses de gesso (0, 7 e 56 Mg ha⁻¹) nos teores de K⁺ em Latossolo Vermelho distrófico e verificaram que o gesso agrícola foi eficiente na melhoria do ambiente radicular, mas reduziu a concentração de K⁺ gradativamente em profundidade (a partir de 0,85 m).

A ação do gesso ocorre em maior profundidade, pois sua mobilidade no perfil do solo é maior (CAIRES *et al.*, 2008), em comparação com a do calcário. Contudo, o gesso pouco afeta o pH do solo, mas pode compensar a ação limitada do calcário na superfície, não tendo efeito rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, que dependem da lixiviação de carbonatos através do perfil do solo (CAIRES *et al.*, 2003).

3.3 Efeito combinado do calcário e gesso agrícola

A calagem é uma prática edáfica que tem por objetivo elevar o pH do solo, neutralizar o Al³⁺ tóxico e adicionar Ca²⁺ e Mg²⁺, possibilitando melhores condições ao desenvolvimento do sistema radicular para absorção de água e nutrientes pelas plantas.

O calcário é o corretivo de acidez mais empregado no sistema agrícola, sendo um produto encontrado de forma natural com abundância e boa distribuição geográfica, apresentando baixa solubilidade em água, e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e da umidade do solo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

De acordo com Caires *et al.* (2006), a correção da acidez do solo no sistema de plantio direto ocorre com aplicação de calcário na superfície sem incorporação, ocasionando limitação na eficiência da correção da acidez em camadas subsuperficiais devido a baixa mobilidade. Contudo, no sistema convencional de cultivo o calcário é incorporado ao solo com aração e gradagem, que tem por finalidade o aprofundamento do corretivo no perfil solo (LIMA *et al.*, 2009). Pauletti *et al.* (2014) consideram a disponibilidade do Ca²⁺ em profundidade importante para atender as necessidades das raízes profundas.

Devido a limitação do calcário às camadas superficiais, a aplicação de gesso agrícola em superfície é uma das alternativas para melhoria da fertilidade do solo em profundidade e do ambiente para o crescimento das raízes de plantas (NEIS *et al.*, 2010).

De acordo com Rosa Junior *et al.* (2006), nas condições edafoclimáticas dos cerrados a calagem e a gessagem são práticas comuns, onde a calagem afeta o condicionamento físico do solo e pode causar a dispersão química dos agregados. Entretanto, o uso do gesso agrícola promove a floculação das partículas do solo que refletem em melhoria na sua agregação, apresentando potencial por aumentar a infiltração e reduzir o escoamento superficial, diminuindo a impermeabilização (FAVARETTO *et al.*, 2006).

Pauletti *et al.* (2014), avaliando em longo prazo a aplicação conjunta de gesso e calcário nos atributos químicos do solo, observaram que a dose de 12 Mg ha⁻¹ de gesso ocasionou os menores teores de Mg²⁺, principalmente até 60 cm de profundidade, mostrando o forte efeito do gesso sobre a lixiviação desse nutriente no perfil do solo.

Rampim *et al.* (2011) descrevem sobre a técnica da ação conjunta entre a gessagem e calagem no agrossistema, observando que ação individual do gesso pode ocasionar a lixiviação de Mg²⁺. Zandoná *et al.* (2015), avaliando doses de gesso (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8 Mg ha⁻¹), sem e com aplicação de calcário (2 Mg ha⁻¹), verificaram que o gesso aumenta os teores de Ca²⁺, redistribui o Mg²⁺ para as camadas de 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m e diminui os teores de Al³⁺ na camada de 0,20-0,40 m.

3.4 Recomendação de gesso agrícola

A necessidade de aplicação de gesso é determinada pela análise de solo nas profundidades de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m para as culturas anuais, e de 0,60-0,80 m para culturas perenes, em função do método de recomendação (VITTI; PRIORI, 2009).

Os principais critérios de recomendação de aplicação de gesso são baseados na textura do solo (% de argila) (ZAMBROSI *et al.*, 2007) ou na saturação por bases (V%) e CTC das camadas subsuperficiais (VITTI *et al.*, 2008) em função do teor de argila das amostras de solo, conforme a fórmula:

$$NG = 50 \times \text{Argila (\%)} \text{ ou } NG = 5,0 \times \text{Argila (g.kg}^{-1}\text{)} \text{ (VITTI } et al., 2008)$$

Sendo, a necessidade de gesso em função da saturação por bases (V%) e da CTC, conforme a seguinte equação (VITTI *et al.*, 2008):

$$NG = \frac{(V_2 \times V_1) T}{500}$$

NG= necessidade de gesso (Mg ha⁻¹);

V₂= saturação por bases esperada (50%);

V₁= saturação por base atual do solo na camada de 0,20-0,40 m ou 0,25-0,50 m (%);

T= capacidade de troca catiônica na camada de 0,20-0,40 m ou 0,25-0,50 m (mmol_c dm⁻³).

3.5 Enxofre (S)

No Brasil, a deficiência de S pode ser observada especialmente em solos do cerrado, devido à baixa fertilidade do solo, associada ao baixo teor de matéria orgânica (MO), e a lixiviação do sulfato (RHEINHEIMER *et al.*, 2005; VITTI *et al.*, 2007). Em compensação, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) quando aplicado é uma importante fonte de S (BROCH *et al.*, 2011), apresentando alta mobilidade no perfil do solo, capaz de disponibilizar sulfato (SO_4^{-2}) em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as camadas subsuperficiais (CAIRES *et al.*, 2008).

Uma vez na solução do solo, o íon SO_4^{-2} facilita a formação de sulfatos percoláveis como MgSO_4^0 , CaSO_4^0 , K_2SO_4^0 , que pode alterar em razão de incrementos na adição de gesso agrícola (RAMOS *et al.*, 2013). O carregamento desses íons no perfil do solo pode ser benéfico, por estimular maior crescimento radicular, o que propicia maior absorção de nutrientes em profundidade (SERAFIM *et al.*, 2012).

Basso *et al.* (2015) avaliando a utilização de gesso agrícola em diversas doses (0, 2, 4 e 6 Mg ha^{-1}), em área sob sistema de plantio direto. Verificaram um incremento nos teores de S- SO_4^2 para as profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, correspondendo respectivamente 5,68 e 8,68% para cada Mg ha^{-1} de gesso aplicado, chegando aos 34 e 52% de incremento para a dose de 6 Mg ha^{-1} de gesso.

De acordo com Rezende *et al.* (2009), para a cultura da soja são exigidos aproximadamente 10 kg de enxofre para cada 1.000 kg de grãos produzidos. Segundo a EMBRAPA (2008), a recomendação para a cultura da soja é de 5 kg para cada 1.000 kg de grãos produzidos, resultando em exportação total de cerca de 170 mil toneladas de S por safra.

3.6 Efeito do gesso agrícola no avanço da soja

A soja é a *commodity* de maior importância no cenário agrícola brasileiro, contribuindo significativamente para o superávit da balança comercial. Segundo o USDA (2014) foi importado do Brasil cerca de 112,7 milhões de toneladas na safra 2014/15, sendo cerca de 74 milhões de toneladas de soja importados pela China, em seguida a União Europeia aparece com 12,7 milhões, México com 3,9 milhões, Japão com 2,9 milhões, Taiwan com 2,3 milhões e Indonésia com 2,2 milhões de toneladas.

A produtividade da cultura da soja vem crescendo a cada ano, onde na safra 2013/2014 a área semeada foi de 30.173,1 mil hectares, com uma produtividade média de

2.854 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014). Já na safra de 2015/2016 foi estimada uma produtividade em 3.073 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de soja do mundo, perdendo apenas dos Estados Unidos da América, com uma produção atingindo 96,50 milhões de toneladas, em comparação com as 106,86 milhões de toneladas registradas nos EUA, para a safra de 2015/2016 (CONAB 2016).

A soja está presente em todas as regiões brasileiras com produção de grãos em diversas condições de ambientes (BORNHOFEN *et al.*, 2015). Em contrapartida, a acidez do solo é uma característica presente nas camadas subsuperficiais, que prejudica o crescimento do sistema radicular, a absorção de água e nutrientes podem ser comprometidos, principalmente em condições de deficiência hídrica (ZANDONÁ *et al.*, 2015).

Segundo Oliveira *et al.* (2009) a disponibilidade de Al³⁺ e a deficiência de Ca²⁺ estão entre os principais fatores que impedem o crescimento radicular e, conseqüentemente o desenvolvimento das plantas. Na cultura da soja, cerca de 70 a 80% da massa das raízes estão presentes nos primeiros 15 cm do solo, em condições normais de cultivo (ABREU *et al.*, 2004). Quando o solo apresenta impedimento químico a penetração de raízes, a água existente nas camadas abaixo desse impedimento fica inacessível para as plantas, restringindo a capacidade do solo em suprir água, pela diminuição do volume explorado pelas raízes (RAIJ, 2011).

Assim, o gesso agrícola vem sendo amplamente utilizado, pois adiciona Ca²⁺ e SO₄⁻² ao solo, podendo transportar nutrientes as camadas subsuperficiais e reduzir a atividade do alumínio tóxico (CAIRES *et al.*, 2008), promovendo condições ideais ao aprofundamento do ambiente radicular da cultura da soja e, favorecendo um maior aproveitamento da água em subsuperfície. Oliveira *et al.* (2009), destacam a importância do enraizamento profundo como forma de minimizar os efeitos dos frequentes veranicos sobre a produção, no qual observa-se no cenário brasileiro mudanças climáticas apresentadas por irregularidade no período chuvoso com redução do volume pluviométrico esperado.

De acordo com Pauletti *et al.* (2014) em períodos de veranico, a exploração do solo pelo sistema radicular pode estar restrita a camada superficial, devido aos baixos níveis de Ca²⁺ em profundidade, prejudicando a absorção de água e nutrientes. Assim, Hawkesford *et al.* (2012) falam sobre a necessidade de Ca²⁺ em profundidade em razão de estimular o crescimento radicular e promover uma maior divisão celular na planta.

A necessidade de água na cultura da soja durante a fase final de floração e na formação das vagens pode causar abortamento de quase todas as flores restantes e vagens

recém-formadas (SILVA; CANTERI; SILVA, 2013). Para reduzir o risco de estresse hídrico, alguns produtores antecipam a semeadura da soja no período chuvoso com objetivo de alcançar o máximo de aproveitando de água disponível durante as precipitações. O gesso agrícola entra como alternativa viável para promover maior resistência da planta ao estresse hídrico, estimular o crescimento das raízes da soja, que encontram água disponível para enchimento de grãos, evitando redução na produtividade.

Na cultura da soja, existem fatores indicando efeito benéfico do gesso no aumento dos teores de S na planta (GELAIN *et al.*, 2011) devido ao gesso ser excelente fonte de S (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Broch *et al.* (2011), verificando a influência de diferentes fontes de enxofre sobre a produtividade da soja, observaram que a soja responde à aplicação de fontes solúveis de enxofre (gesso agrícola).

3.7 Avaliação do sistema radicular da soja

Atualmente, ainda há poucos estudos sobre o sistema radicular devido às dificuldades metodológicas relacionadas com a amostragem de raízes (MUÑOZ-ROMERO *et al.*, 2010). A variabilidade das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo pode afetar a distribuição do sistema radicular (VASCONCELOS *et al.*, 2003). Contudo, o conhecimento da distribuição do sistema radicular é fundamental para entender os processos relativos à absorção de água e nutrientes (SMITH *et al.*, 2005).

O estudo do sistema radicular pode ser realizado por várias técnicas, sendo divididos em métodos diretos e indiretos (BÖHM, 1979), abrangendo avaliações simples até as mais avançadas, comumente com grande mobilização de solo e significativa amostragem de material vegetal (ENCIDE-OLIBONE *et al.*, 2008).

Entre os métodos diretos, podem ser citados: trincheira, monólito, placa com pregos, trado, sacos telados, rhizotron e minirhizotron (POLOMSKI; KUHN, 2002), além de análises em laboratórios, sob condições controladas como a hidroponia, cultura de tecidos (DE KLERK, 2002) e aeroponia (WAISEL, 2002).

Os métodos de estudos indiretos são baseados na determinação de taxas de mudança de água ou elementos no perfil do solo, inferindo-se a distribuição e a atividade radicular (BÖHM, 1979). Entre alguns métodos indiretos que podem substituir os diretos, estão: elemento marcado ou radioativo (^{14}C , ^{32}P , etc.), isótopos estáveis (^{15}N , ^{41}K , ^{42}Ca , etc.), e corantes (TTC, iodo, corante fluorescente) (POLOMSKI; KUHN, 2002).

Existem alguns programas computacionais que podem ser utilizados para mensuração da geometria radicular para a estimativa do crescimento, seja em vegetais cultivados ou em ecossistemas naturais a partir de uma imagem digital (JORGE; CRESTANA, 1996; CRUVINEL *et al.*, 1996).

Carducci *et al.* (2014) afirmam que as análises visuais vêm indicando excelente desenvolvimento radicular dos cafeeiros, o que é possível com o processamento digital de imagens 2D e 3D, que se destacam como uma das linhas de pesquisa mais promissoras especialmente no que se refere aos efeitos dos sistemas de manejo no ambiente.

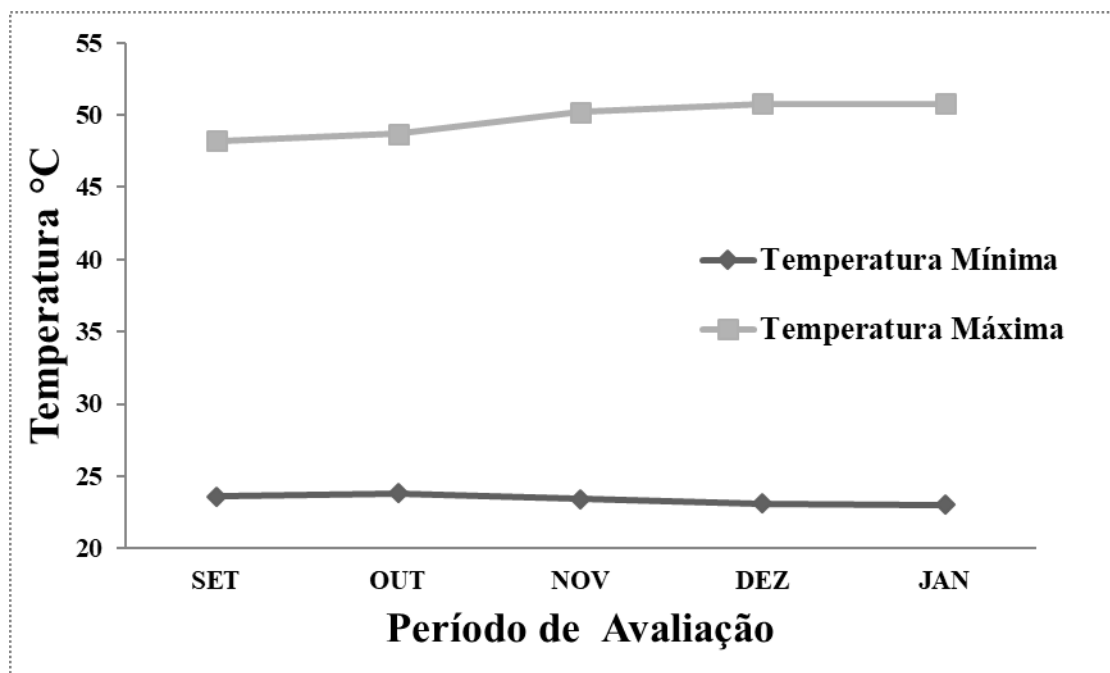
Com a análise de imagens eliminam-se as subjetividades encontradas nos métodos clássicos, além do maior poder de predição, essencial em estudos do sistema radicular e da estrutura do solo o que se deve, além da maior resolução espacial, à praticidade em quantificar grandezas de maior relevância (JORGE; SILVA, 2010; MAIRHOFER *et al.*, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de setembro de 2017 a janeiro de 2018 no Centro de Ciências Agrárias, Campus Cauamé da Universidade Federal de Roraima (UFRR), município de Boa Vista, Roraima, sendo as coordenadas geográficas de referência 2°49'11" N, longitude 60°40'24" W e altitude de 90 m.

O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw, com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa (abril-setembro) e outra seca (outubro-março), precipitação média de 1688,4 mm e temperatura média mínima 20 °C e máxima 38 °C (ARAÚJO *et al.*, 2001). Para as condições do experimento, em casa de vegetação, foi utilizado o equipamento Termo-higrometro Digital (Jprolab) para leitura das temperaturas máximas e mínimas referentes ao período do experimento (Figura 1).

Figura 1 - Temperaturas máximas e mínimas durante a condução experimental dentro da casa de vegetação, em Boa Vista, Roraima, 2018.



4.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo três repetições coletadas aos 45 dias após o plantio (DAP) para as variáveis

dos componentes vegetativos da parte aérea e componentes da matéria seca, sendo as demais aos 110 DAP para as variáveis dos componentes de produtividade.

Os tratamentos consistiram das doses de gesso agrícola: 0, 3, 6, 9, 12 Mg ha⁻¹ foi aleatorizados na parcela. Para as variáveis dos componentes da raiz, seguiu-se o esquema de parcelas subdivididas no mesmo modelo experimental da parte aérea e tratamentos, sendo que as comparações das doses de gesso se deram dentro das camadas 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, com três repetições. A unidade experimental consistiu de um vaso de PVC de 150 mm de diâmetro e 600 mm de altura, sendo subdividido em três camadas, com uma planta de soja, cv. BRS Tracajá de ciclo médio (Figura 2). Para evitar as perdas de solo, a parte inferior de cada vaso foi vedada com tecido TNT.

Figura 2 - Vaso de PVC de 150 mm de diâmetro e 600 mm de altura, com a planta de soja cv. BRS Tracajá, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

Fonte - Silva, M. R. (2018).



4.2 Montagem dos vasos

Foram empregados vasos de PVC seccionados longitudinalmente e as partes unidas com fita crepe. O solo retirado da camada 0,40-0,60 m foi uniformizado na parte inferior do vaso, em seguida, adicionado o solo da camada de 0,20-0,40 m conforme a densidade aparente estimada para ambas camadas. Na sequência foi adicionado o solo correspondente à camada 0-0,20 m e, também, uniformizado conforme densidade aparente.

4.3 Substrato

O solo utilizado foi da classe Latossolo Amarelo distrófico típico (LAdx), localizado nas coordenadas geográficas em UTM, N:0754428; E:0317642 e N:0752763; E:0317180, apresentando textura franco-argilo-arenosa e relevo plano a suave ondulado. As características químicas do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do Latossolo Amarelo distrófico típico (LAdx), em função da profundidade de amostragens, Centro de Ciências Agrárias - UFRR, em Boa Vista, Roraima, 2018.

Prof (m)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	S	P	SB	T	V	MOS
	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----					- mg dm ⁻³ -		cmol _c dm ⁻³		---- % ----		
0-0,20	4,9	0,07	0,03	ND	0,01	0,48	2,49	ND	0,72	0,11	2,60	4	12,28
0,20-0,40	4,7	0,04	0,02	ND	0,01	0,40	2,08	ND	0,31	0,07	2,15	3	4,14
0,40-0,60	4,7	0,07	0,03	ND	0,01	0,36	1,95	ND	0,22	0,11	2,06	5	8,33

* ND = não detectado pelo método; SB = soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺); T = Capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC potencial); V = Saturação por bases; MOS = matéria orgânica do solo.

4.4 Condução do experimento

A dose de calcário dolomítico, 1,5 Mg ha⁻¹ (100% PRNT), foi estimada para elevar a saturação por base a 60% da camada 0-0,20 m. O calcário foi incorporado ao solo da camada 0-0,20 m de todos os vasos, sendo umedecidos a aproximadamente 60% da capacidade de campo e incubados por 30 dias.

O solo foi fertilizado com macro e micronutrientes, conforme Novais (1991) com doses (mg dm^{-3}) de nutrientes: N, 20; P, 150; K, 150; B, 0,5; Cu, 1,5; Mo, 0,1; Zn, 5 e Fe, 5. A fonte utilizada para fertilização dos macronutrientes (N-P-K) foi a granulada (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio) e dos micronutrientes (B, Cu, Mo, Zn e Fe) foram os seguintes reagentes (PA): ácido bórico (H_3BO_3), sulfato de cobre (CuSO_4), molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$), sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e Sulfato de ferro (FeSO_4), respectivamente.

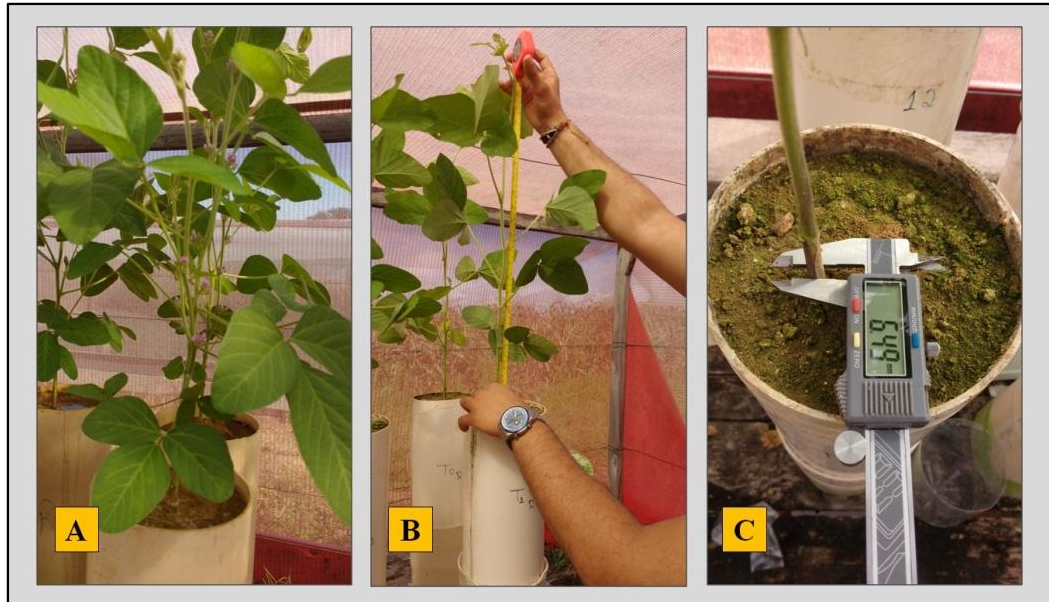
As sementes de soja foram inoculadas com o formulado líquido a base das Cepas SEMIA 5079 e SEMIA 5080 da bactéria fixadora de nitrogênio *Bradyrhizobium japonicum* (Kirchner) Jordan, recomendada para as condições da savana de Roraima. A concentração do inoculante líquido é na ordem de $7,2 \times 10^9$ de *B. japonicum* por ml do produto, sendo utilizada a proporção de 100 ml de inoculante para 50 kg de sementes.

Após a inoculação, foi feita a semeadura colocando-se quatro sementes por vaso. A irrigação em cada vaso foi realizada diariamente, a umidade do solo foi determinada antes e depois de cada irrigação por meio do medidor eletrônico de umidade do solo HidroFarm HFM2010 (Falker®), que utiliza a medição da umidade pelo sistema de impedância do solo em alta frequência, para manutenção da capacidade de campo a 60%.

Aos 45 dias após o plantio (DAP), foram avaliadas as variáveis relacionadas às características morfológicas das plantas, mensurando-se: número de folhas (NF), altura da parte aérea (ALT), medida com uma trena (cm), do nível do solo ao meristema apical da planta, diâmetro do caule (DIA), medido por meio do paquímetro digital (mm) no colo da planta (Figura 3).

Figura 3 - Características morfológicas da soja cv. BRS Tracajá. A - número de folhas; B - altura da parte aérea; C - diâmetro do caule, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

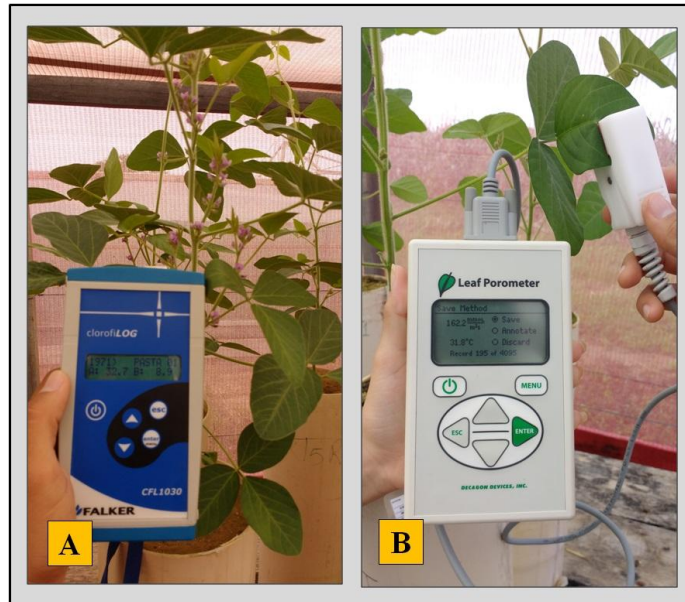
Fonte - SILVA, M. R. (2018).



Para as características fisiológicas das plantas foi utilizado o clorofilômetro (Marca: Falker, Modelo: ClorofiLOG CFL1030) medindo o conteúdo de clorofila a, b e total ($\mu\text{mol m}^{-2}$) operado de acordo com as especificações do fabricante (FALKER, 2008). A condutância estomática de CO_2 ($\text{mmol/m}^2/\text{s}$) e temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$) foi medida utilizando um leitor de condutância estomática portátil Leaf Porometer (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA) (Figura 4).

Figura 4 - Características fisiológicas da soja cv. BRS Tracajá. A - Conteúdo de clorofila a, b e total; B - condutância estomática de CO₂ e temperatura foliar, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

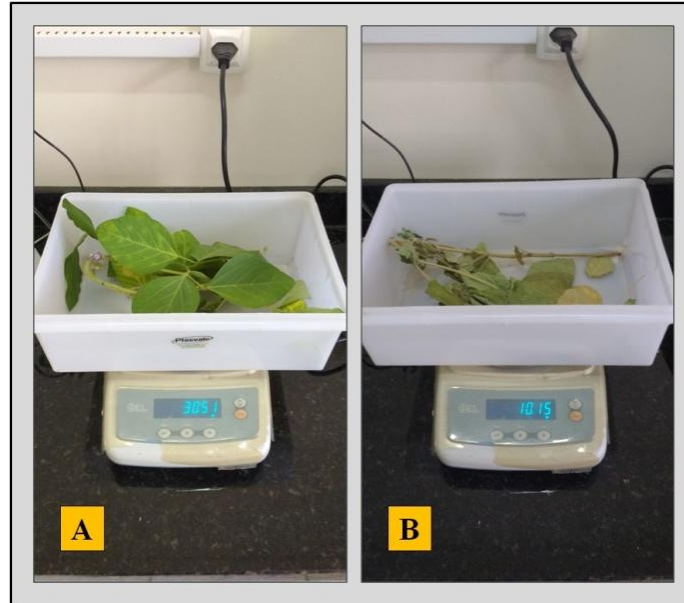
Fonte - SILVA, M. R. (2018).



Aos 45 DAP fez-se a colheita das três plantas representativas de cada tratamento no estágio R2 (95% das plantas em pleno florescimento), as plantas foram colocadas em sacos de papel, encaminhadas ao laboratório de fertilidade do solo que foram pesadas em balança eletrônica de precisão para determinação da massa fresca (g), deixando-se secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 h para determinação de massa seca (g) (Figura 5).

Figura 5 - Determinação da matéria seca da soja cv. BRS Tracajá. A - massa fresca da soja; B - massa seca da soja, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

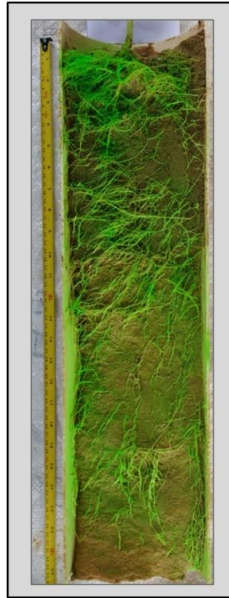
Fonte - SILVA, M. R. (2018).



Aos 45 dias DAP, os vasos foram cortados no sentido longitudinal às raízes, empregando o método do perfil cultural (BRASIL *et al.*, 2007), que receberam uma fina camada de tinta (cor variável com a superfície), posteriormente, foi realizada a aquisição das imagens digitais das raízes (Figura 6).

Figura 6 - Sistema radicular da soja cv. BRS Tracajá empregando o método do perfil cultural aos 45 DAP, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

Fonte - SILVA, M. R. (2018).



A aquisição das imagens digitais foi efetuada com máquina digital semiprofissional com resolução espacial de 32 megapixels. Após a aquisição as imagens foram corrigidas e alinhadas com o uso do software Adobe Photoshop CS5 12.0.4; em seguida foram submetidas à quantificação das seguintes variáveis radiculares: volume radicular (mm^3), área superficial (mm^2), comprimento radicular (mm), obtidas nas camadas 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, identificados pelo aplicativo Safira (JORGE; SILVA, 2010).

Fez-se a colheita das raízes das plantas representativas de cada tratamento no estádio R2 (95% das plantas em pleno florescimento), as raízes foram lavadas em água corrente e colocadas em sacos de papel, encaminhadas ao laboratório de fertilidade do solo deixando-se secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 h para determinação de massa seca (g) (Figura 7).

Figura 7 - Massa seca da raiz da soja cv. BRS Tracajá aos 45 DAP, em Centro de Ciências Agrárias - UFRR, Boa Vista, Roraima, 2018.

Fonte - SILVA, M. R. (2018).



Aos 110 DAP foi realizada a colheita das plantas representativas de cada tratamento, no estágio R8 (95% das vagens apresentaram-se maduras) para avaliar as variáveis relacionadas com a produção de grãos. As plantas foram colocadas em sacos de papel, deixando-se secar a temperatura ambiente por 10 dias, sob sombra, para manter o teor de água dos grãos a 13%, aproximadamente.

Foram realizadas as seguintes avaliações para as variáveis de produção de grãos: número total de vagens (NTV); número total de grãos (NTG); massa de grãos secos (MGS); massa de 100 grãos (M-100G) e a produtividade (PROD). A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi estimada pela produção total de grãos das três plantas representativas de cada tratamento.

4.5 Análise estatística

Os dados dos componentes vegetativos da parte aérea, matéria seca, raiz e produtividade foram submetidos à análise de variância e de regressão, onde foram selecionados os modelos significativos até 5% de probabilidade pelo teste F e que apresentaram o maior coeficiente de determinação (R^2). Para os dados de raiz, avaliou-se o efeito das doses dentro de cada camada de solo, empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com utilização do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Componentes vegetativos

Conforme o resumo da análise de variância apresentada na Tabela 2 verificou-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) das doses de gesso agrícola para as variáveis altura da parte aérea (ALT), clorofila b (CLR-B), condutância estomática de CO₂ (CE-CO₂) e temperatura foliar (TF), as quais apresentaram médias de 72,37 cm, 7,58 $\mu\text{mol m}^{-2}$, 63,13 mmol/m²/s e 34,23 °C, respectivamente. As demais variáveis foram afetadas significativamente pelas doses de gesso ($p\leq 0,05$), tendo sido ajustado por meio do desdobramento das doses o modelo linear e quadrático, para explicar a relação entre variável dependente e independente.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância das variáveis dos componentes vegetativos da soja cv. BRS Tracajá, cultivada em Latossolo Amarelo distrófico sob efeito das doses de gesso agrícola, em Boa Vista, Roraima, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios							
		NF	ALT	DIA	CLR-A	CLR-B	CLR-T	CE-CO ₂	TF
Doses	4	31,33*	20,06 ^{ns}	0,32*	1,08 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,56*	37,34 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Erro	10	7,02	13,20	0,09	0,45	0,20	0,73	319,91	0,22
Linear	1	16,13 ^{ns}	10,21 ^{ns}	0,36 ^{ns}	2,41*	0,68 ^{ns}	5,63*	6,63 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Quadrática	1	94,50**	41,01 ^{ns}	0,72*	1,80 ^{ns}	0,57 ^{ns}	4,40*	114,35 ^{ns}	0,67 ^{ns}
C.V. (%)	-	10,39	5,02	5,39	2,20	5,97	2,24	28,33	1,37

^{ns}, **, * - Não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

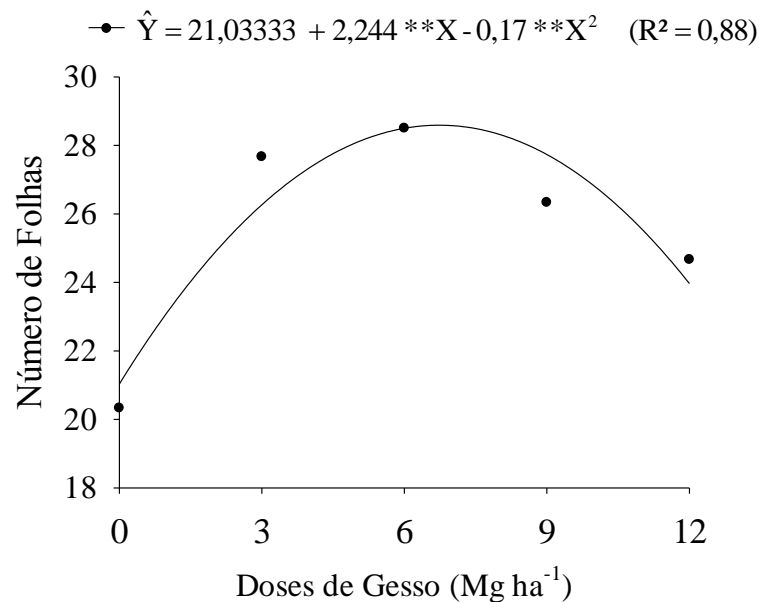
NF - número de folhas; ALT - altura da parte aérea, DIA - diâmetro do caule, CLR-A - clorofila a; CLR-B - clorofila b; CLR-T - clorofila total; CE-CO₂ - condutância estomática de CO₂; TF - temperatura foliar.

5.1.1 Número de folhas

O número de folhas em função das doses de gesso agrícola foi melhor descrita por modelo quadrático positivo (Figura 8). Observou-se que o maior número de folhas estimado, 28,59, foi obtido na dose de 6,73 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola.

Figura 8 - Número de folhas da soja cv. BRS Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

** - Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



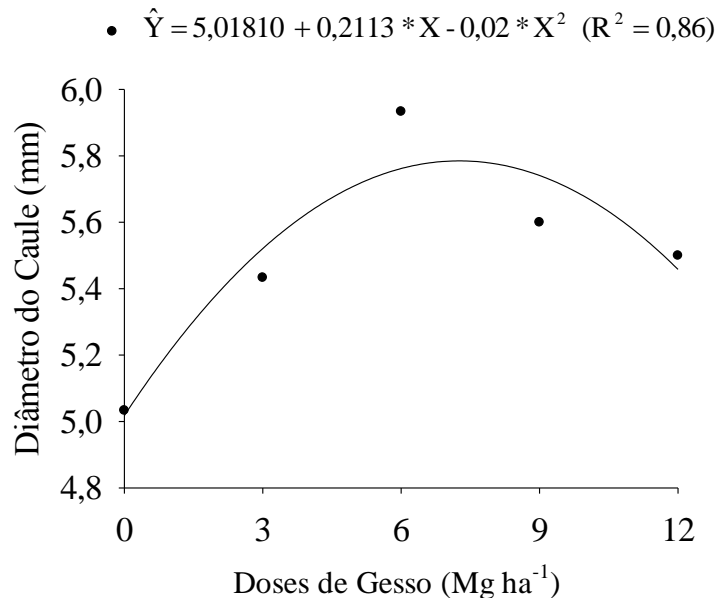
A influência das doses de gesso agrícola sobre o número de folhas da soja foi observado por Zapparoli *et al.* (2013), onde constataram um aumento no número de folhas com as doses de gesso agrícola (0, 2, 4, 6, 8 e 10 Mg ha⁻¹). Nesse sentido, é importante destacar que o número de folhas indica maior capacidade de interceptação de luz promovendo uma maior atividade foliar. Dessa forma, o rendimento máximo da soja é determinado pela otimização da capacidade da planta na interceptação da radiação solar e ou acúmulo de matéria seca durante o estágio vegetativo e o reprodutivo (HEIFFIG *et al.*, 2006).

5.1.2 Diâmetro do caule e altura da parte aérea

O diâmetro do caule em função das doses de gesso agrícola foi melhor descrito por modelo quadrático positivo (Figura 9). Observou-se que a dose de máxima eficiência técnica de 7,24 Mg ha⁻¹ gesso agrícola determinou o maior diâmetro do caule estimado, 5,78 mm.

Figura 9 - Diâmetro do caule da soja cv. BRS Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



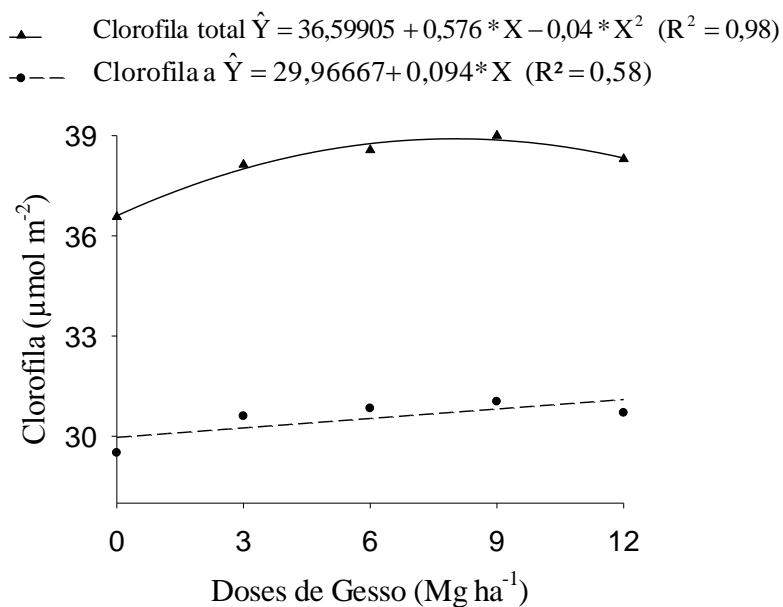
O diâmetro do caule está relacionado com a arquitetura da parte aérea, dando sustentação ao caule e aumentando a resistência da planta ao tombamento. Zapparoli *et al.* (2013), observaram a influência das doses de gesso sobre diâmetro do caule. O resultado dessa pesquisa indica a relação do diâmetro do caule com a arquitetura da parte aérea, sugerindo que o gesso pode auxiliar o K⁺ na resistência das plantas ao tombamento. De acordo com Souza *et al.* (2010), plantas com porte alto poderão sofrer com o processo de acamamento e dificultar a colheita.

5.1.3 Clorofila a e total

Na Figura 10, a clorofila a foi influenciada pelas doses de gesso agrícola, apresentando acréscimo linear com aumento das doses de gesso, de 29,97 para 31,10 $\mu\text{mol m}^{-2}$, respectivamente nas doses 0 e 12 Mg ha^{-1} . Observou-se que a dose de 8,00 Mg ha^{-1} de gesso agrícola determinou o máximo de clorofila total estimado, 38,90 $\mu\text{mol m}^{-2}$.

Figura 10 - Clorofila a e total da soja cv. BRS Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



Resultados similares foram encontrados por Soares *et al.* (2018), avaliando o efeito de doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 Mg ha^{-1}) no desenvolvimento da cultivar de soja Anta 82 RR, constataram efeito linear positivo com o máximo de clorofila total estimado de 41,94 $\mu\text{mol m}^{-2}$ na dose de gesso agrícola 8,00 Mg ha^{-1} . Nogueira *et al.* (2010) constataram que o aumento do índice de clorofila proporcionou elevação na taxa fotossintética, o que resultou em maior acúmulo de massa seca da cultivar de soja BRS/MG 750SRR. Vale ressaltar, que os pigmentos envolvidos na fotossíntese são as clorofilas a, b e total, onde o teor individual de clorofila a extraível da folha contribuiu significativamente na clorofila total.

Partindo-se desse pressuposto, Streit *et al.* (2005) afirmam que as clorofilas são pigmentos instáveis devido aos fatores ambientais, como o estresse hídrico, pH, luminosidade

reduzida, alterações enzimáticas, aumento do etileno e temperatura, nesse sentido, a temperatura do ambiente pode ter influenciado na quantidade de pigmentos fotossintéticos da soja cv. Tracajá.

5.2 Componentes da matéria seca

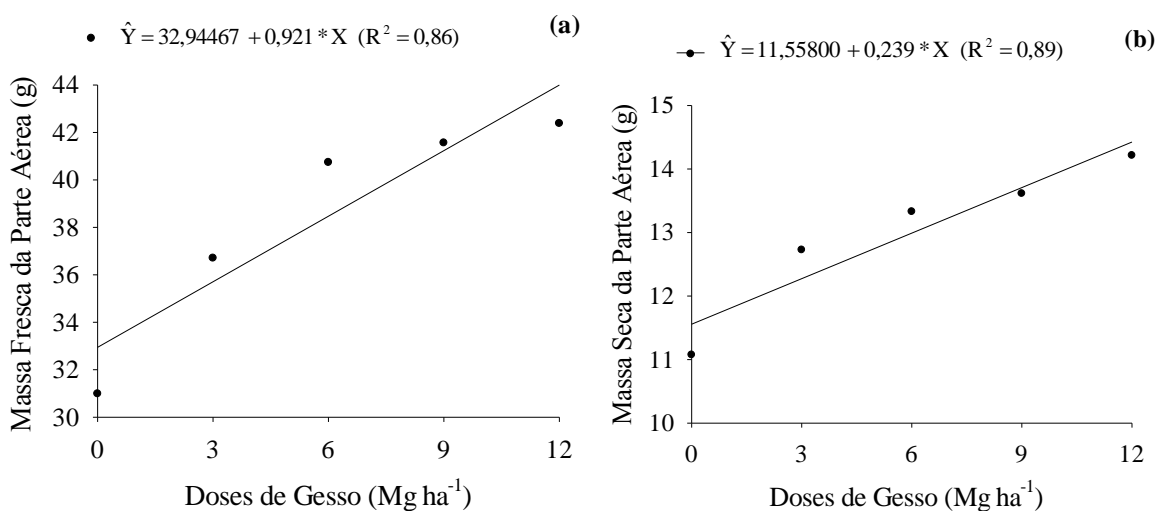
Pela análise de variância verificou-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) das doses de gesso agrícola para as variáveis massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz. No entanto, ajustou-se o modelo linear, cujo parâmetro foi significativo pelo teste t para explicar o efeito das doses de gesso sobre essas variáveis (Figura 11 e 12).

5.2.1 Massa fresca e seca da parte aérea

A massa fresca e seca da parte aérea foi influenciada pelas doses de gesso agrícola, apresentando acréscimo linear com aumento das doses de gesso, de 32,95 para 44,00 g (Figura 11a) e de 11,56 para 14,43 g (Figura 11b), respectivamente nas doses 0 e 12 Mg ha^{-1} .

Figura 11 - Massa fresca da parte aérea (a), massa seca da parte aérea (b) da soja cv. BRS Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



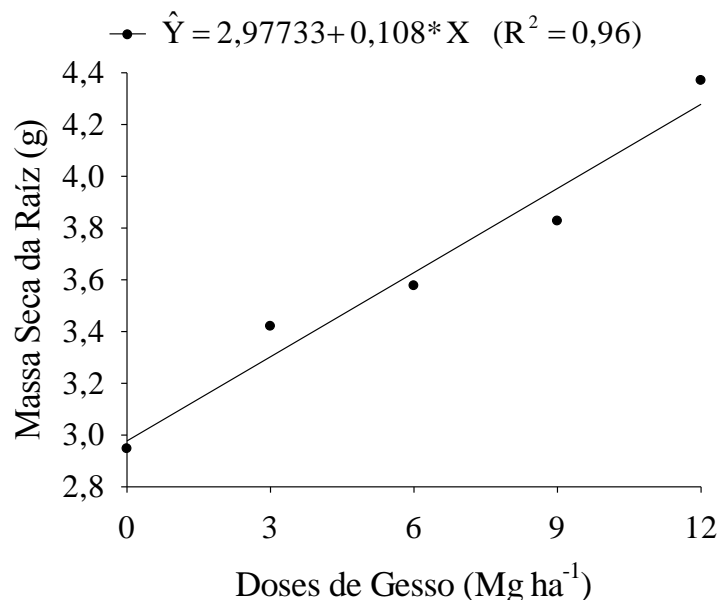
Nesse sentido, o efeito da aplicação de gesso em aumentar a eficácia de absorção de nutrientes (CAIRES *et al.*, 2005), influenciou no aumento da produção de matéria fresca e matéria seca com as doses de gesso (1, 2, 3, 4 Mg ha⁻¹) (CUSTODIO *et al.*, 2005). Além disso, Soratto e Crusciol (2006) observaram que a aplicação de gesso (2,1 Mg ha⁻¹) em superfície elevou os teores de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ no solo e a absorção de S, favorecendo a produção de matéria seca.

5.2.2 Massa seca da raiz

A massa seca da raiz foi influenciada pelas doses de gesso agrícola, apresentando acréscimo linear com aumento das doses de gesso, de 2,98 para 4,28 g (Figura 12) correspondente a 0 e 12 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 12 - Massa seca da raiz da soja cv. BRS Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



Isso pode ser explicado, devido o fornecimento de cálcio promovendo melhor crescimento das raízes em profundidade e aumento da eficiência da absorção de água e nutrientes (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Nesse sentido, os altos níveis de Al³⁺ e a redução de bases trocáveis nas camadas mais profundas do solo são fatores limitantes no

desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, na diminuição do rendimento das culturas (MATTIELLO *et al.*, 2008; NORA *et al.*, 2014).

Além disso, Rosa Junior *et al.*, (2006) observaram que a gessagem (0; 0,5; 1; 2 Mg ha⁻¹) favorece a redução da resistência mecânica do solo à penetração, proporcionando ambiente favorável ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja.

5.3 Componentes da raiz em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas

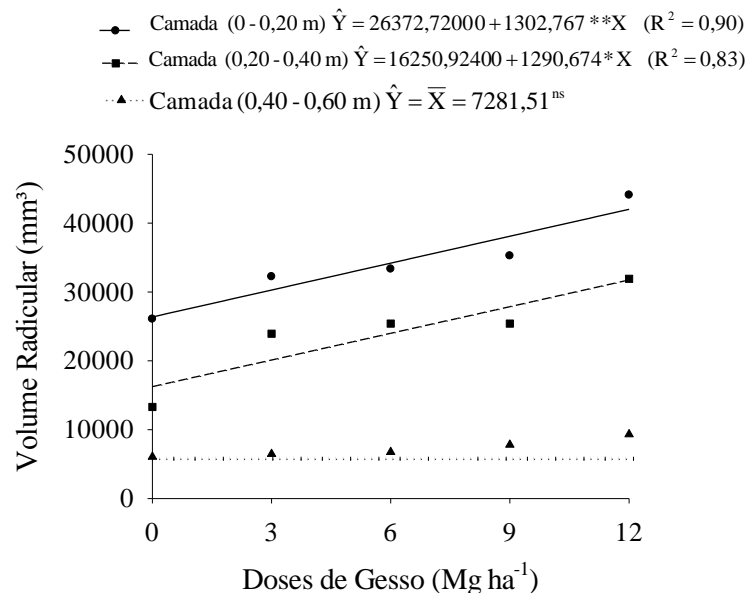
Pela análise de variância verificou-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) das doses de gesso agrícola para as variáveis: volume radicular, área superficial e comprimento radicular dentro das camadas de solo estudadas. No entanto, ajustou-se o modelo linear, cujo parâmetro foi significativo pelo teste t para explicar o efeito das doses de gesso sobre essas variáveis (Figuras 13, 14 e 15).

5.3.1 Volume radicular em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas

Observou-se, para a distribuição espacial do volume radicular (mm³) das plantas de soja acréscimo linear com aumento das doses de gesso agrícola nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m. A camada 0-0,20 m apresentou nas doses 0 e 12 Mg ha⁻¹ de gesso volume radicular de 26.373,00 e 42.006,60 mm³, respectivamente. Já a camada 0,20-0,40 m apresentou nas doses de gesso 0 e 12 Mg ha⁻¹ volume radicular de 16.251,00 e 31.739,40 mm³, respectivamente. Nenhum modelo foi significativo para a camada 0,40-0,60 m, com média 7.281,51 mm³ (Figura 13).

Figura 13 - Volume radicular da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

^{ns}, **, * - Não significativo e significativo a 1 e 5%, de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



Diante desse contexto, observou-se que na camada 0-0,20 m o volume radicular apresentou maior desenvolvimento em comparação com as demais camadas do solo estudadas. Esse fato pode ser explicado devido a incorporação do calcário dolomítico na camada 0-0,20 m, que segundo Bortoluzzi *et al.* (2014), constataram que a incorporação de calcário foi determinante para melhorar a distribuição do sistema radicular da soja cultivar BMX Apolo RR, devido a maior disponibilidade Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade, em relação a aplicação do calcário em superfície. De acordo com Pivetta *et al.* (2011), observaram maior atividade radicular mais próxima da superfície do solo, atribuída às ótimas condições de umidade durante o ciclo da soja cultivar CD 216, associada ao fato de ser esse o local de deposição dos fertilizantes.

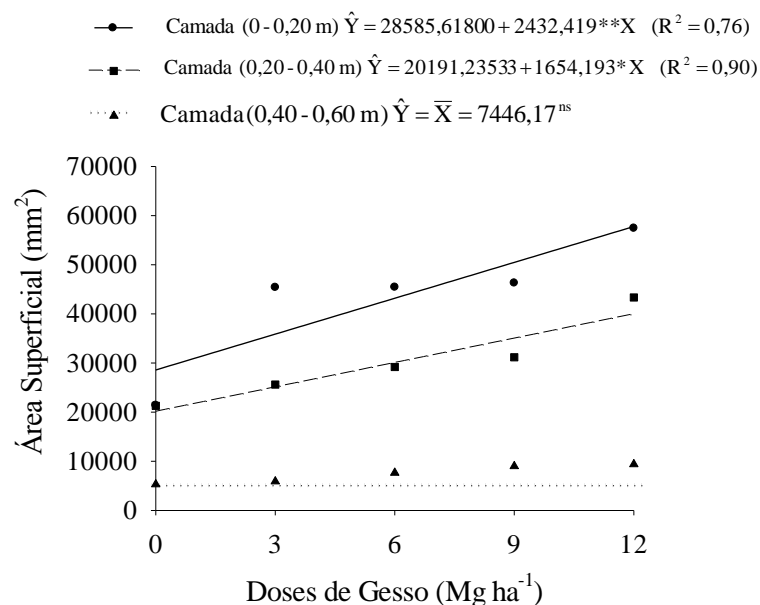
Além disso, podemos destacar a aplicação das doses crescentes de gesso agrícola em superfície que promoveu na camada subsuperficial de 0,20-0,40 m maior desenvolvimento do volume radicular. Segundo Broch *et al.* (2011) o gesso apresenta alta mobilidade no perfil do solo, capaz de disponibilizar sulfato em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as camadas subsuperficiais importantes para o sistema radicular (CAIRES *et al.*, 2008).

5.3.2 Área superficial em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas

A área superficial (mm^2) das plantas de soja apresentou acréscimo linear com aumento das doses de gesso agrícola nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m. A camada 0-0,20 m apresentou nas doses de gesso 0 e 12 Mg ha^{-1} área superficial de 28.586,00 e $57.774,80 \text{ mm}^2$, respectivamente. Já a camada 0,20-0,40 m apresentou nas doses de gesso 0 e 12 Mg ha^{-1} área superficial de 20.191,00 e $40.041,40 \text{ mm}^2$, respectivamente, inferior, em ambas as doses à camada 0-0,20 m. Não foi observada diferença estatística na camada 0,40-0,60 m com média $7.446,17 \text{ mm}^2$ (Figura 14).

Figura 14 - Área superficial da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

^{ns}, **, * - Não significativo e significativo a 1 e 5%, de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



A área superficial radicular das plantas de soja apresentou o mesmo comportamento do volume radicular com aplicação das doses crescentes de gesso agrícola em superfície. O resultado dessa pesquisa indica o efeito da incorporação do calcário dolomítico na camada 0-0,20 m e a influência da aplicação das doses crescentes de gesso agrícola em superfície, que proporcionou melhorias nos atributos químicos na camada subsuperficial de 0,20-0,40 m e, conseqüentemente maior distribuição da área superficial. Souza *et al.* (2012)

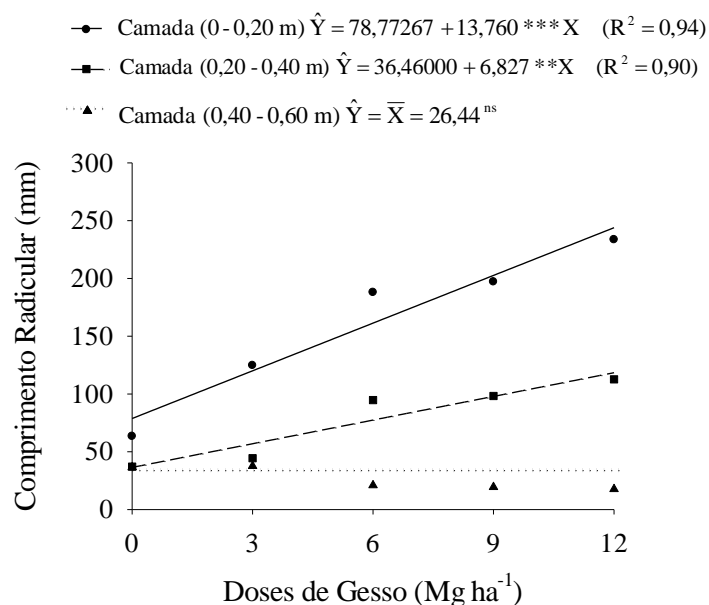
avaliando o efeito da aplicação de gesso agrícola (2 Mg ha^{-1}) sobre os atributos químicos do solo, verificaram que o gesso acumulou mais enxofre e saturação por base na profundidade de 0,20-0,30 m. De acordo com Ramos *et al.* (2013), uma vez na solução do solo, o íon SO_4^{-2} facilita a formação de sulfatos percoláveis, sendo benéfico por estimular maior crescimento radicular, o que propicia maior absorção de nutrientes em profundidade (SERAFIM *et al.*, 2012).

5.3.3 Comprimento radicular em função das doses de gesso agrícola dentro das camadas

O comprimento radicular (m) das plantas de soja apresentaram acréscimo linear com aumento das doses de gesso agrícola nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m no solo, onde a camada 0-0,20 m apresentou nas doses de gesso 0 e 12 Mg ha^{-1} comprimento radicular de 78,77 e 243,89 m, respectivamente. Já a camada 0,20-0,40 m apresentou nas doses de gesso 0 e 12 Mg ha^{-1} comprimento radicular de 36,46 e 118,38 m, respectivamente. Não foi observada diferença estatística na camada 0,40-0,60 m com média 26,44 m (Figura 15).

Figura 15 - Comprimento radicular da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

^{ns}, ^{***}, ^{**} - Não significativo e significativo a 0 e 1%, de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



O comprimento radicular também apresentou o mesmo comportamento do volume e área superficial, onde a semelhança no desenvolvimento radicular era esperada uma vez que havia as mesmas condições das doses de gesso agrícola para as camadas estudadas, que de acordo com Freddi *et al.* (2009) as raízes são órgãos flexíveis e adaptáveis que podem reduzir seu crescimento em profundidade e aumentar na camada superficial através do estímulo as raízes laterais em detrimento da raiz principal.

Segundo Neis *et al.* (2010), com a limitação do calcário às camadas superficiais a aplicação de gesso agrícola em superfície é uma das alternativas para melhoria da fertilidade do solo em profundidade e do ambiente para o crescimento das raízes. Basso *et al.* (2015) avaliando a utilização de gesso agrícola em diversas doses (0, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹), verificaram um incremento nos teores de S-SO₄²⁻ para as profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.

5.4 Componentes da raiz em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola

Conforme o resumo da análise de variância apresentada na Tabela 3 verificou-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) nas camadas do solo dentro da dose de gesso agrícola 0 Mg ha⁻¹ para as variáveis: área superficial e comprimento radicular.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do desdobramento das camadas do solo dentro de cada nível de dose de gesso agrícola para as variáveis dos componentes da raiz da soja cv. Tracajá, cultivada em Latossolo Amarelo distrófico, em Boa Vista, Roraima, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Volume Radicular	Área Superficial	Comprimento Radicular
Camadas / Dose de Gesso 0	2	307396296,62 [*]	257241402,71 ^{ns}	705,45 ^{ns}
Camadas / Dose de Gesso 3	2	518878155,08 ^{**}	1,17 ^{**}	7037,47 [*]
Camadas / Dose de Gesso 6	2	558831463,60 ^{**}	1,08 ^{**}	21009,47 ^{***}
Camadas / Dose de Gesso 9	2	579572223,85 ^{**}	1,06 ^{**}	23754,68 ^{***}
Camadas / Dose de Gesso 12	2	933669821,11 ^{***}	1,82 ^{***}	35142,00 ^{***}
Erro	22	1,26	2,11	23399,88
C.V. 1 (%)	-	48,54	43,02	41,16
C.V. 2 (%)	-	34,72	36,39	36,89
DMS		15548,31	20095,18	66,92

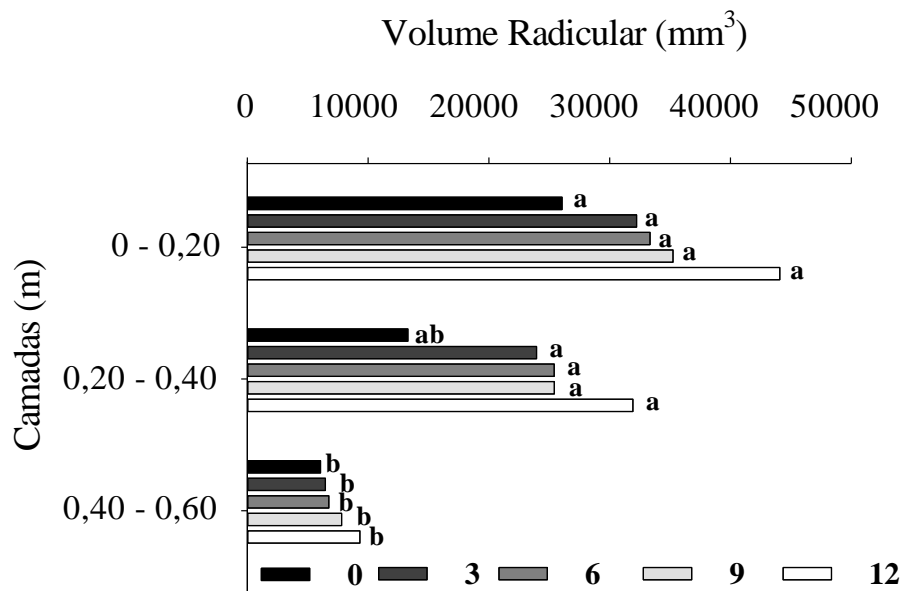
ns, ***, **, * - Não significativo, significativo a 0, 1 e 5 %, respectivamente pelo Teste F.

No desdobramento das camadas do solo dentro de cada nível de dose de gesso foram afetadas significativamente ($p \leq 0,05$), explicado o efeito das doses de gesso sobre os componentes da raiz. (Figuras 16, 17 e 18).

5.4.1 Volume Radicular em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola

De modo geral, a distribuição das raízes da soja se deu em extensão do vaso, verticalmente e horizontalmente, perfazendo as 33 quadrículas que foram analisadas no gride. A análise foi realizada entre as camadas do solo, sendo observado que na camada 0,40-0,60 m se diferenciou estatisticamente das demais camadas, apresentando menor volume radicular ($6.059,44 \text{ mm}^3$) na dose 0 Mg ha^{-1} . As camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m, não se diferenciaram estatisticamente apresentando maior volume radicular com $44.086,26$ e $35.242,43 \text{ mm}^3$, na dose 12 Mg ha^{-1} (Figura 16).

Figura 16 - Volume radicular da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018. Barras com letras iguais entre classes de profundidade dentro dos tratamentos não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.



Resultados diferentes foram encontrados por Caires *et al.* (2001), avaliando o crescimento radicular da soja considerando as alterações químicas do solo pela gessagem (0, 4, 8 e 12 Mg ha^{-1}) na superfície, constataram que os tratamentos não influenciaram

significativamente as raízes da soja cultivar EMBRAPA 58, nas quatro profundidades estudadas apesar das alterações nas características químicas das camadas superficiais e subsuperficiais.

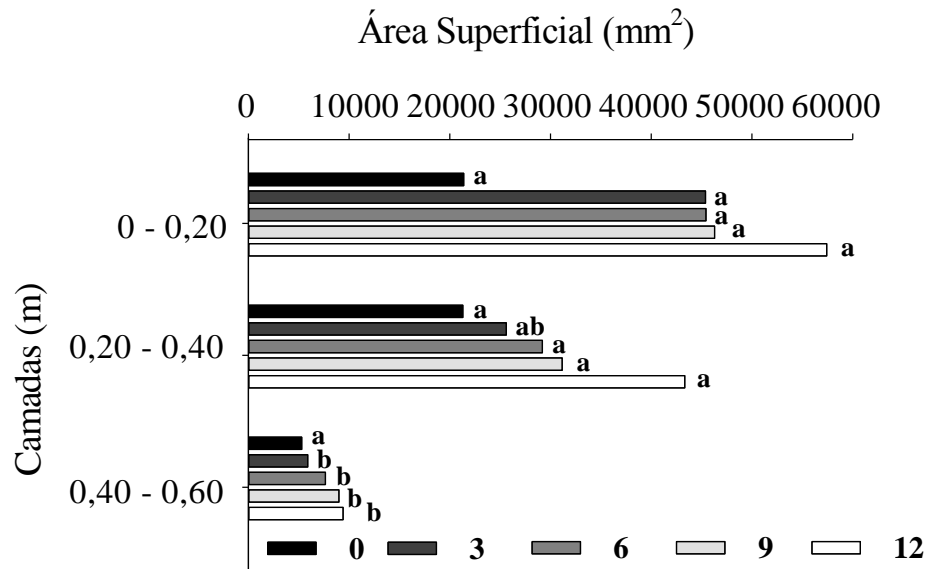
Serafim *et al.* (2012) e Nava *et al.* (2012), verificaram aumento no teor de Ca^{2+} no solo com doses de gesso, sendo preponderante no crescimento radicular (HAWKESFORD *et al.*, 2012), contudo Caires *et al.*, (2001) afirmam que o Ca^{2+} possui limite crítico para o crescimento de raízes que parecem ser muito baixos. Crescimento normal de raízes de soja foi constatado em solo com teor de Ca^{2+} de $8,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$ (ROSOLEM; MARCELLO, 1998).

Tais resultados no presente estudo podem ser atribuídos ao fato do solo já ter sido incorporado com calcário dolomítico na camada 0-0,20 m e, na adição das doses crescentes de gesso agrícola em superfície, pode ter ocorrido a lixiviação dos nutrientes no perfil dos vasos e/ou, a concentração deles além da camada de 0,40-0,60 m do solo. Rampim *et al.* (2011) estudando a influência da ação conjunta entre a gessagem e calagem no agrossistema, verificaram lixiviação de K^+ nas camadas de 0-0,10 m aos 12 meses e de 0,10-0,20 m aos seis meses, contudo, não observaram acúmulo do K^+ lixiviado na camada de 0,20-0,40 m, o qual pode ter sido arrastado além de 0,40 m no perfil do solo. Zandoná *et al.* (2015), avaliando doses de gesso (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8 Mg ha^{-1}), sem e com aplicação de calcário (2 Mg ha^{-1}), verificaram que o gesso aumenta os teores de Ca^{2+} , redistribui o Mg^{2+} para as camadas de 0,10-0,20 e de 0,20-0,40 m e diminui os teores de Al^{3+} na camada de 0,20-0,40 m.

5.4.2 Área Superficial em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola

A distribuição espacial da área superficial (mm^2) das plantas de soja apresentou o mesmo comportamento do volume radicular nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m, não se diferenciando estatisticamente apresentando maior área superficial com 5.7416,13 e 4.6286,40 mm^2 , na dose 12 Mg ha^{-1} . Na camada 0,40-0,60 m, apenas a dose 0 Mg ha^{-1} se diferenciou estatisticamente das demais doses determinando a menor área superficial com 5.296,78 mm^2 (Figura 17).

Figura 17 - Área superficial da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018. Barras com letras iguais entre classes de profundidade dentro dos tratamentos não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.



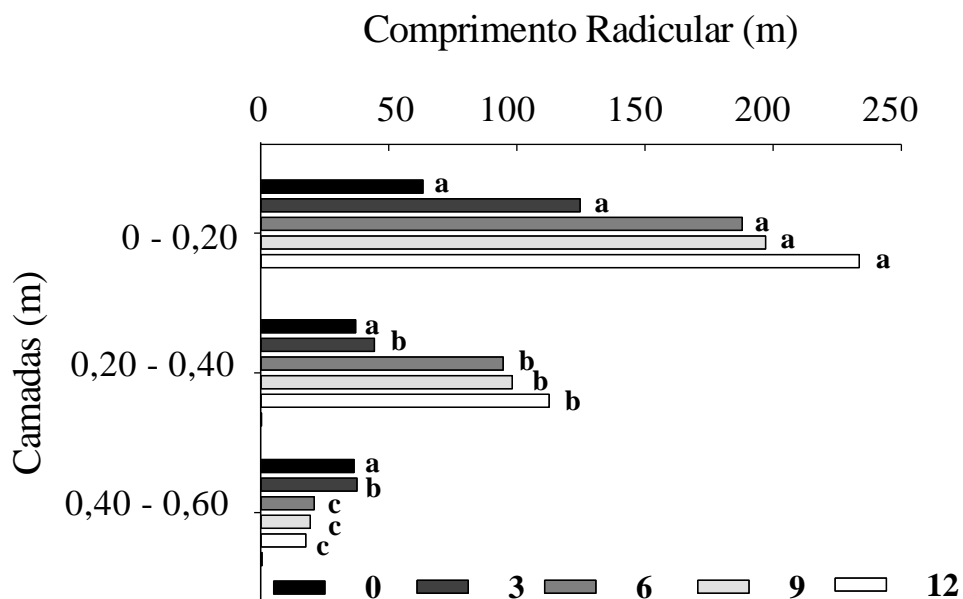
A incorporação do calcário dolomítico na camada 0-0,20 m e a influência das doses de gesso agrícola em superfície promoveu maior distribuição da área superficial. Segundo Soratto e Crusciol (2008), avaliando a aplicação de calcário dolomítico e de gesso agrícola (2,1 Mg ha⁻¹), constataram que o calcário diminuiu a acidez e elevou os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ em superfície, além disso, o gesso aumentou os teores de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ e diminuiu o teor de Al³⁺, contribuindo para que as características químicas do solo alcançassem as camadas subsuperficiais (0,20-0,60 m).

Conforme Oliveira *et al.* (2009), relataram o efeito benéfico do gesso capaz de neutralizar o alumínio tóxico na subsuperfície e, assim, permitir maior área de exploração das raízes, tendo como efeito na planta um menor estresse hídrico, gerando melhor desenvolvimento das características vegetativas e reprodutivas (RAMPIM *et al.*, 2011). Contudo, o gesso adicionado à superfície da coluna de solo, no contato com a água, é dissolvido e se dissocia em Ca²⁺ e SO₄²⁻. O sulfato possui elevada mobilidade no solo, especialmente na camada superficial. Porém, sua lixiviação no solo não acontece na forma de ânion, mas na forma de compostos formados com outros cátions presentes no solo, destacando Ca²⁺, o K⁺ e o Mg²⁺ como íons acompanhantes do sulfato (SOBRAL *et al.*, 2009).

5.4.3 Comprimento radicular em função das camadas dentro das doses de gesso agrícola

O comprimento radicular (mm) das plantas de soja apresentou o mesmo comportamento do volume radicular e área superficial na camada 0-0,20 m, onde o maior comprimento radicular foi observado com 233,61 mm, na dose 12 Mg ha⁻¹. Na camada 0,20-0,40 m, apenas a dose 0 Mg ha⁻¹ se diferenciou estatisticamente das demais doses determinando o menor comprimento radicular com 37,12 mm. Já na camada 0,40-0,60 m, a dose 0 Mg ha⁻¹ se diferenciou estatisticamente da dose 3 Mg ha⁻¹ apresentando comprimento radicular de 36,51 e 37,62 mm, respectivamente. As doses 6, 9 e 12 Mg ha⁻¹ não se diferenciaram estatisticamente determinando o menor comprimento radicular com 20,94, 19,45, 17,67 mm, respectivamente (Figura 18).

Figura 18 - Comprimento radicular da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018. Barras com letras iguais entre classes de profundidade dentro dos tratamentos não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.



Observou-se que o efeito do calcário dolomítico incorporado e a aplicação das doses crescentes de gesso agrícola em superfície, promoveu maior desenvolvimento do comprimento radicular na camada 0-0,20 m, sendo também verificada a influência do gesso na camada 0,20-0,40 m sobre essa variável. Contudo, houve uma redução do comprimento radicular na camada 0,40-0,60 m, que nas doses 6, 9 e 12 Mg ha⁻¹, provavelmente houve uma

lixiviação intensa de nutrientes no perfil do solo, promovendo o acúmulo destes na profundidade 0,60 m.

Rampim *et al.* (2011), avaliando doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 3, 4 e 5 Mg ha⁻¹), verificaram lixiviação de K⁺ e não houve acúmulo na camada de 0,20-0,40 m, o qual pode ter sido arrastado para profundidade além de 0,40 m. Martins *et al.* (2002) observaram que o aumento das doses de gesso aplicadas ao solo decresceram os teores de Mg²⁺ na camada de 0-0,15 m, aumentando nas camadas de 0,45 a 0,60 m. Serafim *et al.* (2012) verificaram lixiviação intensa nos teores de K⁺ e Mg²⁺ ao longo do perfil do solo com a aplicação de gesso.

5.5 Componentes de Produtividade

Conforme o resumo da análise de variância apresentada na Tabela 4 verifica-se que não houve efeito significativo ($p>0,05$) nas doses de gesso agrícola para as variáveis número total de grãos (NTG) e massa de 100 grãos (M-100G). No entanto, obteve-se significância para o modelo linear e quadrático ao desdobrar os graus de liberdade do tratamento (Figuras 19 e 20).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância das variáveis dos componentes de produtividade da soja cv. Tracajá, cultivada em Latossolo Amarelo distrófico sob efeito das doses de gesso agrícola, em Boa Vista, Roraima, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios				
		NTV	NTG	MGS	M-100G	PROD
Doses	4	34,23*	156,50 ^{ns}	0,43*	0,58 ^{ns}	138091,50*
Erro	10	7,27	52,93	0,08	0,34	26408,93
Linear	1	4,80 ^{ns}	6,53 ^{ns}	1,98 ^{ns}	1,98*	39117,96 ^{ns}
Quadrático	1	103,71**	453,43**	1,34**	0,04 ^{ns}	432349,47**
C.V. (%)	-	18,46	20,02	9,37	7,31	9,77

^{ns} e * - Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

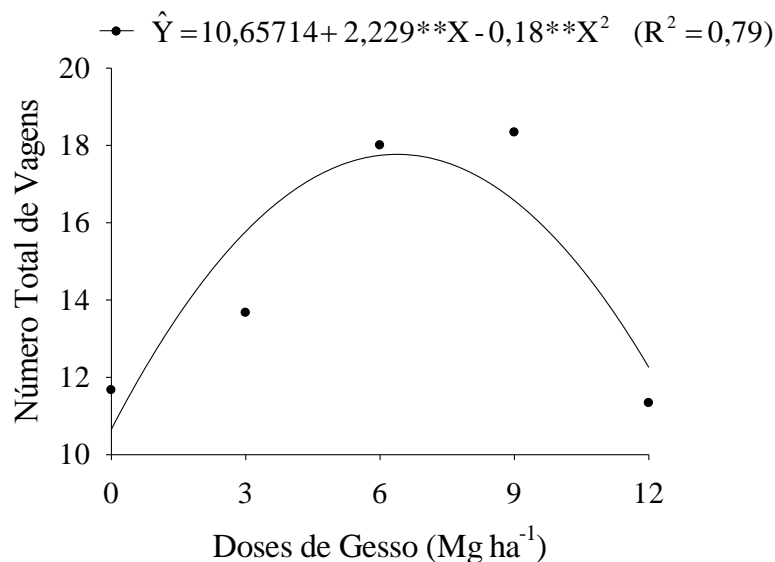
NTV - número total de vagens; NTG - número total de grãos; MGS - massa de grãos secos; M-100G - massa de 100 grãos; PROD - produtividade.

5.5.1 Número total de vagens

O número total de vagens em função das doses de gesso agrícola foi melhor descrita por modelo quadrático positivo (Figura 19). Observou-se para o maior número de vagens estimada, 17,77, a dose de máxima eficiência técnica foi 6,38 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola.

Figura 19 - Número total de vagens da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

** - Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.



Resultados semelhantes foram descrito por Ascari e Mendes (2017), onde verificaram a influência de doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) no desenvolvimento reprodutivo da cultivar de soja P98Y30, contudo observaram maior número de vagens na dose de 2 Mg ha⁻¹, ocorrendo aumento de 28,73 % de vagens por planta comparado à dose 0 Mg ha⁻¹. Por outro lado, Souza *et al.* (2010) ao avaliarem o desempenho agrônômico da cultivar de soja Coodetec 219 em um Latossolo Vermelho distroférico não verificaram efeitos do gesso agrícola (2 Mg ha⁻¹) no número de vagens.

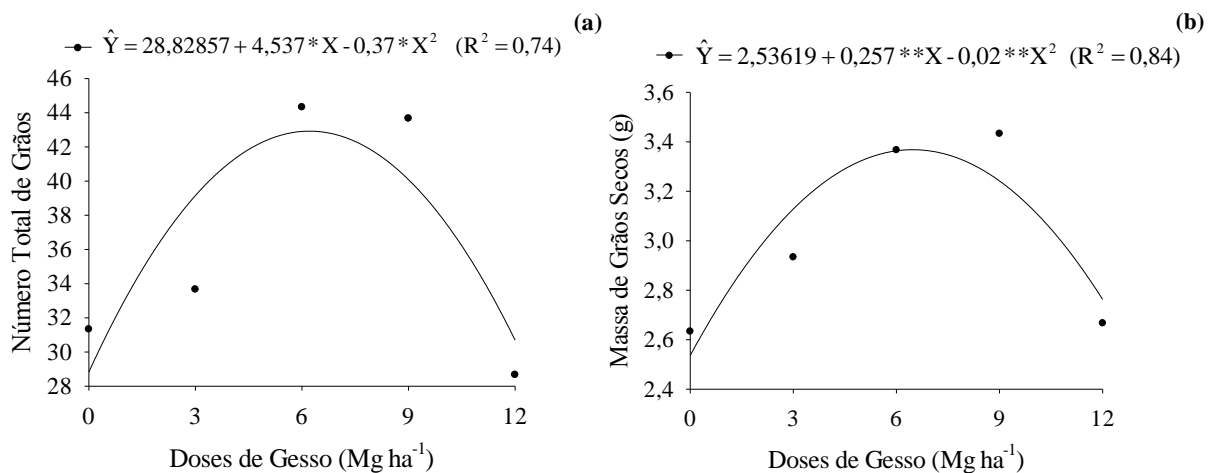
De acordo com Carpentieri-Pípolo *et al.* (2005) constataram que plantas com o maior número de vagens correlaciona-se positivamente com maior massa de grãos por planta. Além disso, segundo Guimarães *et al.* (2008) o número de vagens está relacionado com as características genéticas da cultivar.

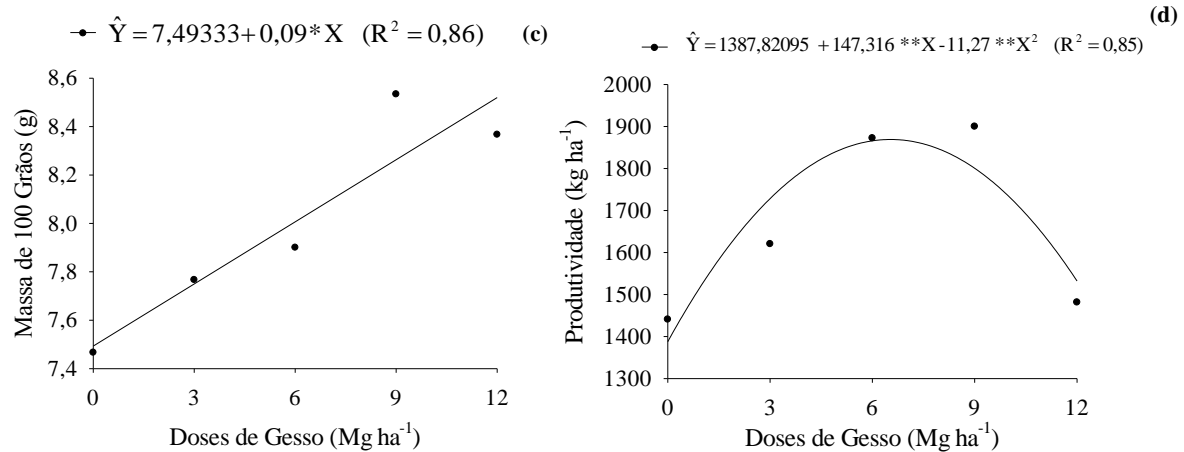
5.5.2 Número total de grãos, massa de grãos secos, massa de 100 grãos e produtividade

O número total de grãos das vagens, massa de grãos secos e a massa de 100 grãos teve influência direta sobre a produtividade das plantas de soja, apresentando modelo quadrático positivo (Figura 20a, 20b e 20d) e modelo linear (Figura 20c) em função das doses de gesso agrícola. Observou-se para o máximo de número total de grãos, massa de grãos secos e a produtividade da máxima eficiência técnica estimada na dose de gesso agrícola 6,21, 6,49 e 6,73 Mg ha⁻¹, apresentando respectivamente valores de 42,92, 3,37 g e 1869,11 kg ha⁻¹. A massa de 100 grãos apresentou com o aumento das doses de gesso, de 7,49 para 8,52 g correspondente a 0 e 12 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 20 - Número total de grãos (a), massa de grãos secos (b), massa de 100 grãos (c) e produtividade (d) da soja cv. Tracajá em Latossolo Amarelo distrófico em função de cinco doses de gesso agrícola, em Boa vista, Roraima, 2018.

** , * - Significativo a 1 e 5 %, de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.





Resultados semelhantes ao componente de produção foram encontrados por Nora *et al.* (2017), ao avaliar o efeito do gesso agrícola (0; 1; 2; 3; 4; 5; 6,5 Mg ha⁻¹) na produtividade da soja, observaram efeito quadrático positivo nas safras de 2010/11 e 2011/12 com rendimento produtivo de 4.733 kg ha⁻¹ e 3.678 kg ha⁻¹ em resposta as doses de gesso 5,7 Mg ha⁻¹ e 6,2 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os autores atribuem a menor produtividade na safra 2011/12 relacionado com a menor precipitação (401 mm) em relação à precipitação observada na safra 2010/11 (808 mm). Somavilla *et al.* (2016) avaliando aplicação de gesso agrícola (0; 2; 4 e 6 Mg ha⁻¹) no rendimento de grãos de soja cultivar BMX Energia®RR, constataram uma resposta quadrática positiva, com máxima de produtividade estimada na dose de 3,4 Mg ha⁻¹.

Zandoná *et al.* (2015) constataram influência da aplicação de gesso agrícola (0; 0,5; 1; 2; 4; 8 Mg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho distrófico sobre a produtividade da cultivar de soja NS 6262 RR, contudo a maior resposta foi observada na dose 2 Mg ha⁻¹, a partir dessa dose, o aumento de produtividade foi pouco expressivo. Broch *et al.* (2011) verificando a influência de diferentes fontes de enxofre ao longo dos três anos sobre a produtividade da soja, constataram que o gesso agrícola a longo promoveu as melhores produtividades com 3.350,50 kg ha⁻¹.

Para a massa de 100 grãos, Freitas *et al.* (2016) avaliando a influência da aplicação do gesso agrícola nos componentes de produção da soja cultivar MSOY 7908 Roundup Ready, observaram incremento na massa de 100 grãos. Ascari e Mendes (2017), verificaram a influência de doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) na cultivar de soja P98Y30, contudo observaram maior massa de 100 grãos na dose de 2 Mg ha⁻¹ (25 g) em comparação com dose de 0 Mg ha⁻¹ (18 g), representando um acréscimo de cerca de 39 % na massa de grãos. Broch *et al.* (2011) também verificaram acréscimo na massa de grão com aplicação de gesso agrícola.

O efeito do gesso agrícola era esperado em promover rendimento nos componentes de produção da soja, contudo a baixa produtividade observada é atribuída as altas temperaturas constatadas durante a floração da soja, o que pode ter acarretado no aborto de flores. É importante destacar que durante a fase de enchimento de grãos, a ocorrência das altas temperaturas pode ter causado enrugamento dos grãos, reduzindo o rendimento e a qualidade dos grãos.

6. CONCLUSÕES

1. Houve influência do gesso agrícola nos componentes vegetativos da parte aérea da soja, no número de folhas, diâmetro do caule, clorofila a e clorofila total, com exceção da altura da parte aérea, clorofila b, condutância estomática de CO₂ e temperatura foliar.

2. As doses crescentes de gesso agrícola influenciaram positivamente os componentes da matéria fresca e seca da parte aérea e raiz da soja.

3. O volume radicular, área superficial e comprimento radicular apresentaram resposta positiva em função das doses crescentes de gesso nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, exceto na camada de 0,40-0,60 m. Os componentes da raiz em função das camadas também apresentaram resposta positiva dentro das doses de gesso agrícola, exceto o comprimento radicular na camada de 0,40-0,60 m nas doses 6 a 12 Mg ha⁻¹.

4. Os componentes de produtividade da soja cv. Tracajá apresentaram a máxima eficiência técnica na dose de gesso agrícola 6 Mg ha⁻¹, com exceção da massa de 100 grãos na dose 12 Mg ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.

ARAÚJO, W. F. *et al.* Precipitação pluviométrica provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 05, n. 03, p. 563-567, 2001.

ASCARI, J. P.; MENDES, I. R. N. Desenvolvimento agronômico e produtivo da soja sob diferentes doses de gesso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 4, p. 47-60, 2017.

BASSO, C. J. *et al.* Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 456-463, 2015.

BIANCO, S. *et al.* Acúmulo de massa seca e de macronutrientes por plantas de *Glycine max* e *Solanum americanum*. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 87-95, 2012.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Spriger-Verlag, 1979. 194p.

BORNHOFEN, E. *et al.* Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 46-55, 2015.

BORTOLUZZI, E. C. *et al.* Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 262-271, 2014.

BROCH, D. L. *et al.* Produtividade da soja no Cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n.3, p. 791-796, 2011.

CAIRES, E. F. *et al.* 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**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F. *et al.* Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E. F. *et al.* Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E. F. *et al.* Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 57-64. 2008.

CAIRES, E. F. *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E. F. *et al.* Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 2, p. 209-216, 2011.

CAIRES, E. F. *et al.* Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 791-798, 2005.

CARDUCCI, C. E. *et al.* Scaling of pores in 3D images of Latosols (Oxisols) with contrasting mineralogy under a conservation management system. **Soil Research**. v. 52, p. 231-243, 2014.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 11-16, 2005.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2013/14. Décimo Segundo Levantamento, Setembro 2014. Brasília, 2014. p. 1-127. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sexto levantamento, 2015. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2016.

CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S.; JORGE, L. A. C. Métodos e aplicações do processamento de imagens digitais. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C. I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap. 3, p. 91-151.

CUSTÓDIO, D. P. *et al.* Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-Tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 1, p. 27-34, 2005.

DE KLERK, G. Rooting of micropropagules. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Orgs.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 349-358.

ENCIDE-OLIBONE, A. P.; OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Atividade radicular da soja: definição de um método. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 899-903, 2008.

EMBRAPA. Correção e manutenção da fertilidade do solo. In: **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p. (Sistemas de produção, 13).

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 615-619, 2003.

FAVARETTO, N. *et al.* Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 1788-1796, 2006.

FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ALMEIRA, C. X. Compactação de um Latossolo Vermelho de textura argilosa afetando o sistema radicular e a produtividade do milho. **Revista Ceres**, v. 56, p. 654-665, 2009.

FREITAS, L. A. *et al.* Efeito dos sistemas conservacionistas do solo e residual do gesso sobre a cultura da soja. **Nativa**, v. 4, n. 6, p. 375-379, 2016.

GAZOLLA-NETO, A. *et al.* Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 119-127, 2015.

GELAIN, E. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciências Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GUIMARÃES, F. S. *et al.* Cultivares de soja [*Glycyne max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1099-1106, 2008.

HAWKESFORD, M. *et al.* Functions of macronutrients. **In:** MARSCHNER, P., ed. Mineral nutrition of higher plants, 3.ed. New York, Elsevier, 2012. p. 171-178.

HEIFFIG, L. S. *et al.* Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA: Manual de utilização**. São Carlos: Embrapa CPDIA, 2010. 29p.

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. **Recomendações práticas para utilização do SIARCS 3.0 nos estudos de raízes, cobertura vegetal, folhas e outras aplicações**. São Carlos, Embrapa-CNPDIA, 1996. 34p. (Recomendação Técnica, 4).

LIMA, E. V. *et al.* Características agronômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja “safrinha” sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 69-80, 2009.

MAIRHOFER, S. *et al.* RooTrak: Automated recovery of three-dimensional plant root architecture in soil from X-ray microcomputed tomography images using visual tracking. **Plant Physiology**, v. 158, p. 561-569, 2012.

MARIN, R. S. F. *et al.* Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 265-274, 2015.

MARTINS, O. C. *et al.* Resposta a aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. I. Alterações químicas no perfil do solo. **Revista Ceres**, v. 49, p. 123-135, 2002.

MATTIELLO, E. M. *et al.* Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 425-434, 2008.

MUÑOZ-ROMERO, V. *et al.* Monitoring wheat root development in a rainfed vertisol: Tillage effect. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 182-187, 2010.

NAVA, G. *et al.* Soil composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 215-222, 2012.

NEIS, L. *et al.* Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NOGUEIRA, K. B. *et al.* Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, n. 1, p. 45-54, 2016.

NOGUEIRA, P. D. M.; JÚNIOR, D. G. S.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 97-101, 2007.

NORA, D. D. *et al.* Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

NORA, D. D. *et al.* Modern high-yielding maize, wheat and soybean cultivars in response to gypsum and lime application on no-till oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-21, 2017.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S., eds. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.189-254.

OLIVEIRA, F. M. C. *et al.* Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **Holos**, v. 5, n. 28, p. 71-82, 2012.

OLIVEIRA, I. P. *et al.* Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 2, p. 592-598, 2009.

PAULETTI, V. *et al.* 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, p. 495-505, 2014.

PIVETTA, L. A. *et al.* Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1547-1554, 2011.

POLOMSKI, J.; KUHN, N. Root Research methods. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Orgs.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 295-322.

RAIJ, B. V. **Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície**. Informações Agronômicas N° 135, setembro 2011, 18 p.

RAMOS, B. Z. *et al.* Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

RAMPIM, L. *et al.* 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, p. 1687-1698, 2011.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine Max* MERRILL] para o sul de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, 2007.

REZENDE, P. M. *et al.* Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1255-1259, 2009.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

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

ROSA JUNIOR, E. J. *et al.* Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n.1, p. 37-44, 2006.

ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 55, p. 448-455, 1998.

SERAFIM, M. E. *et al.* Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p.75-81, 2012.

SILVA, A. J.; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. *Summa Phytopathology*, v. 39, n. 3, p. 151-156, 2013.

SILVA, J. B. *et al.* Ensaio comparativo de cultivares de soja em época convencional em Selvíria, MS: características agronômicas e produtividade. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 5, p. 747-754, 2010.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research*, v. 92, n. 2-3, p. 169-183, 2005.

SOARES, G. F. *et al.* G. Gypsum and phosphorus in improving biometric and nutritional attributes of soybean/second season corn succession. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 2, p. 326-335, 2018.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an ultisol of the coastal tablelands. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 13, p. 836-839, 2009.

SOMAVILLA, L. *et al.* Response of soybean and corn to soil mechanical intervention and agricultural gypsum application to the soil surface. *Ciências Agrárias*, v. 37, n. 1, p. 95-102, 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 38, p. 928-935, 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N. OLIVEIRA, S. A. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 205-274.

SOUZA, F. G. *et al.* Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. *Ciências Agrárias*, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, 2012.

SOUZA, F. R. *et al.* Atributos físicos e desempenho agrônômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, 2010.

STREIT, N. M. *et al.* As Clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p.748-755, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World agricultural supply and demand estimates: February 10, 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>>. Acesso em: 15 julho 2016.

VASCONCELOS, A. C. M. *et al.* Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

VERONESE, M. *et al.* Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, 2012.

VILELA, L. C. *et al.* Propriedades químicas de Latossolo Vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem. **Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 19-27, 2010.

VITTI, G. C. *et al.* Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 225-229, 2007.

VITTI, G. C. *et al.* **Uso de gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. **Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto**. Visão agrícola nº 9 jul | dez 2009.

WAISEL, Y. Aeroponics: A tool for root research under minimal environmental restrictions. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Orgs.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 323-332.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R. *et al.* Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

ZAPPAROLI, R. A. *et al.* Associação calcário e gesso na cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em alumínio. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 4, p. 74- 84, 2013.