



**LUIZ GUSTAVO CHANAVAT**

**Caracterização química de lixiviados coletados em colunas  
contendo Latossolo Vermelho Distrófico submetido a crescentes  
doses de gesso agrícola**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**LUIZ GUSTAVO CHANAVAT**

**Caracterização química de lixiviados coletados em colunas  
contendo Latossolo Vermelho Distrófico submetido a crescentes  
doses de gesso agrícola**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do curso de Agronomia, para  
obtenção do título de Bacharel.

Professor DSc. Guilherme Lopes

Orientador

MSc. Raul Magalhães Ferraz

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2020**

*“Agricultura sem ciência é uma fazenda de  
porteiros fechadas” Iago Fernandes  
Dedico a minha família, que é o alicerce da  
minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ser fonte de refúgio nos meus momentos mais difíceis.

À toda minha família, que sempre me apoiaram em minhas decisões, me deram conselhos, me corrigiram nos meus momentos de falha, sempre me incentivaram a ser uma pessoa honesta, sincera e que trabalha para alcançar objetivos.

À minha mãe Regina, meu pai Marcos, e minha irmã Ludymilla por estarem ao meu lado nos momentos bons e ruins, por me ajudarem de todas as formas possíveis e por me proporcionar uma verdadeira experiência de amor.

Aos meus avós Lucia, Antônio, Irani e José que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Por ajudarem os meus pais a me educarem e por todo o amor que têm por mim.

A minha namorada Bianca que esteve comigo nos momentos bons e ruins, que sempre me incentivou e teve grande participação para que eu estivesse aqui finalizando mais uma etapa de minha vida.

Ao professor Guilherme Lopes, orientador deste trabalho, obrigado pela orientação, atenção, conselhos e ensinamentos.

A todos da equipe do Departamento de Ciência do Solo, pelo companheirismo nos projetos e também pelos momentos de descontração. E em especial para este trabalho, ao Raul e Mateus por esta relação de forte amizade e trabalho em equipe que construímos.

A todos os órgãos de fomento à pesquisa CNPq, CAPES e FAPEMIG, pois sem o apoio deles esse trabalho não seria possível.

À UFLA que me proporcionou uma das melhores condições de ensino do país, e ao DCS por todo o aprendizado e experiências que me proporcionou. Gostaria de agradecer também a todos os professores que fizeram parte desta caminhada.

A todos que de certa forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O gesso agrícola é um subproduto da extração de fósforo na indústria de fertilizantes, o qual tem sido utilizado como condicionador de solos. Sua composição provém da reação de ácido sulfúrico e rochas fosfáticas que tem cálcio em sua composição. Como subproduto, a reação dá origem ao sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Ao ser aplicado no solo, parte do  $\text{CaSO}_4$  se dissocia formando os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo que o ânion  $\text{SO}_4^{2-}$  têm a capacidade de se ligar outras bases do solo, como  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , formando pares iônicos de carga 0. Por meio desses pares iônicos, as bases  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  podem ser deslocadas para as camadas inferiores do perfil do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de crescentes doses de gesso agrícola sobre a concentração dessas bases, e outros eventuais pares iônicos, em efluentes coletados de colunas de solo de diferentes comprimentos, por um período de aproximadamente um ano e meio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no DCS (UFLA), em delineamento inteiramente casualizado - DIC, num esquema fatorial 6x5, avaliando o efeito de 6 doses de gesso (0, 1,5, 3, 7, 11 e 15  $\text{ton ha}^{-1}$ ), em 5 profundidades de colunas (0,1, 0,2, 0,4, 0,6 e 1,0 m), com 3 repetições. Foi utilizado amostras de um *Latossolo Vermelho Distrófico* coletadas nas respectivas profundidades no campus da UFLA. As colunas foram empacotadas na mesma ordem das profundidades amostradas. As doses foram aplicadas em superfície da coluna, empregando um anel de diâmetro inferior ao da coluna, de forma a reduzir o fluxo lateral que poderia aumentar o carreamento de pares iônicos por dentro das laterais das colunas. Foram realizadas 8 coletas de lixiviado, distribuídas em 516 dias com a aplicação de um total de 1624 mm de lâmina d'água. Foram quantificados nas amostras dos lixiviados, o pH e a CE, usando pHmetro e condutivímetro da marca Mettler Toledo, e os teores de cálcio, magnésio, potássio e enxofre, usando ICP-OES. A aplicação de gesso causou aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e S nos lixiviados coletados até 0,4 m. Verificou-se deslocamento do  $\text{Mg}^{2+}$  das camadas superficiais para camada de 0,4 m, em decorrência da aplicação de doses de gesso acima de 7  $\text{ton ha}^{-1}$ . De maneira geral o pH apresentou uma tendência a aumentar com o aumento das doses de gesso até a profundidade de 0,4 m. Além disso, houve um aparente aumento na CE das maiores profundidades e uma diminuição deste parâmetro nas menores profundidades ao longo do tempo. Tal fato indica a movimentação de íons das camadas superficiais para o subsolo.

**Palavras-chave:** gessagem; efluente de colunas; fertilidade do solo; condutividade elétrica; condicionador de solo.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
1 INTRODUÇÃO .....	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1 Gesso Agrícola.....	9
2.2 O uso do gesso na agricultura .....	9
2.3 Efeitos do gesso sobre as características químicas do solo .....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1 Coleta do Solo.....	12
3.2 Correção por meio de calagem das amostras de 0 a 0,2 m.....	12
3.4 Análises realizadas nas amostras de lixiviado.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1 Teores de bases nos lixiviados ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{K}^{+}$ ).....	17
4.4 Teores de enxofre nos lixiviados (S).....	28
4.5 pH e Condutividade Elétrica (CE) .....	31
5 CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre um dos países de maior extensão territorial no mundo, sendo a agricultura brasileira considerada fonte de alimentos e de matéria prima para muitos países (FAO, 2017). O país se destaca na produção de cereais, a exemplo de soja, milho, trigo e arroz. Na safra 2015/2016, por exemplo, a produção alcançou 196,5 milhões de toneladas e estima-se que atinja 255 milhões de toneladas nos próximos 10 anos (EMBRAPA, 2018).

Segundo relatório das Nações Unidas publicado em 2019 a população mundial chegará a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, um aumento de 2 bilhões em apenas 3 décadas. Tal crescimento irá gerar uma grande demanda por recursos e alimentos. Para atender a essa demanda, países, como o Brasil, necessitam multiplicar sua produção agrícola, entretanto, muitos são os desafios para acompanhar a crescente demanda pela produção de alimentos.

O Brasil possui uma grande diversidade de solos em sua extensão continental, entre esses solos predominam os Latossolos e Argissolos que juntos ocupam aproximadamente 58% da área (EMBRAPA, 2018). Nos Latossolos do cerrado brasileiro, por exemplo, as principais limitações são à acidez por alumínio e a baixa concentração de nutrientes (LOPES, 1983), sendo que, a deficiência de cálcio, e a toxidez por alumínio não ocorrem apenas na camada arável do solo, mas também abaixo dela (RAMOS, 2012).

Dentre as alternativas para corrigir os problemas de acidez e baixa fertilidade do solo, o uso de corretivos como o calcário é uma das principais práticas adotadas pelos produtores. Tal corretivo eleva o pH do solo, o que conseqüentemente neutraliza o alumínio tóxico por precipitação na forma de hidróxido, além de também o calcário fornecer nutrientes para as plantas, como cálcio e magnésio (PÁDUA et al, 2006), ao elevar o pH do solo, atinge-se a faixa de maior disponibilidade de outros nutrientes. Contudo, a baixa solubilidade e mobilidade do carbonado de cálcio e magnésio no perfil do solo é um limitante no uso desse insumo para correção da acidez, elevar os teores de cálcio e magnésio e neutralizar alumínio em maiores profundidades no solo, uma vez que a incorporação do calcário é viável apenas na camada arável do solo (FERRAZ, 2017).

Elevados teores de alumínio e baixos teores de cálcio no subsolo restringem o crescimento e aprofundamento das raízes, limitando assim, a absorção de água e nutrientes resultando em perdas no potencial produtivo das lavouras (SUN et al., 2000). Como solução para esse problema, o uso de gesso agrícola aliado à calagem vem sendo difundido (RAIJ, 2008).

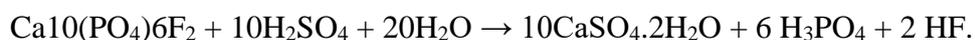
O gesso agrícola é um condicionador de solos e subproduto da extração de fósforo na indústria de fertilizantes fosfatados. Sua composição provém da reação de ácido sulfúrico com as rochas que, além do fósforo, contem cálcio, dando origem ao sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), um sal neutro, que, portanto, não corrige o pH do solo (VITTI et al., 2008), mas é fonte de cálcio. Ao ser aplicado ao solo o  $\text{CaSO}_4$  se dissocia formando os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo que o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  têm a capacidade de se ligar a outras bases do solo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), formando pares iônicos de carga 0. Assim, o gesso pode promover o carreamento das bases  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , para as camadas mais profundas, além de reagir com o alumínio formando espécies mais estáveis e, portanto, reduzindo a toxidez de alumínio para as plantas, que é o caso do  $\text{AlSO}_4^+$  (DIAS, et al., 1992). Com o movimento do  $\text{CaSO}_4^0$ , a reação acontece em profundidade, uma vez que, o sulfato de cálcio é altamente móvel no perfil do solo (PEREIRA, 2007). Entretanto, a dose de gesso a ser aplicada ao solo é de grande relevância. O uso de altas doses pode promover o carreamento das bases para além do alcance pelas raízes das plantas (PEREIRA, 2007). Além disso, o fornecimento de excesso de  $\text{Ca}^{2+}$  pelo gesso pode favorecer a inibição competitiva com os cátions  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , causando um desequilíbrio nas plantas (MARQUES et al., 1999, RAMOS, 2012).

Diante do exposto, o principal objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de crescentes doses de gesso agrícola sobre a concentração bases em lixiviados coletados a partir de colunas de solo de diferentes profundidades, por um período de aproximadamente um ano e meio. Tendo em vista que as colunas foram montadas em diferentes profundidades (conforme pode ser visto em detalhes no material e métodos) e que várias coletas de lixiviados foram feitas no decorrer do período avaliado, o estudo também objetivou avaliar de forma preliminar a velocidade de descida dos nutrientes no decorrer do tempo, para o solo e condições do presente estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gesso Agrícola

O gesso agrícola é um condicionador de solos que tem por característica ser cerca de 150 vezes mais móvel que o calcário, sendo que esta característica está intimamente ligada à sua solubilidade (EMBRAPA, 2005). O sulfato de cálcio di-hidratado (gesso agrícola) é obtido por meio da reação de ácido sulfúrico com rochas fosfatadas, a exemplo da apatita, que tem também cálcio em sua composição, durante o processo de extração de matéria prima para indústria de fertilizantes. Portanto, o gesso agrícola pode ser considerado um subproduto deste processo (EMBRAPA, 2005). Apesar de não ser o objetivo do processo, para cada tonelada de ácido fosfórico produzido, são produzidas aproximadamente 4,5 toneladas de gesso agrícola (EMBRAPA, 2005). Tal reação pode ser descrita de forma simplificada da seguinte maneira:



Além de cálcio (CaO 30,9%) e enxofre (S, 17,7%), o gesso agrícola possui em sua composição outros elementos sendo esses: F (0,2%) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,7%) (DIAS, et al., 1992).

No Brasil, os maiores polos de produção de ácido fosfórico e, portanto, gesso, estão localizados em Cubatão (SP), Uberaba (MG) e Catalão (GO) (RAIJ, 2008). Além de o gesso ser oriundo da produção de fertilizantes fosfatados (também conhecido como fosfogesso), ele pode ser obtido em jazidas de gipsita, presentes nos estados de Pernambuco e Maranhão (OLIVEIRA et al., 2012). A partir das regiões produtoras de gesso, este é transportado e distribuído para todo o Brasil, sendo amplamente usado na produção de grãos do cerrado brasileiro.

Na agricultura, o gesso tem sido utilizado como fonte de enxofre e cálcio, condicionando não só a camada superficial, mas todo o perfil do solo, por neutralizar alumínio e fornecer cálcio em profundidade, permitindo assim o aprofundamento do sistema radicular (DIAS, et al., 1992). Portanto, o uso desse condicionador possibilita maior tolerância das culturas frente a veranicos, tornando-se uma ferramenta indispensável no sistema de produção de sequeiro, especialmente na segunda safra onde as chuvas apresentam distribuição desuniforme (RAIJ, 2008). Além disso, atualmente, o gesso vem sendo empregado em doses crescentes em lavouras de café (RAMOS et al., 2013).

### 2.2 O uso do gesso na agricultura

O potencial do uso de gesso na agricultura bem como seus efeitos foram descobertos por acaso. No início da década de 70, um agricultor do Paraná adquiriu uma fazenda em Brasília. Tradicionalmente em sua região usava-se como fonte de fósforo o superfosfato

simples (fertilizante que possui em sua composição 50% de gesso agrícola). Quando começou a plantar no planalto central seguiu utilizando a mesma fonte, enquanto que os agricultores vizinhos utilizavam outras fontes de fósforo. Após cerca de 10 anos de cultivo, um veranico aconteceu na região, fazendo com que as lavouras vizinhas apresentassem sintomas severos de estresse hídrico, entretanto, as lavouras daquele produtor que utilizava o superfosfato simples mantiveram seu desenvolvimento (LOPES & GUILHERME, 2007).

Quando aplicado no solo, o gesso agrícola, por ser um sal solúvel em água e muito móvel no solo, penetra no perfil levando  $\text{Ca}^{2+}$  para camadas em subsuperfície e neutralizando  $\text{Al}^{3+}$  tóxico, sendo assim propicia o aprofundamento radicular (RAMOS, 2012). Tal efeito também foi observado por diversos autores que relatam o aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  ao longo do perfil (VITTI et al., 2008; RAIJ, 2008; SOUSA et al., 2005; CAIRES et al., 2004; RAIJ, 1988). A partir de então, o gesso agrícola tornou-se um importante insumo no manejo da fertilidade do solo, especialmente em camadas não aráveis, favorecendo também práticas conservacionistas como o plantio direto (RAIJ, 2008).

### 2.3 Efeitos do gesso sobre as características químicas do solo

De forma geral, o gesso agrícola é um insumo utilizado em complemento ao calcário, pois esse condicionador não tem a capacidade de elevar o pH por ser um sal neutro (FERRAZ, 2017). Quando aplicado no solo, o gesso reduz a fitotoxicidade de  $\text{Al}^{3+}$  e fornece  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em profundidade (RAIJ, 2008).

Após a sua aplicação, parte do gesso é solubilizada na presença de água (solubilidade de aproximadamente 2,5 g/L), conforme representado pela seguinte reação:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sólido) +  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CaSO}_4^0$ . Outra parte permanece em sua forma natural ( $\text{CaSO}_4^0$ ) que se movimenta no perfil do solo, possibilitando que a mesma reação ocorra, à medida que o produto avança perfil abaixo.

O sulfato proveniente dessa reação tem a capacidade de se ligar ao  $\text{Al}^{3+}$ , que, por apresentar menor solubilidade, forma espécies menos tóxicas para as plantas, como o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (ZAMBROSI et al., 2007). Além disso, muitos autores relatam a movimentação de  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil do solo (CRUSCIOL, 2014; MICHALOVICZ et al., 2014; FERRAZ, 2017). Tal fato se deve a formação de um par iônico de carga neutra (DIAS, 1992). Além do  $\text{Ca}^{2+}$ , o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), proveniente do gesso, tem a capacidade de se ligar a outros cátions formando pares iônicos de carga zero, como por exemplo,  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$  (CREMON et al., 2009).

Em estudos realizados por Ferraz (2017), avaliando os teores e a mobilidade de íons no perfil de um Latossolo sobre efeito de aplicação de elevadas doses de gesso (até 56 t ha<sup>-1</sup>), o autor constatou aumento na disponibilidade de Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Mg<sup>2+</sup> ao longo do perfil do solo. Além disso, foi destacado que tal efeito foi mais pronunciado com doses elevadas de gesso como a de 56 toneladas de gesso por hectare.

Resultados similares foram encontrados por Pauletti et al.(2014), ao avaliarem o efeito a longo prazo da aplicação conjunta de gesso e calcário nos atributos químicos do solo em rotação de culturas no sistema de plantio direto. Os autores verificaram que a aplicação de gesso reduziu a saturação por Al<sup>3+</sup> e aumentou os teores de Ca<sup>2+</sup> e S no perfil do solo. Além disso, o gesso causou a lixiviação de Mg<sup>2+</sup>. Contudo, os autores não verificaram lixiviação de K<sup>+</sup> em detrimento da aplicação de gesso.

A lixiviação em excesso de bases trocáveis abaixo da camada explorada pelo sistema radicular é preocupante, uma vez que, quando isso acontece, esses nutrientes são perdidos. Em solos altamente intemperizados, como os Latossolos, tal preocupação é ainda maior devido à escassez natural de nutrientes (CAIRES et al., 2013).

Apesar de haver muitos trabalhos com gesso como condicionador de solo na literatura, a velocidade com a qual ele se desloca no solo continua com pouca ou nenhuma informação mais concreta.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta do Solo

Para realização deste trabalho, coletou-se amostra de um Latossolo Vermelho distrófico em mata nativa no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O solo foi coletado em 5 diferentes camadas visando a manutenção de suas características mineralógicas e químicas de ocorrência natural no perfil do solo (Figura 1). As profundidades amostradas foram: de 0 a 0,1, 0,1 a 0,2, 0,2 a 0,4, 0,4 a 0,6 e 0,6 a 1 m. O solo foi separado em sacos plásticos devidamente identificados.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e peneiradas usando malha de 4 mm. Em seguida, retirou-se uma subamostra de cada uma das camadas caracterização dos parâmetros de fertilidade.

Figura 1: Detalhes da amostragem do solo nas diferentes camadas.



Fonte: Foto cedida por Raul Magalhães.

#### 3.2 Correção por meio de calagem das amostras de 0 a 0,2 m

Tomando-se como base os atributos químicos do solo foram quantificados (valores presentes na Tabela 1), as amostras de solo das camadas de 0 a 0,1 e de 0,1 a 0,2 m foram incubadas com óxidos de Ca e Mg (Figura 2), para correções normalmente realizadas pela calagem em áreas de plantio. O objetivo foi elevar o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  para 45% da T e o  $\text{Mg}^{2+}$  para 15% da T. Foram empregados nessa correção, óxido de cálcio e de magnésio (PA). Além disso, foi aplicado fosfato de potássio, com o objetivo de elevar o  $\text{K}^+$  a 5% da T. Os atributos químicos dessas duas camadas incubadas foram novamente quantificados (após a incubação) e seus resultados estão apresentados entre parênteses na Tabela 1.

Durante o tempo em que o solo ficou incubado (aproximadamente 30 dias), o mesmo foi mantido úmido próximo à capacidade de campo com água deionizada. A cada aplicação de água, o solo era revolvido, objetivando-se aumentar o contato dos corretivos com as partículas de forma a aumentar a eficiência e uniformidade da correção.

Tabela 1: Caracterização química das amostras de solo das diferentes profundidades, antes e após a correção.

Atributos de fertilidade	Profundidade (cm)				
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-100
pH	5,00 (5)	4,9 (5,4)	5,00	5,00	5,20
K (mg/dm <sup>3</sup> )	62,63 (172,2)	36,5 (165,69)	19,10	8,22	3,86
P (mg/dm <sup>3</sup> )	1,2 (13,26)	0,70 (15,7)	0,56	0,42	0,39
S (mg/dm <sup>3</sup> )	15 (133,38)	7,40 (141,41)	3,54	4,52	5,56
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,5 (4,32)	0,20 (3,44)	0,15	0,13	0,10
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,27 (1,62)	0,16 (1,31)	0,10	0,10	0,10
Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,00 (0,26)	0,00 (0,24)	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	8,42 (3,26)	8,42 (4,44)	6,74	5,83	4,27
SB (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,90 (6,38)	0,40 (5,17)	0,30	0,25	0,21
t (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,98 (6,64)	0,45 (5,41)	0,30	0,25	0,21
T (cmolc/dm <sup>3</sup> )	9,40 (9,64)	8,87 (9,61)	7,04	6,08	4,48
V (%)	10,4 (66,18)	5,11 (53,79)	4,25	4,13	4,69
m (%)	0,0 (3,91)	0,00 (4,43)	0,00	0,00	0,00
M.O (dag/kg)	3,9 (4,2)	2,70 (2,9)	3,28	2,01	1,38
P-rem (mg/L)	10,21 (20,73)	8,79 (22,18)	6,90	7,47	6,20
Argila (dag/kg)	65,00	67,00	65,00	70,00	67,00
Silte (dag/kg)	13,00	13,00	14,00	12,00	14,00
Areia (dag/kg)	22,00	20,00	21,00	18,00	19,00

pH em água - Relação 1:2,5. Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L. P- K- Extrator Mehlich 1. H + Al - Extrator: SMP. S - Extrator - Fosfato monocálcio em ácido acético. Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N. SB: Soma de Bases Trocáveis. CTC (t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. CTC (T): Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0. V: Índice de Saturação de Bases. m: Índice de Saturação de Alumínio. Solo Tipo 3: Textura Argilosa. Valores entre parênteses se referem aos teores após a correção. Adaptado de Assis, 2019.

Figura 2: Incubação das amostras de solos em sacos plásticos



Fonte: Assis, 2018.

### **3.3 Montagem (empacotamento) das colunas de solo, aplicação dos tratamentos e condução do experimento**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no DCS (UFLA), em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 6x5, de forma a avaliar o efeito de 6 doses de gesso (0, 1,5, 3, 7, 11 e 15 t ha<sup>-1</sup>) em 5 profundidades de colunas (0,1, 0,2, 0,4, 0,6 e 1,0 m), com 3 repetições.

As colunas de solo foram feitas de segmentos de tubos de PVC de 150 mm, sendo esses segmentos unidos com o auxílio de fita Silver Tape. Foram montadas, ao total, 90 colunas de solo (Figura 3), sendo essas divididas em 5 alturas/profundidades (0,1m, 0,2m, 0,4m, 0,6m e 1m). Após a montagem, as colunas foram preenchidas com o solo das respectivas profundidades, simulando o perfil do solo coletado. Ao final de cada coluna, foi adicionada uma saída para escoamento do efluente que foi direcionada para um frasco de vidro com capacidade de coleta de 1 litro.

Com o objetivo de estruturar o solo antes da aplicação das doses de gesso, o solo das colunas foi submetido a uma sequência de molhamento e secagem, para que esse pudesse assumir a forma o mais próximo da realidade em campo.

Após meses de “estruturação”, aplicou-se cada dose de gesso no topo de cada coluna, sendo três colunas e profundidades para cada dose (repetições). As doses de gesso foram aplicadas dentro de anéis com menor diâmetro de 10 cm, no centro da área superficial de cada coluna, para evitar o escoamento (fluxo) pelas laterais internas da coluna. Cada coluna foi irrigada periodicamente, recebendo um total de 1.624 (mil seiscentos e vinte e quatro) mm de água destilada, distribuídos num período de 516 dias após a aplicação do gesso. Durante esse tempo, foram feitas um total de 8 coletas de lixiviado, aos 29, 68, 152, 241, 301, 393, 455 e 516 dias após a aplicação do gesso. As quantidades acumuladas de água aplicadas foram de 78, 233, 485, 774, 1006, 1241, 1383 e 1624 mm de água. A aplicação de água foi feita com o intuito de sempre deixar o solo próximo a sua capacidade de campo, de forma a promover a percolação da água e deslocamento do gesso no perfil.

Figura 3: Distribuição das colunas, dispositivo de coleta do efluente, anel central para aplicação do gesso e aplicação da lâmina de água.



Fonte: Do autor (2018).

### 3.4 Análises realizadas nas amostras de lixiviado

Depois de cada coleta, as amostras de lixiviado foram filtradas com o auxílio de uma bomba de vácuo e filtros de 0,45  $\mu\text{m}$ . Retirou-se então duas subamostras de cada um dos frascos, uma para leitura de pH e condutividade elétrica (CE) e a outra para leitura de cálcio, magnésio, potássio e enxofre. O pH e CE foram quantificados usando pHmetro e condutivímetro da marca Mettler Toledo (Figura 4). Já para quantificação dos elementos, as análises foram feitas em ICP-OES.

Ao final dos 516 dias de coletas, as colunas foram desfeitas e o solo da camada de 0-0,1m foi amostrado em fatias de 2 cm de altura, 0-0,02 e 0,08-0,1 m. Nas demais camadas, as fatias de amostragem foram 0,18-0,20, 0,38-0,40, 0,58-0,60 e 0,98-1 m. As amostras foram analisadas e os resultados foram discutidos por Assis (2019).

Figura 4: Filtragem do efluente, armazenamento da amostra filtrada e análises de pH e CE usando pH metro da marca Mettler Toledo.



Fonte: Do autor (2018).

### **3.5 Análise estatística**

Os resultados presentes nesse trabalho foram submetidos ao teste de Scotch Knott (1974), ao nível de 5% de significância. Usou-se o programa Sisvar para condução das análises estatísticas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teores de bases lixiviadas das colunas ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{K}^+$ ).

Os teores de cálcio das 8 coletas avaliadas se encontram na tabela 3 e figura 5. Observando a tabela 3 pode-se dizer que os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram superiores estatisticamente em relação ao controle nas maiores doses de gesso (G11 e G15), até a profundidade de 0,2 m em todas as coletas, com exceção da coleta 7, onde os teores com as maiores doses de gesso se equipararam ao controle. Tal fato era esperado, uma vez que as doses de gesso agrícola aportam grande quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$ . Vários autores relatam um aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2003, TEIXEIRA et al., 2014 e ASSIS, 2019). Para as doses intermediárias de gesso (G3 e G7), observou-se que os teores foram maiores do que aqueles encontrados no controle até as coletas 4 e 3 nas profundidades de 0,1 e 0,2 m, respectivamente. Resultados que também eram esperados uma vez que menores doses de gesso aportam menos quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$ .

TABELA 3: Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  disponíveis no lixiviado das 8 coletas avaliadas.

Profundidade (m)	Teores disponíveis no lixiviado					
	G0	G1,5	G3	G7	G11	G15
1ª coleta						
0,10	197,38 a D	211,80 a D	234,98 b C	351,64 c C	391,15 d C	504,56 e D
0,20	299,87 a E	381,14 b E	373,46 b D	391,26 b D	446,30 c D	435,77 c C
0,40	156,07 c C	151,37 c C	124,74 b B	129,70 b B	116,25 b B	100,14 a B
0,60	23,56 a B	26,56 a B	13,97 a A	11,91 a A	13,99 a A	15,37 a A
1,00	2,23 a A	0,92 a A	2,25 a A	1,48 a A	2,12 a A	1,81 a A
2ª coleta						
0,10	246,19 a D	303,01 b D	322,01 b D	405,69 c E	444,03 c D	402,69 c D
0,20	253,01 a D	286,93 a D	308,82 b D	324,28 b D	398,59 c D	394,41 c D
0,40	186,26 a C	198,47 a C	185,75 a C	196,58 a C	196,27 a C	181,78 a C
0,60	86,70 a B	103,61 a B	63,75 a B	67,69 a B	81,73 a B	81,72 a B
1,00	3,05 a A	2,7 a A	4,00 a A	4,63 a A	3,75 a A	3,22 a A
3ª coleta						
0,10	66,38 a B	119,89 b B	131,98 b B	163,02 c B	245,47 d C	194,80 c B
0,20	244,12 a D	252,08 a D	268,52 b D	290,59 b C	355,74 c D	347,38 c C
0,40	153,10 a C	183,06 a C	173,97 a C	174,99 a B	159,17 a B	176,80 a B
0,60	154,99 a C	160,52 a C	156,99 a C	163,11 a B	160,96 a B	165,94 a B
1,00	11,67 a A	10,44 a A	13,56 a A	16,07 a A	11,43 a A	9,72 a A
4ª coleta						
0,10	42,33 a A	86,59 b B	91,053 b B	90,95 b B	112,48 c B	148,99 d B
0,20	151,69 a C	171,16 a D	171,71 a D	230,56 b D	256,52 c D	267,09 c C
0,40	100,02 a B	127,25 a C	117,49 a C	119,79 a B	141,82 a C	136,04 a B
0,60	150,63 a C	134,95 a C	150,72 a D	161,37 a C	154,37 a C	155,62 a B
1,00	28,59 a A	27,48 a A	32,99 a A	43,09 a A	35,95 a A	25,16 a A

5ª coleta						
0,10	62,13 a A	135,61 c B	76,02 a A	75,14 a A	109,43 b B	143,72 c B
0,20	208,74 c C	190,67 b C	149,87 a C	238,25 d C	242,73 d C	245,41 d C
0,40	57,93 a A	77,1 b A	80,32 b A	88,28 b A	111,56 c B	121,42 c B
0,60	103,26 a B	94,07 a A	103,45 a B	115,65 a B	112,63 a B	122,58 a B
1,00	66,54 a A	66,64 a A	72,50 a A	81,58 a A	70,83 a A	68,79 a A
6ª coleta						
0,10	110,11 a B	147,95 b B	107,14 a A	111,71 a A	141,96 b B	165,39 b C
0,20	255,15 c C	164,91 a B	218,55 b B	235,88 b B	251,98 c C	274,56 c D
0,40	67,8 a A	81,67 a A	83,99 a A	98,7 a A	123,21 b B	133,65 b B
0,60	85,02 a A	85,79 a A	92,38 a A	98,73 a A	104,7 a A	106,35 a A
1,00	92,77 a B	92,87 a A	102,07 a A	111,30 a A	94,03 a A	97,92 a A
7ª coleta						
0,10	130,45 a B	101,61 a A	95,89 a A	105,34 a A	124,33 a B	132,05 a B
0,20	298,30 b C	213,64 a B	289,23 b B	255,20 b B	273,13 b C	285,81 b C
0,40	66,20 a A	86,35 a A	82,16 a A	107,77 a A	141,95 b B	146,74 b B
0,60	73,22 a A	81,62 a A	88,69 a A	102,56 a A	76,89 a A	84,96 a A
1,00	100,05 a B	102,58 a A	114,33 a A	117,21 a A	106,79 a A	111,76 a A
8ª coleta						
0,10	59,00 a A	64,37 a A	63,34 a A	78,62 a A	95,38 b A	100,70 b A
0,20	153,2 a C	192,67 b C	209,44 b C	212,27 b C	251,11 c C	256,43 c C
0,40	78,54 a A	94,93 a B	105,46 b B	120,73 b B	156,63 c B	164,94 c B
0,60	70,70 a A	69,80 a A	81,24 a A	86,51 a A	100,59 b A	109,86 b A
1,00	112,06 a B	112,51 a B	114,19 a B	120,25 a B	115,04 a A	117,97 a A

Letras iguais, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott knott ao nível de 0,05 de significância. \* Variáveis determinadas no solo, apresentaram os seguintes coeficientes de variação: 1ª coleta CV=6,34%, 2ª coleta CV=14,48%, 3ª coleta CV=12,87%, 4ª coleta CV=14,48%, 5ª coleta CV=11,58%, 6ª coleta CV=10,45%, 7ª coleta CV=16,65%, 8ª coleta CV=11,14%.

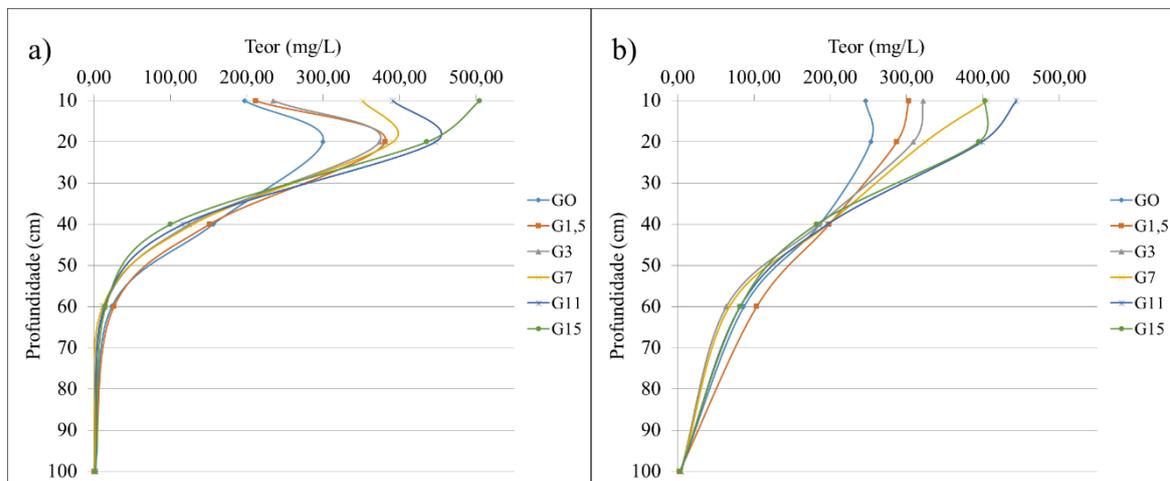
Nota-se que na profundidade de 0,4 m os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram maiores do que aqueles do controle, com as maiores doses de gesso (G11 e G15) a partir da coleta 5. Na coleta 8 as doses intermediárias de gesso (G3 e G7) também apresentaram teores maiores que o controle (Figura 5). Visto que a coleta 5 ocorreu aos 301 dias e a coleta 8 aos 516 dias, e o comprimento da coluna foi de 0,4 m, a velocidade de movimentação do gesso foi de 0,13 cm por dia, em média, nas maiores doses (G11 e G15), e 0,077 cm/dia nas doses G3 e G7. (Considerando as épocas de amostragem 29, 68, 152, 241, 301, 393, 455 e 516 dias). Essa velocidade de deslocamento é aproximada àquela que o gesso, em suas doses G11 e G15 levaram para movimentar da profundidade de 0,4 m a 0,6m, que foi de 0,09 cm/dia, justificando a menor velocidade, visto que as doses G11 e G15 foram se dissipando em quantidade a medida que avançava na coluna (Tabela 3). Esses resultados indicam que a lixiviação deste elemento causada pelo gesso foi mais significativa até 0,4 m. Resultados que

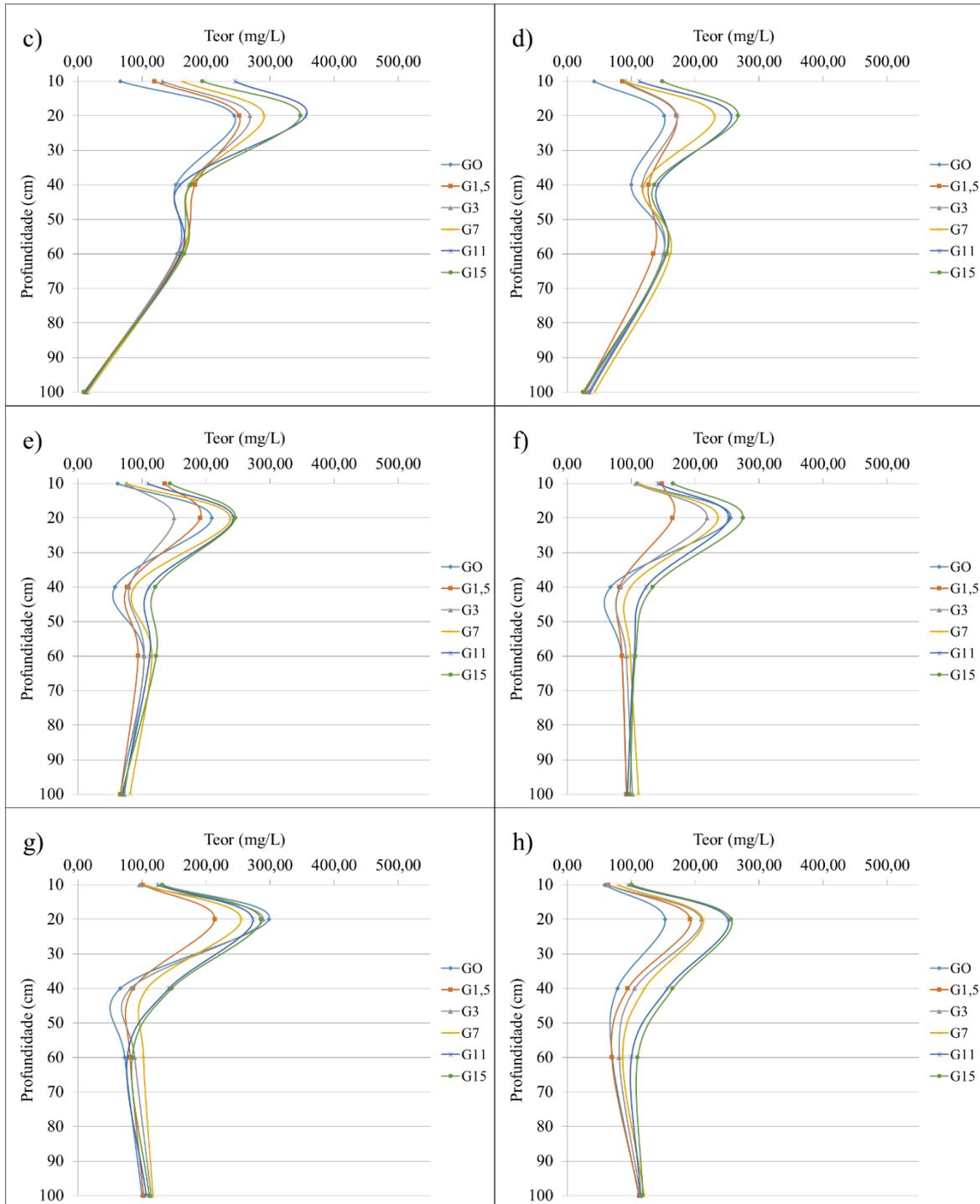
corroboram com o trabalho de Assis (2019), que ao analisar o solo deste trabalho após os 516 dias de lixiviação verificou que os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram encontrados nos tratamentos com as doses de gesso até 0,4 m, sendo que abaixo desta camada não houve diferença estatística entre os resultados

Conforme observado na figura 5, não foi constatada lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$  em decorrência das doses de gesso na profundidade de 1,0 m, indicando que o tempo e os volumes de água aplicados não foram suficientes para o deslocamento desse elemento na maior profundidade avaliada. Entretanto outros autores verificaram que altas doses de gesso podem causar lixiviação em grande profundidade. Toma et al. (1999), por exemplo, constataram lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$  a 1,2 m de profundidade em solo caulínico após 16 anos da aplicação de 35 t de gesso. Além disso, Pauletti et al. (2014) avaliando a aplicação de gesso em área de plantio direto em 2 períodos (36 e 72 meses após a aplicação), constataram incremento de  $\text{Ca}^{2+}$  até 1,0 m de profundidade, sendo que os maiores teores foram encontrados aos 72 meses após a aplicação do gesso.

A lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil do solo após a aplicação de gesso se deve a formação do par iônico de carga zero  $\text{CaSO}_4^0$  que impede a ligação do  $\text{Ca}^{2+}$  as cargas negativas do solo, facilitando a descida para camadas mais profundas (COSTA, 2011). A lixiviação desse elemento depende das doses de gesso aplicadas, das características químicas e físicas do solo, bem como da lâmina de água infiltrada ao longo do perfil (NEIS et al., 2010).

Figura 5: Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  disponíveis nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.





Fonte: Do autor, 2020.

Os teores de  $Mg^{2+}$  estão apresentados na tabela 4 e figura 6. Observando-se os dados apresentado na tabela 4 pode-se dizer que na profundidade de 0,1 m com as doses acima de 3 t  $ha^{-1}$  os teores de  $Mg^{2+}$  foram menores ou iguais ao controle a partir da coleta 6. Para a profundidade de 0,2 m os teores com as maiores doses (G11 e G15) foram maiores que o controle entre as coletas 1 e 3 e na coleta 8 (tabela 4), nas demais coletas os teores com essas

doses foram iguais ou menores que o controle. Além disso, para as profundidades de 0,4 e 0,6 m os teores de  $Mg^{2+}$  foram maiores que o controle com as doses acima de  $7 \text{ t ha}^{-1}$  a partir da coleta 3 e 5 respectivamente (tabela 4). Esses resultados indicam lixiviação deste elemento das camadas superficiais do solo, que receberam correção com oxido de  $Mg^{2+}$ , para camadas mais profundas que não receberam essa correção.

TABELA 4: Teores de  $Mg^{2+}$  disponíveis no lixiviado das 8 coletas avaliadas.

Profundidade (m)	Teores disponíveis no lixiviado					
	G0	G1,5	G3	G7	G11	G15
1ª coleta						
0,10	60,07 b C	48,14 a C	56,52 b C	81,84 c D	75,20 c D	76,02 c D
0,20	78,25 a D	108,34 c E	99,58 b E	102,27 b E	118,67 d E	123,05 d E
0,40	71,45 c D	75,49 c D	63,85 b D	62,83 b C	66,52 b C	56,51 a C
0,60	22,92 b B	24,82 b B	16,71 a B	12,58 a B	13,02 a B	19,29 b B
1,00	2,49 a A	2,99 a A	2,22 a A	2,78 a A	2,08 a A	2,08 a A
2ª coleta						
0,10	84,4 a E	78,08 a C	86,92 a D	102,33 b D	103,95 b D	91,48 a D
0,20	71,19 a D	80,89 a C	77,42 a C	79,97 a C	108,02 b D	102,10 b D
0,40	67,61 a C	74,00 a C	69,94 a C	71,74 a C	73,65 a C	70,39 a C
0,60	49,38 a B	55,3 a B	46,97 a B	46,12 a B	51,48 a B	54,6 a B
1,00	4,22 a A	4,02 a A	5,87 a A	4,84 a A	2,66 a A	3,35 a A
3ª coleta						
0,10	22,61 a A	35,52 a B	40,31 a B	34,21 a B	40,52 a B	33,38 a B
0,20	74,10 a C	77,24 a C	81,59 a D	83,86 a D	106,84 b D	99,99 b D
0,40	51,95 a B	67,38 b C	67,33 b C	67,99 b C	70,08 b C	71,80 b C
0,60	77,26 a C	76,15 a C	82,96 a D	85,65 a D	81,37 a C	79,89 a C
1,00	12,12 a A	11,98 a A	12,66 a A	16,58 a A	14,14 a A	9,44 a A
4ª coleta						
0,10	13,25 a A	23,97 a A	20,56 a A	15,63 a A	15,69 a A	24,2 a A
0,20	59,61 a C	49,51 a B	57,79 a C	59,37 a C	58,97 a C	69,55 a B
0,40	27,74 a B	41,91 b B	43,7 b B	47,82 b B	52,49 b C	54,09 b B
0,60	58,82 a C	54,45 a B	62,98 a C	71,56 a C	68,93 a C	69,33 a B
1,00	33,06 a B	31,34 a A	28,88 a A	40,44 a B	37,67 a B	26,34 a A
5ª coleta						
0,10	20,42 a A	37,36 b A	18,42 a A	18,17 a A	15,69 a A	20,20 a A
0,20	68,69 b D	50,31 a B	44,28 a B	62,51 b B	62,68 b C	57,79 b C
0,40	17,49 a A	27,95 a A	30,04 a A	33,74 b C	39,98 b B	41,74 b B
0,60	32,72 a B	35,69 a A	40,64 a B	48,22 b D	47,76 b B	51,64 b C
1,00	51,02 a C	50,28 a B	52,75 a B	59,06 a D	50,08 a B	54,27 a C
6ª coleta						
0,10	38,90 b B	53,00 c B	28,77 a A	23,22 a A	24,56 a A	31,46 a A
0,20	82,20 c D	46,83 a B	52,32 a B	53,90 a C	61,85 b C	62,45 b C

0,40	19,75 a A	28,93 b A	28,88 b A	35,01 c B	41,10 c B	38,92 c B
0,60	26,54 a A	30,88 a A	35,23 a A	39,71 b B	41,01 b B	45,73 b B
1,00	61,08 a C	59,30 a C	64,30 a C	67,26 a D	60,61 a C	65,08 a C
7 <sup>a</sup> coleta						
0,10	44,97 c B	31,83 b A	25,02 a A	20,35 a A	18,33 a A	18,94 a A
0,20	80,05 b D	63,00 a B	87,03 b C	59,89 a C	63,87 a C	63,04 a C
0,40	20,33 a A	30,64 a A	28,78 a A	36,76 b B	45,02 b B	41,00 b B
0,60	22,69 a A	28,83 a A	33,81 b A	40,82 b B	28,33 a A	35,60 b B
1,00	60,19 a C	60,00 a B	65,66 a B	65,41 a C	63,23 a C	68,32 a C
8 <sup>a</sup> coleta						
0,10	15,72 a A	18,89 a A	15,43 a A	15,19 a A	15,37 a A	13,04 a A
0,20	44,55 a C	62,04 b C	47,95 a C	46,07 a C	57,25 b D	53,84 b C
0,40	24,89 a B	33,29 b B	35,81 c B	38,26 c B	44,60 d C	41,91 d B
0,60	21,94 a B	24,49 a A	32,11 b B	33,93 b B	36,04 b B	40,59 b B
1,00	61,15 a D	59,99 a C	59,98 a D	61,64 a D	62,77 a D	66,68 a D

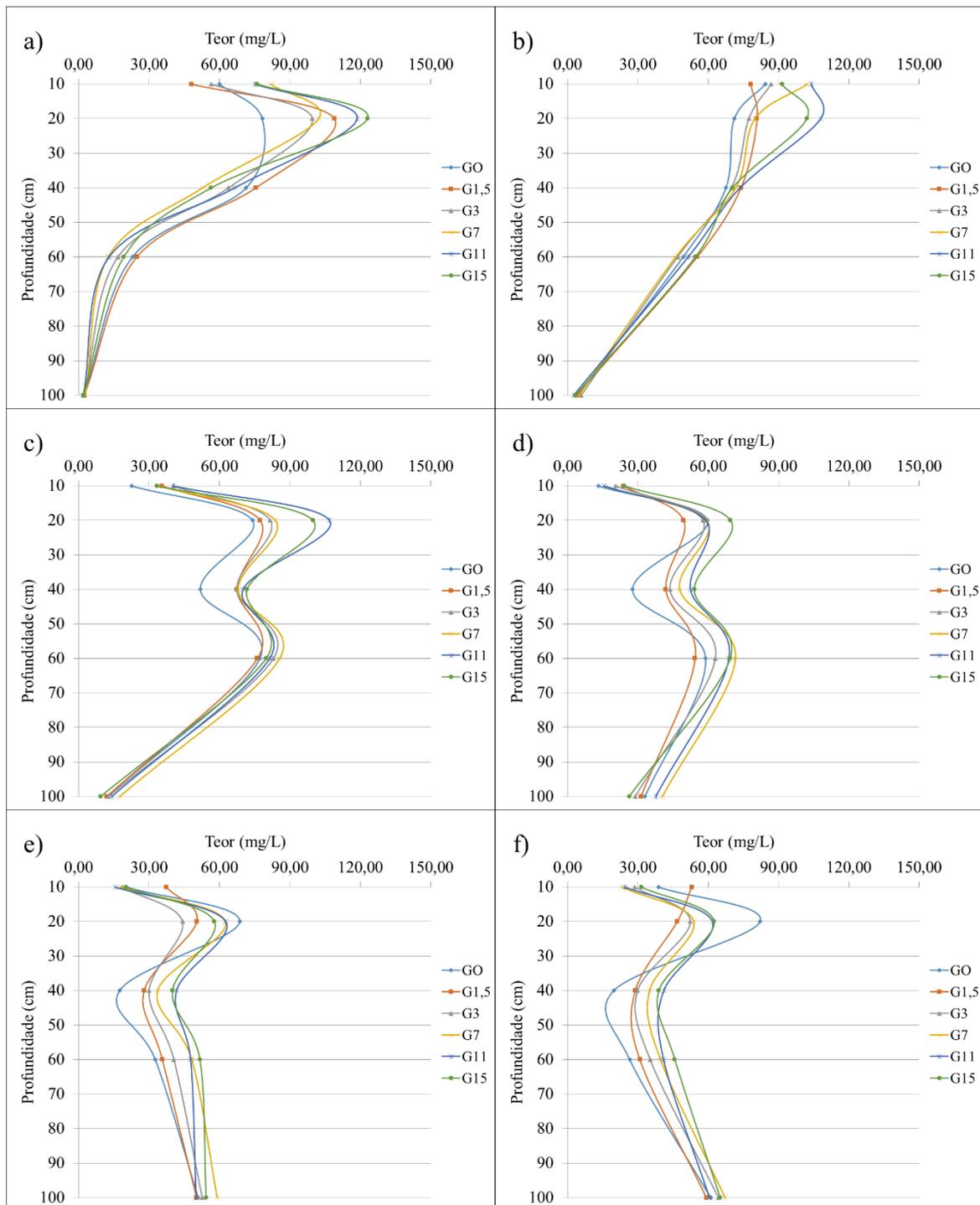
Letras iguais minúsculas, na linha, e maiúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott knott a 0,05 de significância. \* Variáveis determinadas no solo, com os seguintes coeficientes de variação: 1<sup>a</sup> coleta CV=8,44%, 2<sup>a</sup> coleta CV=12,48%, 3<sup>a</sup> coleta CV=14,14%, 4<sup>a</sup> coleta CV=21,32%, 5<sup>a</sup> coleta CV=17,52%, 6<sup>a</sup> coleta CV=11,12%, 7<sup>a</sup> coleta CV=15,57%, 8<sup>a</sup> coleta CV=10,54%.

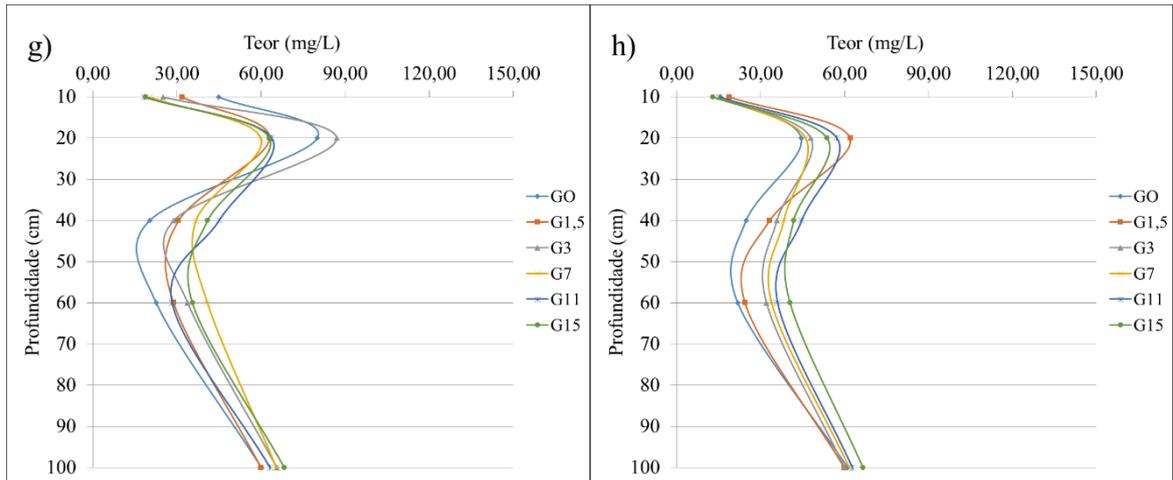
Conforme observado na figura 6, na profundidade de 1,0 m assim como para o Ca<sup>2+</sup> não foi observada lixiviação de Mg<sup>2+</sup> em decorrência do efeito das doses de gesso. Resultados similares foram encontrados por Lima et al., (2013). Esses autores verificaram que a aplicação de gesso proporcionou uma diminuição dos teores de Mg<sup>2+</sup> nas camadas superficiais do solo e consequentemente aumento desses teores nas camadas mais profundas. Muitos outros autores relatam a lixiviação de Mg<sup>2+</sup> em decorrência da aplicação de gesso agrícola (NAVA et al.; 2012.; RAMOS et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2014; FERRAZ et al., 2017). No trabalho de Assis (2019), o autor constatou um aumento significativo de Mg<sup>2+</sup> na camada de 0,4 m em decorrência da aplicação da maior dose de gesso (G15), entretanto o autor não observou diferenças estatísticas entre os resultados a partir de 0,6 m.

A movimentação de Mg<sup>2+</sup> no perfil após a aplicação de gesso pode ocorrer por 2 motivos, sendo um deles a competição com o Ca<sup>2+</sup> pelas cargas negativas do solo (ZAMBROSI et al., 2007) e o outro a formação de um par iônico de carga neutra MgSO<sub>4</sub><sup>0</sup> (COSTA, 2011). Ademais, essa movimentação pode se tornar mais pronunciada, pois, a preferência de ligação de cátions com íons de carga oposta é dependente da relação carga/raio, sendo que quanto maior a relação carga/raio mais acentuada será sua ligação com íons de carga oposta (MAHAN, 2003), tem-se que o raio iônico e a carga das bases do solo

segue a seguinte ordem  $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ , sendo assim, a ordem de preferência na formação de compostos de carga 0 com o  $SO_4^{2-}$  advindo do gesso é:  $MgSO_4^0 > CaSO_4^0 > K_2SO_4^0$  gerando uma maior percolação de  $Mg^{2+}$  no perfil do solo (RAMOS et al., 2013).

Figura 6: Teores de  $Mg^{2+}$  disponíveis nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.





Fonte: Do autor, 2020.

A tabela 5 e figura 7 representam os teores de  $K^+$  ao longo das coletas. Através dos dados presente na tabela 5, os teores de  $K^+$ , na profundidade de 0,2 m foram maiores com as doses de gesso na 1ª coleta, sendo que na 2ª coleta os maiores teores do elemento foram averiguados com as maiores doses de gesso (G11 e G15). Além disso, verificou-se que o tratamento controle foi superior entre as coletas 5 e 7 (tabela 5). Esses resultados indicam percolação do elemento para camadas inferiores.

TABELA 5: Teores de  $K^+$  disponíveis no lixiviado das 8 coletas avaliadas.

Profundidade (m)	Teores disponíveis no lixiviado					
	G0	G1,5	G3	G7	G11	G15
1ª coleta						
0,10	80,58 b D	74,61 a D	73,10 a D	109,51 d D	92,84 c D	87,06 b D
0,20	118,56 a E	133,85 b E	128,05 b E	130,16 b E	143,21 c E	148,3 c E
0,40	65,30 a C	58,05 a C	56,62 a C	57,60 a C	53,76 a C	51,04 a C
0,60	16,29 a B	16,70 a B	14,67 a B	13,81 a B	13,16 a B	14,50 a B
1,00	3,94 a A	3,45 a A	3,52 a A	3,95 a A	3,04 a A	3,89 a A
2ª coleta						
0,10	82,37 a D	81,16 a D	87,88 a D	102,19 b D	110,00 b D	90,49 a D
0,20	94,16 a E	100,56 a E	104,36 a E	102,21 a D	118,15 b D	123,46 b E
0,40	66,29 a C	69,31 a C	66,93 a C	67,99 a C	66,79 a C	64,62 a C
0,60	29,26 a B	31,98 a B	26,86 a B	25,66 a B	28,11 a B	31,86 a B
1,00	4,75 a A	4,80 a A	5,39 a A	6,04 a A	4,87 a A	4,94 a A
3ª coleta						
0,10	30,68 a B	42,65 b B	45,66 b B	39,12 a B	47,02 b B	35,87 a B
0,20	97,76 b E	82,65 a D	89,05 a D	86,29 a D	98,19 b D	100,10 b E
0,40	57,27 a D	65,23 a C	67,63 a C	64,00 a C	66,53 a C	65,57 a D

0,60	46,61 a C	49,23 a B	48,48 a B	46,58 a B	45,79 a B	48,97 a C
1,00	5,69 a A	5,56 a A	6,64 a A	7,65 a A	5,78 a A	5,74 a A
4ª coleta						
0,10	20,26 a A	26,63 a B	27,9 a B	24,72 a B	27,1 a B	25,09 a B
0,20	71,37 a D	67,37 a D	61,82 a D	69,03 a D	64,50 a D	70,49 a D
0,40	41,36 a B	51,75 a C	51,35 a C	50,31 a C	52,7 a C	51,47 a C
0,60	53,39 a C	51,32 a C	52,97 a C	55,08 a C	52,86 a C	54,89 a C
1,00	10,6 a A	11,23 a A	12,36 a A	12,21 a A	11,86 a A	9,54 a A
5ª coleta						
0,10	24,42 a A	34,73 b B	21,81 a A	22,64 a A	25,31 a A	24,46 a A
0,20	77,11 b B	60,73 a D	64,77 a C	65,29 a D	66,69 a C	63,34 a C
0,40	34,76 a B	43,94 a C	45,22 a B	43,42 a B	47,74 a B	44,30 a B
0,60	48,88 a C	49,02 a C	51,91 a B	53,59 a C	50,27 a B	53,19 a B
1,00	17,36 a A	17,78 a A	19,04 a A	21,4 a A	18,53 a A	17,46 a A
6ª coleta						
0,10	43,25 b C	48,96 b B	31,59 a A	30,29 a A	39,55 b B	34,60 a B
0,20	74,99 b D	64,78 a C	71,84 b C	61,91 a C	65,14 a C	64,71 a D
0,40	36,60 a B	45,25 a B	45,44 a B	44,07 a B	47,15 a B	44,94 a C
0,60	47,11 a C	46,99 a B	50,53 a B	49,63 a B	47,23 a B	49,16 a C
1,00	25,35 a A	24,00 a A	27,48 a A	30,63 a A	27,74 a A	24,16 a A
7ª coleta						
0,10	43,95 b B	33,36 b A	26,19 a A	25,12 a A	23,85 a A	22,72 a A
0,20	97,85 c C	63,04 a C	81,02 b C	60,70 a C	63,75 a C	62,79 a C
0,40	35,24 a B	44,21 a B	43,61 a B	41,40 a B	47,76 a B	43,00 a B
0,60	40,49 a B	44,47 b B	49,20 b B	50,61 b C	31,64 a A	37,01 a B
1,00	24,52 a A	25,90 a A	28,61 a A	30,06 a A	26,86 a A	27,00 a A
8ª coleta						
0,10	20,68 a A	20,93 a A	17,65 a A	18,90 a A	22,05 a A	16,65 a A
0,20	59,15 b C	58,19 b C	58,33 b D	49,04 a C	39,05 a B	52,76 b C
0,40	35,09 a B	42,73 a B	43,15 a C	42,60 a C	43,79 a B	41,51 a C
0,60	40,19 a B	38,42 a B	43,44 a C	42,21 a C	41,47 a B	42,12 a C
1,00	27,56 a A	28,85 a A	29,94 a B	32,63 a B	29,76 a A	29,35 a B

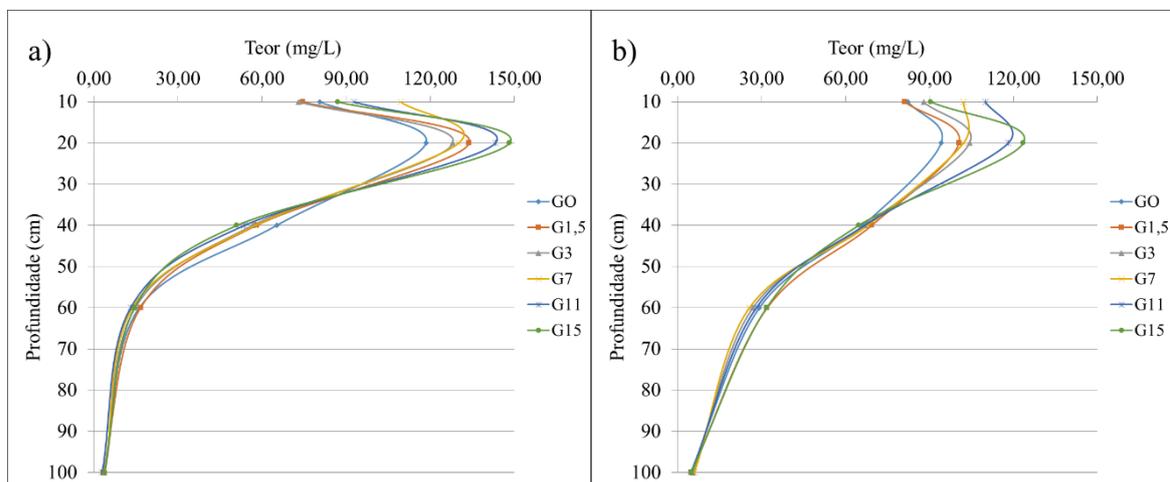
Letras iguais minúsculas, na linha, e maiúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott Knott a 0,05 de significância. \* Variáveis determinadas no solo, com os seguintes coeficientes de variação: 1ª coleta CV=8,89%, 2ª coleta CV=11,04%, 3ª coleta CV=11,58%, 4ª coleta CV=14,67%, 5ª coleta CV=13,34%, 6ª coleta CV=10,99%, 7ª coleta CV=16,30%, 8ª coleta CV=16,60%.

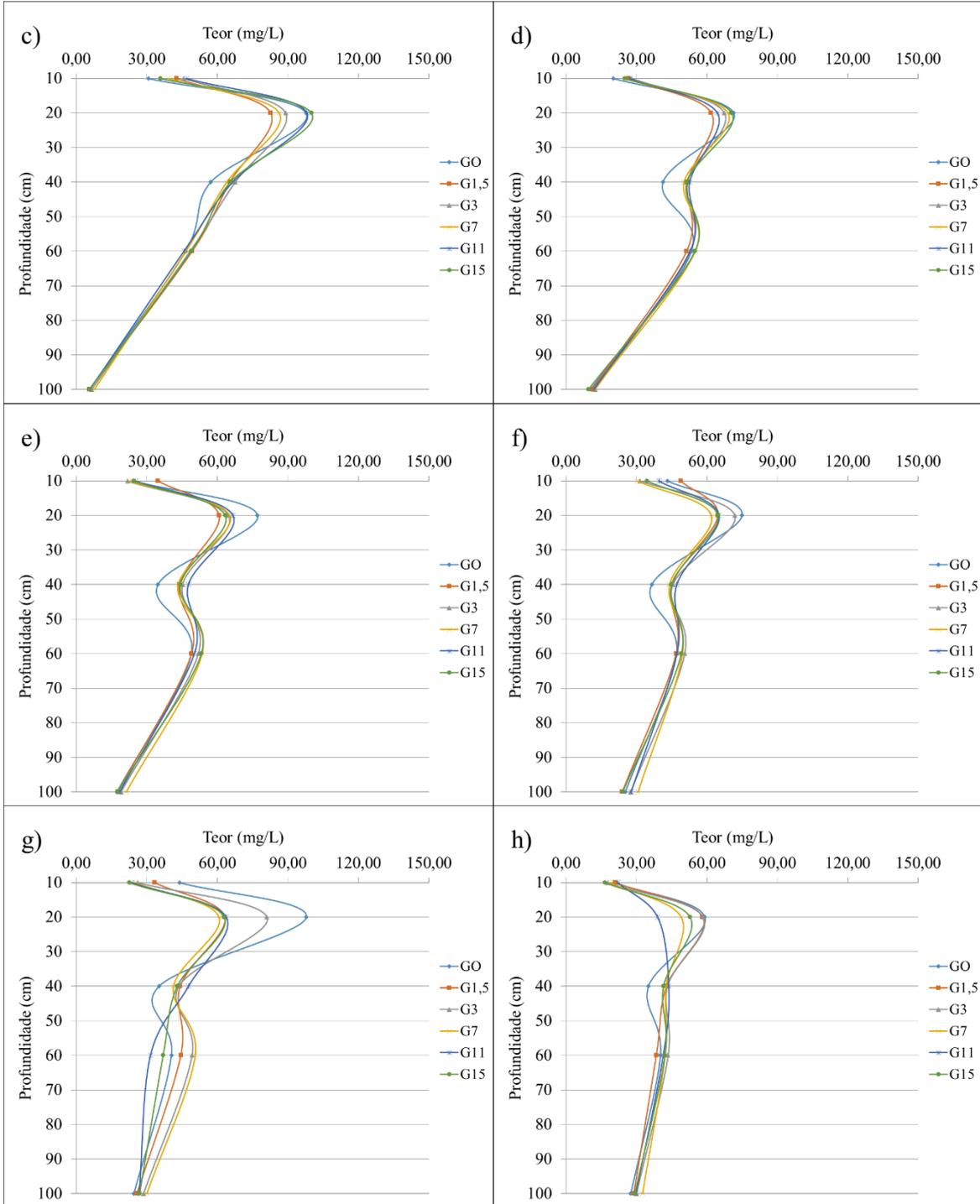
Porém, a partir de 0,4 m como pode ser observado na figura 7 não foram constatadas diferenças significativas entre os resultados, apesar de observar-se pequenos incrementos nos teores de  $K^+$  com as doses de gesso.

Nas análises do solo feitas por Assis (2019), tal fato é comprovado com o autor relando um aumento considerável nos teores de  $K^+$  na profundidade de 0,38-0,4 m nos tratamentos G15, G11 e G7 sendo os valores maiores na mesma ordem descrita. Assim como para o  $Mg^{2+}$ , o  $Ca^{2+}$  proveniente do gesso pode deslocar o  $K^+$  dos sítios de ligação dos colóides do solo favorecendo a formação do par iônico  $K_2SO_4^0$  e a movimentação desse elemento no perfil (SERAFIM et al., 2012).

Apesar disso, outros autores não verificaram lixiviação de  $K^+$  em decorrência da aplicação de gesso (MICHALOVICZ et al., 2014; ZAMBROZI et al., 2008), em trabalhos feitos por Crusciol (2016) avaliando o perfil do solo 3 meses após a aplicação de gesso agrícola o autor não verificou influência do gesso sob os teores de  $K^+$ . Tal fato pode ser explicado pela baixa formação do par iônico  $K_2SO_4^0$  (ZAMBROZI et al., 2008), Nava (2012) explica que quando a concentração de  $K^+$  é baixa em relação a concentração das demais bases ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ), o  $SO_4^{2-}$  proveniente do gesso não vai se ligar ao  $K^+$  devido a competição de cátions.

Figura 7: Teores de  $K^+$  disponíveis nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.





Fonte: Do autor, 2020.

#### 4.4 Teores de enxofre (S) nos lixiviados

Os teores de enxofre ao longo das colunas, durante as coletas estão representados na tabela 6 e figura 8. De acordo com os dados presentes na tabela 6, verifica-se que os teores de S foram maiores com as doses de gesso em todas as coletas analisadas até 0,2 m com a exceção da coleta 7 onde o controle se equiparou a menor dose de gesso (G1,5). A partir da coleta 6 na profundidade de 0,4 m houve um significativo aumento nos teores de S para os tratamentos com as maiores doses de gesso (G7, G11 e G15). Conforme se verifica na figura 8, nas profundidades de 0,6 e 1,0 m não houve incremento nos teores de S em decorrência do gesso aplicado, o que indica que este nutriente ainda não desceu para essas camadas mais inferiores nas condições do presente estudo.

Nos estudos de Assis (2019), com o solo após as coletas de lixiviado, o autor relata um aumento no teor de sulfato até 0,4 m de profundidade corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho. Além disso, Caires et al. (2003) obtiveram resultados similares avaliando o perfil de um solo após 8 meses da aplicação de gesso, os autores observaram que após 0,4 m a aplicação de gesso não influenciou nos teores de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Contudo, outros autores relatam a movimentação de  $\text{SO}_4^{2-}$  para camadas mais profundas do subsolo. Michalovicz et al. (2014), por exemplo, verificaram aumento do teor do elemento até 0,6 m em detrimento da aplicação de gesso. Os autores relataram que um dos principais motivos é a alta concentração de enxofre na composição do gesso (14%). Ferraz (2017) constatou aumento no teor de  $\text{SO}_4^{2-}$  até 2,35 m em detrimento de altas doses de gesso (até 56 t/ha). Assim como para o  $\text{Ca}^{2+}$  a movimentação de S no perfil se deve as doses de gesso aplicadas, das características químicas e físicas do solo, bem como da lâmina de água infiltrada ao longo do perfil (RAIJ, 2008), isso indica que o tempo e a quantidade de água aplicada não foram suficientes para movimentação de S abaixo de 0,4 m.

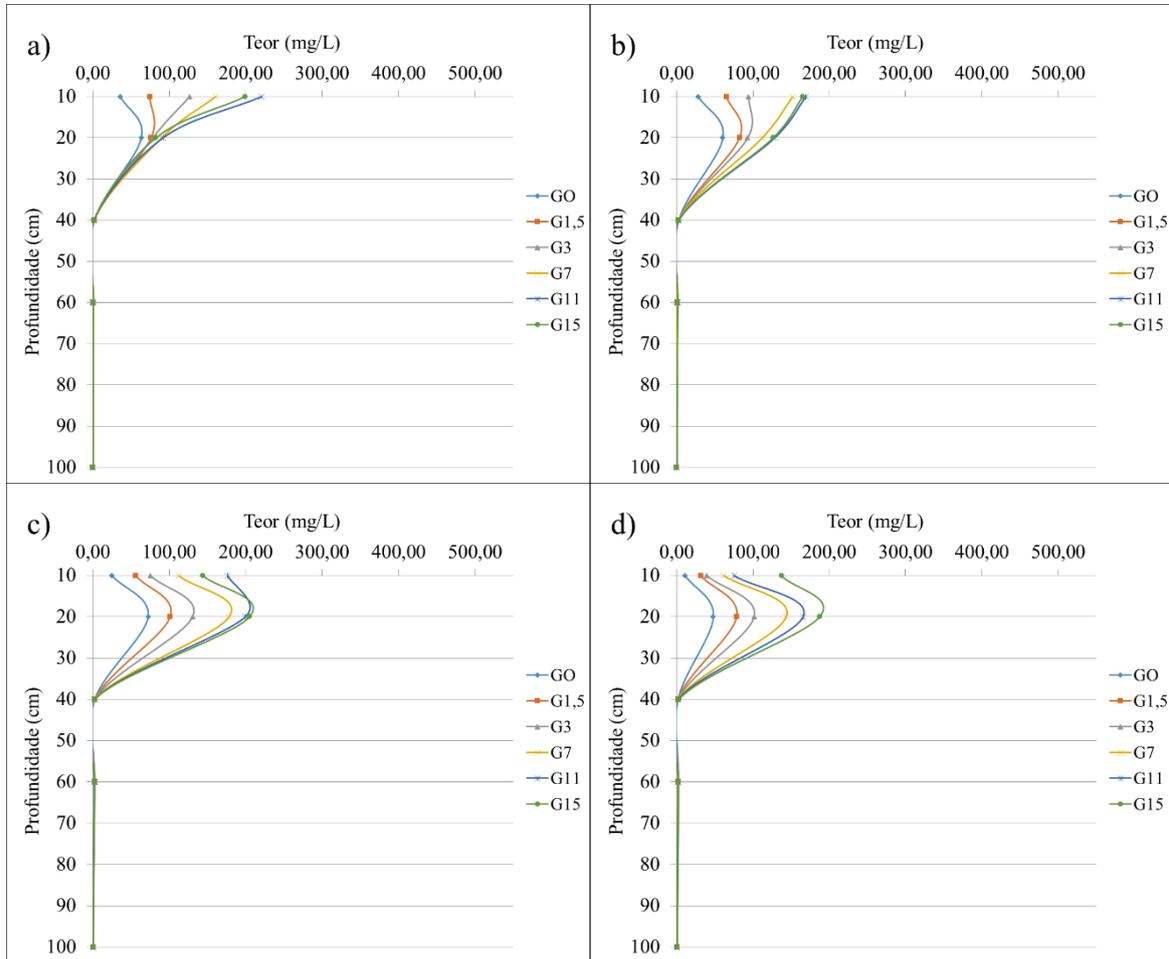
TABELA 6: Teores de S disponíveis no lixiviado das 8 coletas avaliadas.

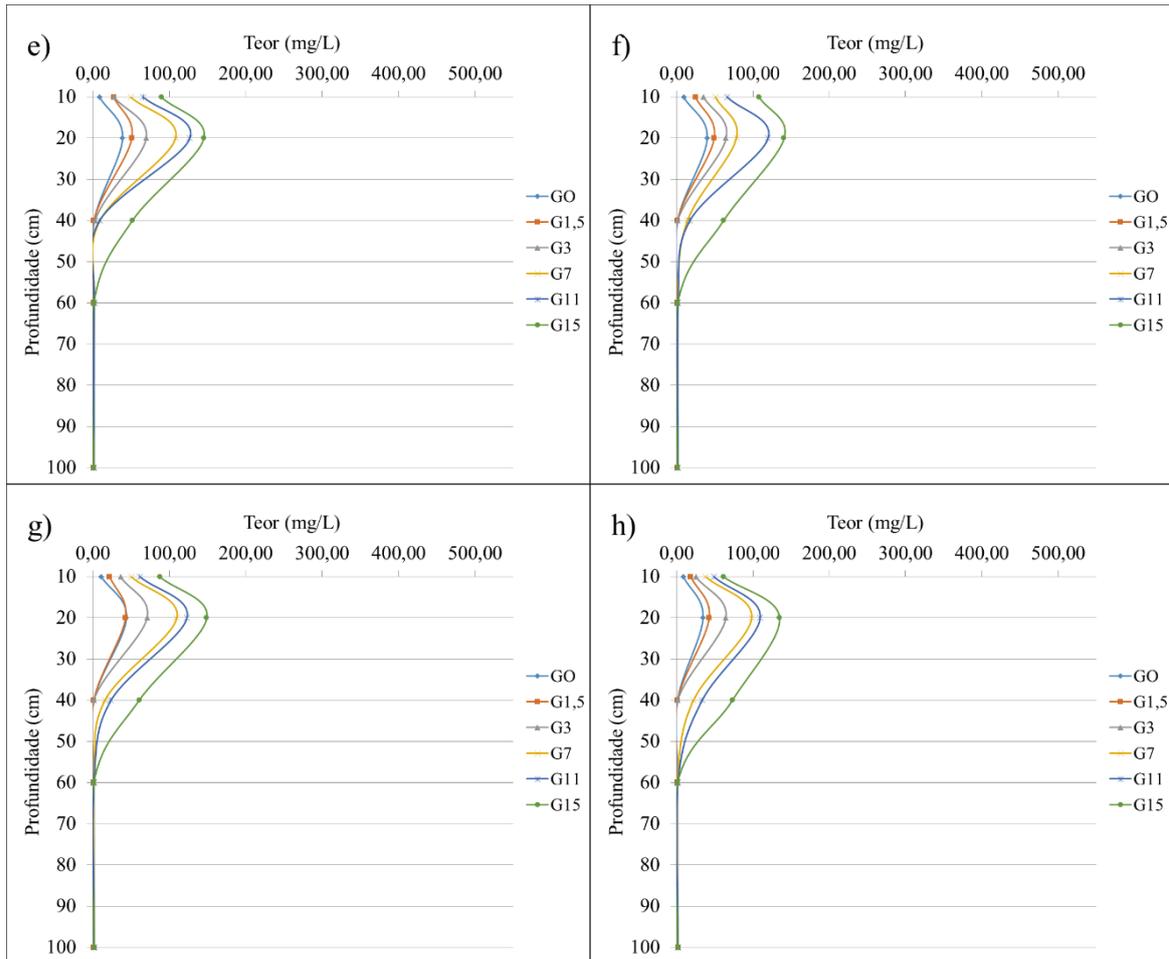
Profundidade (m)	Teores disponíveis no lixiviado					
	G0	G1,5	G3	G7	G11	G15
1ª coleta						
0,10	36,12 a B	74,36 b B	126,78 c C	160,27 d C	221,11 f C	199,36 e C
0,20	63,33 a C	76,08 b B	78,58 b B	89,84 d B	92,11 d B	82,35 c B
0,40	2,22 a A	2,08 a A	1,89 a A	1,84 a A	1,73 a A	1,56 a A
0,60	0,38 a A	0,28 a A	0,34 a A	0,19 a A	0,22 a A	0,21 a A
1,00	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A	0,00 a A
2ª coleta						
0,10	28,4 a B	65,42 b B	94,01 c B	151,97 d C	169,34 d C	165,36 d C
0,20	60,47 a C	82,7 b C	92,97 b B	112,09 c B	128,38 c B	126,44 c B

0,40	2,73 a A	2,91 a A	2,72 a A	2,77 a A	2,80 a A	2,62 a A
0,60	1,23 a A	1,53 a A	1,12 a A	1,13 a A	1,31 a A	1,42 a A
1,00	0,18 a A	0,15 a A	0,19 a A	0,16 a A	0,20 a A	0,17 a A
3ª coleta						
0,10	25,10 a B	56,10 b B	75,50 c B	112,24 d B	176,73 f B	144,20 e B
0,20	72,54 a C	100,82 b C	130,48 c C	178,02 d C	199,42 e C	205,05 e C
0,40	2,49 a A	2,61 a A	2,57 a A	2,50 a A	2,49 a A	2,55 a A
0,60	2,36 a A	2,42 a A	2,40 a A	2,37 a A	2,37 a A	2,37 a A
1,00	0,39 a A	0,37 a A	0,44 a A	0,45 a A	0,48 a A	0,36 a A
4ª coleta						
0,10	10,96 a A	31,59 b B	39,69 b B	61,69 c B	75,17 d B	137,58 e B
0,20	47,93 a B	78,74 b C	101,53 c C	143,45 d C	165,82 e C	187,61 f C
0,40	1,68 a A	1,71 a A	1,73 a A	1,73 a A	2,11 a A	3,07 a A
0,60	2,23 a A	1,94 a A	2,17 a A	2,25 a A	2,15 a A	2,14 a A
1,00	0,59 a A	0,59 a A	0,70 a A	0,76 a A	0,72 a A	0,55 a A
5ª coleta						
0,10	8,61 a A	27,49 b B	27,59 b B	49,45 c B	65,8 d B	89,79 e C
0,20	38,9 a B	51,14 b C	69,92 c C	08,36 d C	126,78 e C	145,51 f D
0,40	1,68 a A	1,27 a A	2,69 a A	9,14 a A	8,75 a A	52,03 b B
0,60	1,62 a A	1,45 a A	1,6 a A	1,71 a A	1,69 a A	1,7 a A
1,00	1,1 a A	1,08 a A	1,26 a A	1,28 a A	1,19 a A	1,12 a A
6ª coleta						
0,10	9,33 a A	24,81 b B	35,24 c B	51,09 d C	66,07 e C	107,95 f C
0,20	40,26 a B	49,11 b C	64,63 c C	78,58 d D	119,55 e D	140,64 f D
0,40	1,50 a A	1,28 a A	1,43 a A	14,52 b B	17,16 b B	61,54 c B
0,60	1,62 a A	1,44 a A	1,48 a A	1,56 a A	1,60 a A	1,65 a A
1,00	1,50 a A	1,49 a A	1,63 a A	1,71 a A	1,58 a A	1,52 a A
7ª coleta						
0,10	11,11 a A	22,27 b B	36,29 c B	50,12 d C	61,86 e C	87,63 f C
0,20	43,87 a B	42,69 a C	70,93 b C	109,66 c D	123,26 d D	148,94 e D
0,40	1,24 a A	1,42 a A	1,19 a A	15,83 b B	23,71 b B	60,56 c B
0,60	1,29 a A	1,22 a A	1,35 a A	1,61 a A	1,25 a A	1,35 a A
1,00	1,46 a A	1,60 a A	1,74 a A	1,95 a A	1,65 a A	1,75 a A
8ª coleta						
0,10	9,13 a B	18,84 b B	21,91 b B	35,20 c C	48,98 d C	61,53 e B
0,20	34,52 a C	42,69 b C	64,34 c C	98,43 d D	109,65 e D	135,03 f D
0,40	1,64 a A	1,52 a A	1,55 a A	22,24 b B	33,44 c B	73,22 d C
0,60	1,27 a A	1,14 a A	1,28 a A	1,33 a A	1,52 a A	1,49 a A
1,00	1,66 a A	1,69 a A	1,72 a A	1,77 a A	1,74 a A	1,73 a A

Letras iguais minúsculas, na linha, e maiúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott knott a 0,05 de significância. \* Variáveis determinadas no solo, com os seguintes coeficientes de variação: 1ª coleta CV=9,90%, 2ª coleta CV=23,06%, 3ª coleta CV=13,01%, 4ª coleta CV=19,67%, 5ª coleta CV=17,07%, 6ª coleta CV=17,33%, 7ª coleta CV=19,40%, 8ª coleta CV=10,14%.

Figura 8: Teores de S disponíveis nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.





Fonte: Do autor, 2020.

#### 4.5 Valores de pH e Condutividade Elétrica (CE)

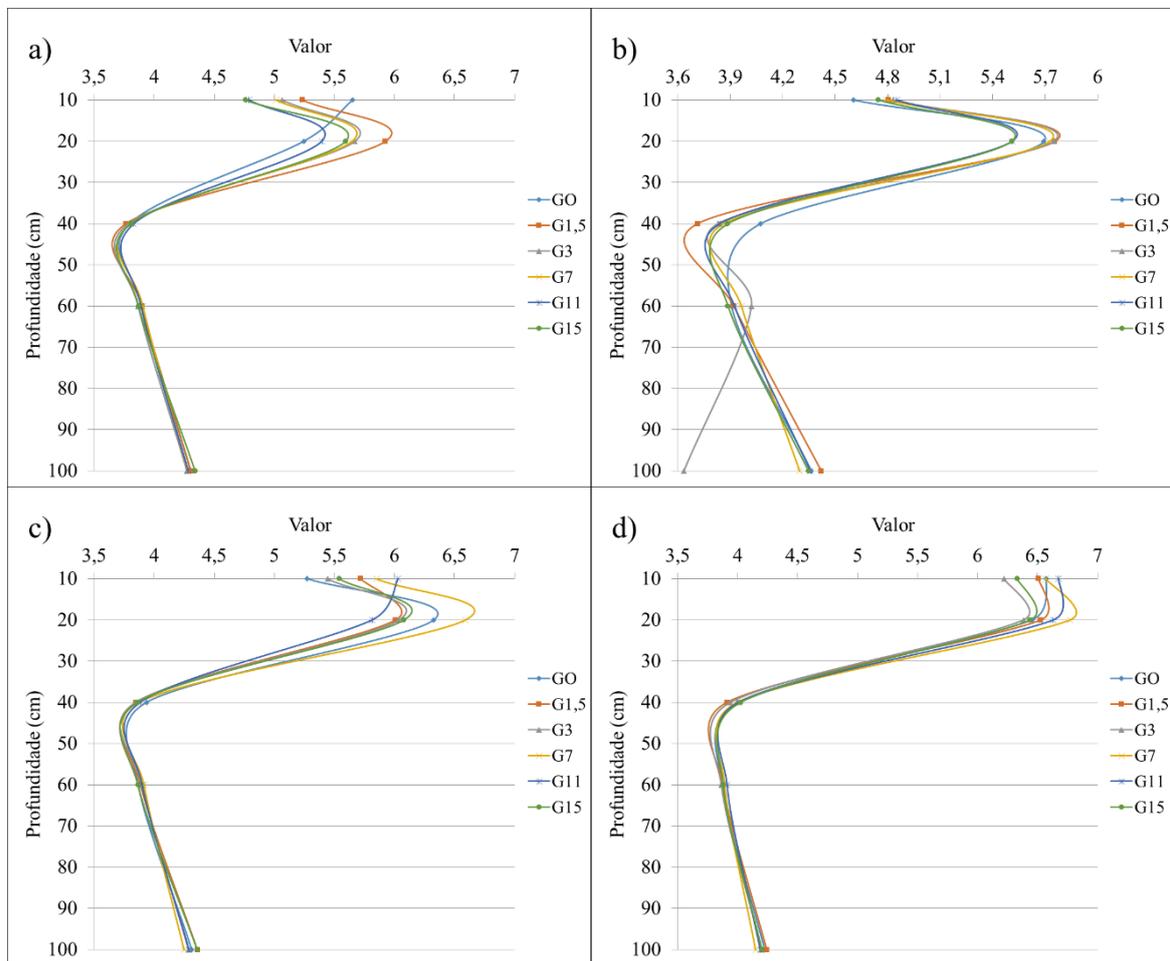
Conforme pode ser observado na figura 9, verificou-se, na primeira coleta, que os valores de pH na profundidade de 0,10 m foram inferiores com o aumento as doses de gesso em relação ao controle, sendo que esses resultados se inverteram entre as coletas 2 e 3. Já, na profundidade de 0,40 m, observou-se uma tendência em aumento no valor de pH a partir da coleta 5 para as doses acima de 7 t ha<sup>-1</sup>. Não foi verificada alteração no pH a partir de 0,6 m.

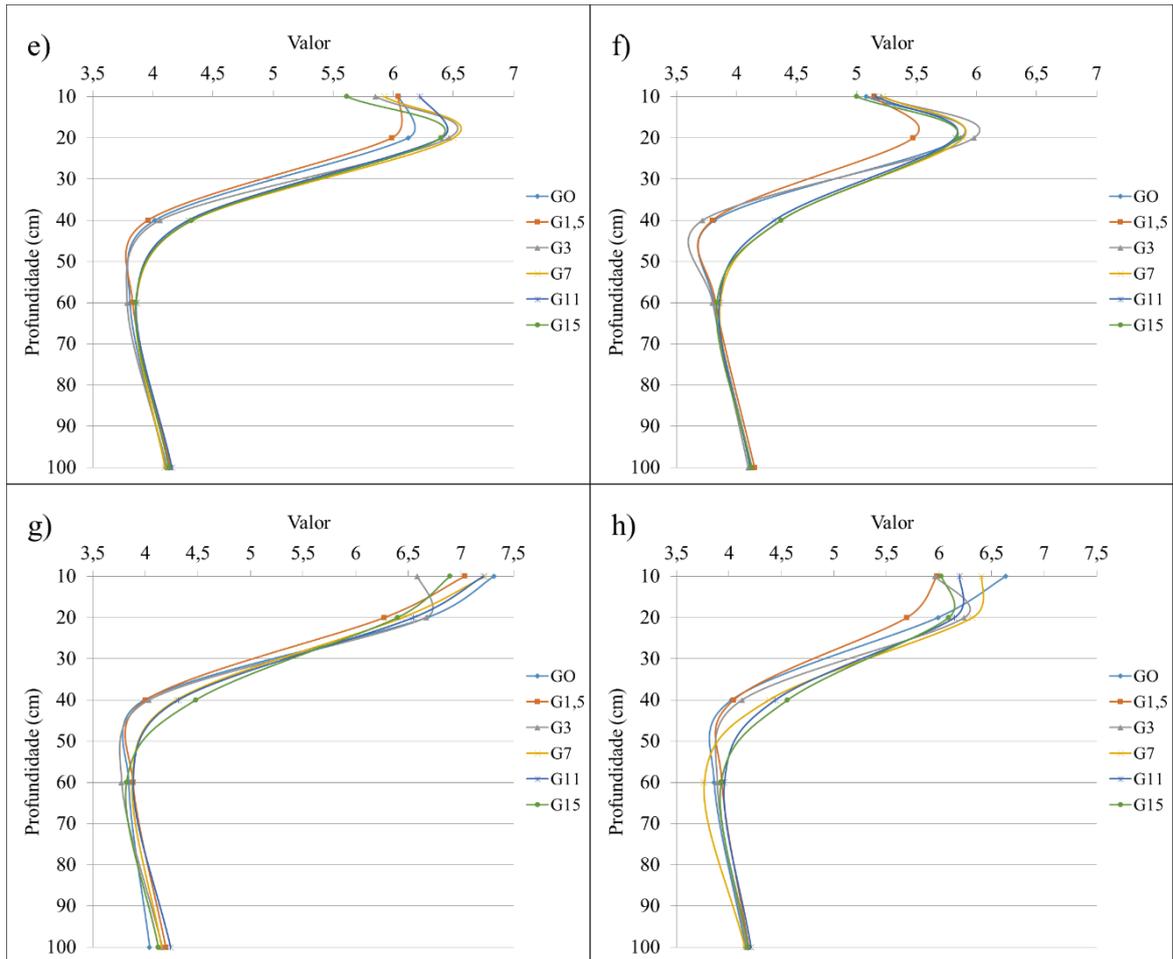
O gesso é um sal neutro e não possui propriedades corretivas de acidez do solo (RAIJ, 2008). Portanto, não influencia diretamente no pH (FERRAZ, 2017). No entanto, quando aplicado no solo o CaSO<sub>4</sub> 2 H<sub>2</sub>O, a molécula é dissociada formando Ca<sup>2+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Esse Ca<sup>2+</sup>, quando em grandes concentrações na solução do solo, pode deslocar o Al<sup>3+</sup> dos sítios negativos que, em contato com a água, é transformado em Al(OH)<sub>3</sub>, liberando H<sup>+</sup>, causando diminuição no pH (ERNANI et al., 2001; CAIRES et al., 2003). Tal fato corrobora com os

resultados aqui encontrados, pois foi justamente na primeira coleta na profundidade de 0,1 m que foram encontrados os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução explicando a diminuição no pH.

Em contrapartida, por reação de substituição o  $\text{SO}_4^{2-}$  tem a capacidade de deslocar o  $\text{OH}^-$  da superfície dos colóides do solo para a solução causando, assim, a neutralização parcial da acidez com a elevação do pH (REEVE e SUMNER, 1972). Tais informações consolidam os resultados aqui encontrados a partir da coleta 5 em 0,4 m, pois foi a partir desta coleta e nessa profundidade que também foram encontrados os maiores teores de S para as maiores doses de gesso (G7, G11 e G15), o que contribuiu para o aumento do pH.

Figura 9: Valores de pH nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.



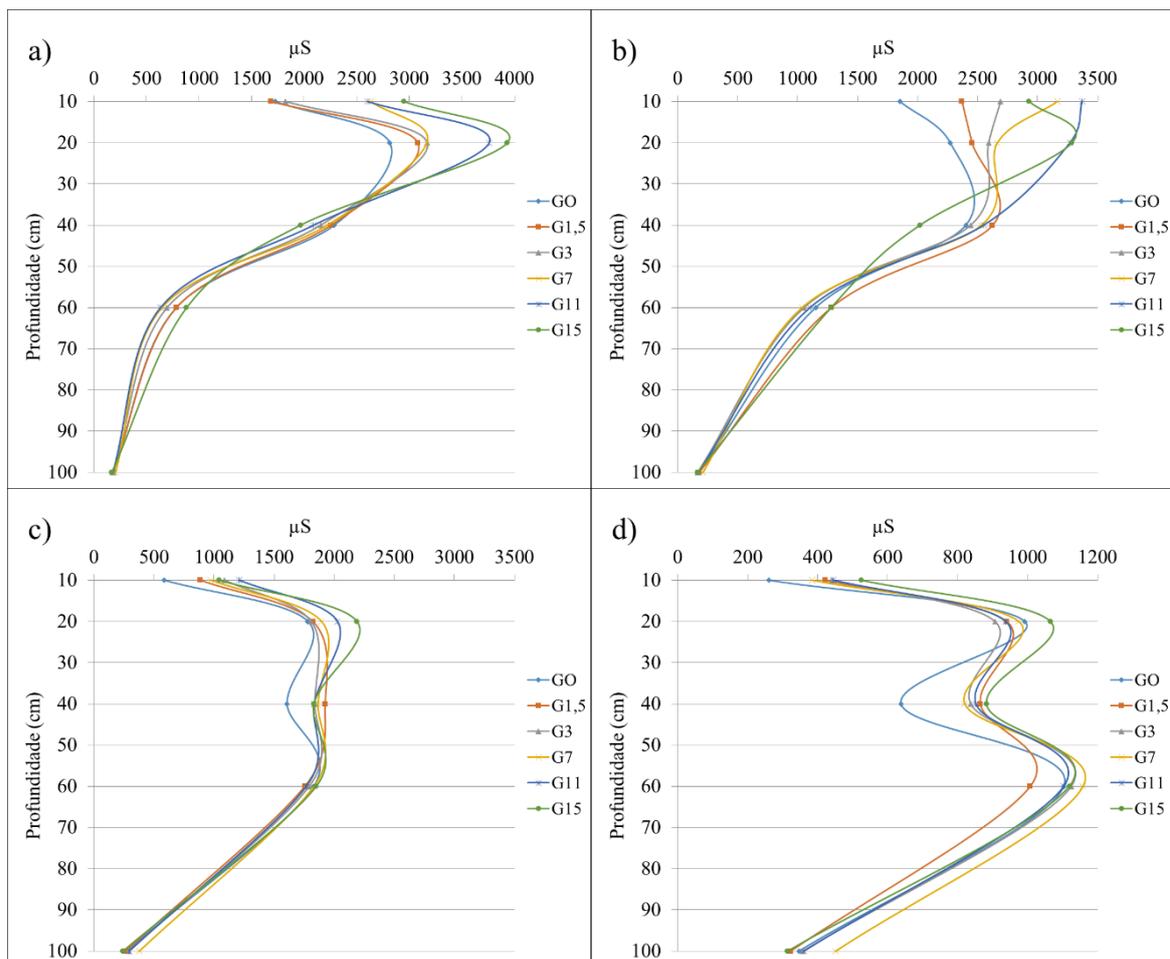


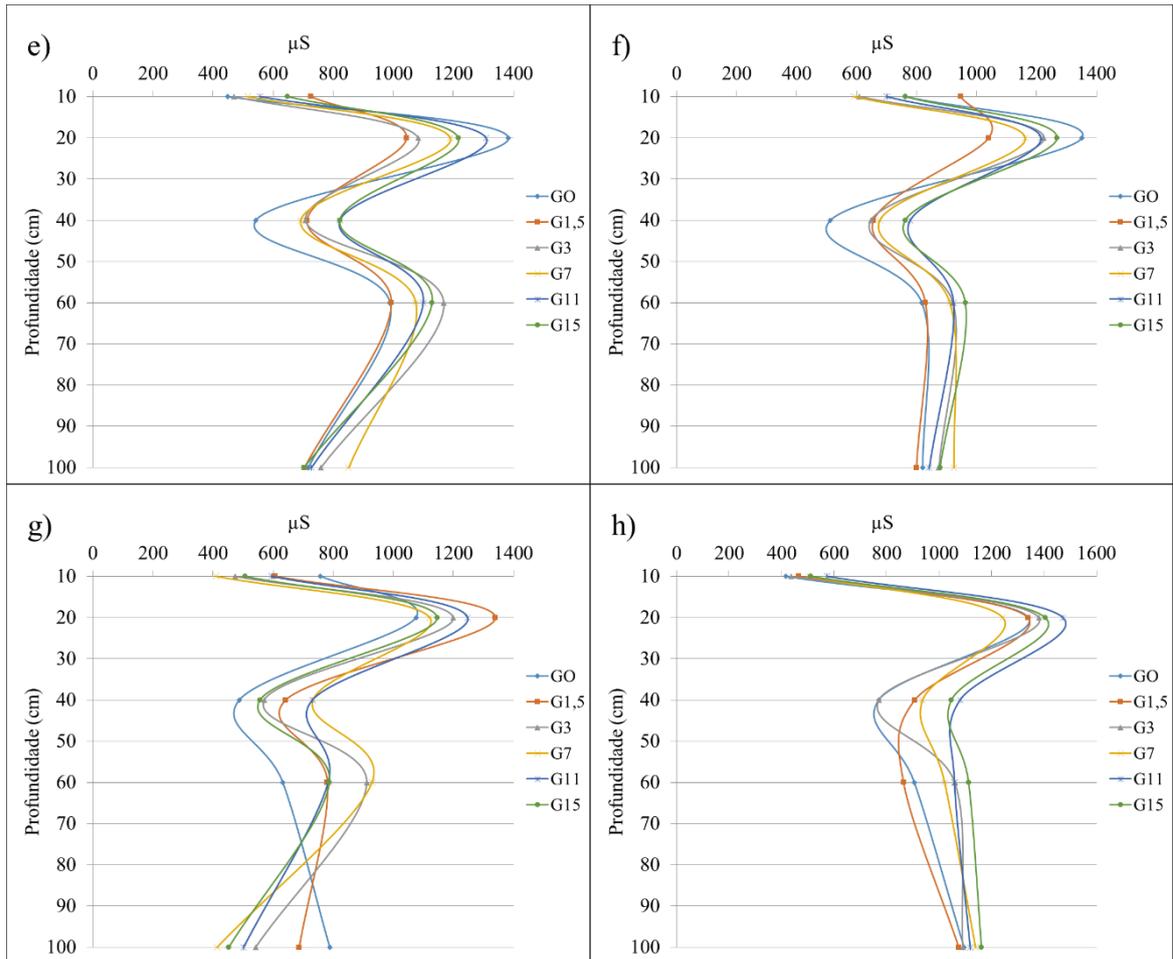
Fonte: Do autor, 2020.

A partir da figura 10 pode-se observar um aparente aumento na CE nas maiores profundidades e uma diminuição deste parâmetro nas menores profundidades ao longo do tempo. Tal fato pode indicar movimentação de íons das camadas superficiais para o subsolo. Vários autores relatam tal movimentação (NAVA et al.; 2012.; RAMOS et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2014).

Nas análises após as lixiviações, feitas por Assis (2019), o autor também relata aumento da condutividade elétrica até a camada de 40 cm, sendo esse aumento explicado pelo maior aporte de cálcio e, principalmente da presença de Mg e K advindos das aplicações por ocasião da incubação das amostras previamente à montagem das colunas.

Figura 10: Valores de CE nos lixiviados das 8 coletas avaliadas. a) 1ª coleta, b) 2ª coleta, c) 3ª coleta, d) 4ª coleta, e) 5ª coleta, f) 6ª coleta, g) 7ª coleta e h) 8ª coleta.





Fonte: Do autor, 2020.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições (características do solo, tempo e quantidade de água aplicada) do presente estudo, a aplicação de gesso causou aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  nos lixiviados coletados até 0,4m.

A velocidade de deslocamento de cálcio foi da ordem de 0,077 a 0,13 cm por dia, dependendo da dose e tempo de amostragem do efluente.

Houve deslocamento do  $\text{Mg}^{2+}$  das camadas superficiais para camada de 0,4 m, nas maiores doses de gesso aplicadas.

Houve aumento dos teores de  $\text{K}^+$  na camada de 0,2 m na 1ª e 2ª coleta de lixiviados em decorrência das doses de gesso, mas, a partir de 0,4 m não houve diferença significativa nos teores de  $\text{K}^+$ .

Foi constatado aumento nos teores de S até a camada de 0,4 m, não havendo diferenças nas camadas mais inferiores.

Os valores de pH tenderam a aumentar com o aumento da dose de gesso até a profundidade de 0,4 m (comparativamente ao tratamento controle).

A CE aumentou nas maiores profundidades com o aumento das coletas dos lixiviados.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, M. B. **“Caracterização química do perfil de Latossolo Vermelho Distrófico submetido a doses de gesso agrícola em colunas de lixiviação”**. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- CAIRES, E.F.; KUSMAM, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.G. & PADILHA, J.M. **"Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso"**. R. Bras. Ci. Solo. 28:125-136, 2004.
- COSTA, C. H. M. **“Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero”**. 2011.80 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- CREMON, C. et al. **“Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico em diferentes sistemas de manejo”**. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, mar. 2009.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. **“Effects of surface application of calcium magnesium Silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield”**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1843-1854, nov./dez. 2014.
- DIAS, L. E. **“Uso de gesso como insumo agrícola”**, Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, Comunicado, p. 1–6. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27132/1/cot007.pdf>. 1992.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [<http://embrapa.br/>]. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160161/1/Producao-agricola-mundial.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [<http://embrapa.br/>]. Disponível em:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Gesso\\_agricolaID-NOjhwGHcyk.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Gesso_agricolaID-NOjhwGHcyk.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [<http://embrapa.br/>]. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>. Acesso em 22 jun. 2020.
- FAO. Food and Agriculture Organization of United Nations. [<http://fao.org/>]. Disponível em: <<http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/522540/>>. Acesso em: 26 mar. 2020.

FERRAZ, R. M. **“Efeitos a longo prazo da aplicação De Altas doses de Latossolo cultivado com café”**. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

LIMA, R. C. et al. **“Modalities for soil preparation and gypsum application in ultisol: system productivity of sugar cane”**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1180-1190, nov./dez. 2013.

LOPES, A. S. **“Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo”**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo, 1983. 162

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **“Fertilidade do solo e produtividade agrícola”**. In: NOVAIS, R. F. N. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

MAHAN, B.M. Química: Um curso universitário. 6.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003. 581p.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. **“Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (Coffea arabica L.) em resposta a calcário e gesso”**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, jan./mar. 1999.

MICHALOVICZ, L. et al. **“Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till”**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1496-1505, set./out. 2014.

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

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

ONU. Organização das Nações Unidas. [<https://nacoesunidas.org/>]. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 26 mar. 2020.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; MELO, L. C. A. **“Calagem em Latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez”**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 869-878, set/out. 2006.

PAULETTI, V. et al. **“Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto”**, Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 38(2), p. 495–505. doi: 10.1590/S0100-06832014000200014. 2014.

- PEREIRA, F. S. **“Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema plantio direto no estado de alagoas”**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2007.
- RAIJ, B. V. **"Gesso na agricultura"**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233p.
- RAIJ, B. V; CANTARELLA, H. & FURLANI, P.R. **"Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso"**. R. Bras. Ci. Solo, 12:131-136, 1988.
- RAMOS, B. Z. **“Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em Latossolo sob altas doses de gesso”**. Lavras: UFLA, 2012. 96 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 Ciencia do Solo, 37(4), p. 1018–1026. doi: 10.1590/S0100-06832013000400019, 2013.
- RAMOS, B.Z.; LIMA, J.M.; SERAFIN, M.E.; COSCIONE, A.R.; FERRAZ, R.M.; AMORIM, L.M.; LOPES, G. ionic speciation in a dystrophic red latosol under coffee crop and high doses of gypsum. Coffee Science, Lavras, v. 14, n. 3, p. 281 – 290. 10.25186/cs.v14i3.1544. 2019.
- SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M. & PESSONI, P.T. **"Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso"**. Bragantia, 71:30-40, 2012.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, S. & REIN, T.A. **"Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado"**. Planaltina, Embrapa Cerrados. 19p. (Circular Técnica, 32). 2005.
- SUN, B.; POSS, R.; MOREAU, R.; AVENTURIER, A.; FALLAVIER, P. **“Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China”**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v.57, 2000.
- TEIXEIRA, T. D. G. **"Melhoria dos atributos químicos do solo pela ação combinada de calcário e gesso"**. Programa De Pós-Graduação Em Ciência Do Solo. 2014.
- TOMA, M. et al. **“Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties”**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 63, p. 891–895, July/Aug. 1999.
- VITTI, G. C. et al. **"Uso do gesso em sistemas de produção agrícola"**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

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, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, fev. 2007.