



FACULDADE DA AMAZÔNIA

CURSO DE AGRONOMIA

CRISTIAN ALAN PIENIZ

GESSO AGRÍCOLA: BENEFÍCIOS E CRITÉRIOS DE RECOMENDAÇÃO

**VILHENA
2020**

CRISTIAN ALAN PIENIZ

GESSO AGRÍCOLA: BENEFÍCIOS E CRITÉRIOS DE RECOMENDAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Agronomia da Faculdade da Amazônia (FAMA), como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Ma. Priscila Fonseca Costa

**VILHENA
2020**

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Aos dezessete dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte, na sala virtual da plataforma GoogleMeet, às 16h00min, o acadêmico Cristian Alan Pieniz do Curso de Agronomia dessa instituição, defendeu o seu TCC - Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Gesso agrícola: benefícios e critérios de recomendação" na presença da Banca Examinadora formada pela professora mestre Priscila Fonseca Costa (Orientadora e Presidente da banca), professora doutora Elonha Rodrigues dos Santos (1º membro) e professora doutora Edilene Pereira Ferreira (2º membro).

O trabalho foi julgado com nota 7,3. E por não haver nada mais a tratar, foi lavrada esta ata que será assinada pelos presentes.

BANCA EXAMINADORA



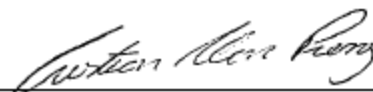
Profa. Ma. Priscila Fonseca Costa
(Presidente - orientadora)



Prof. Dra. Elonha Rodrigues dos Santos
(1º membro)



Profa. Dra. Edilene Pereira Ferreira
(2º membro)



Cristian Alan Pieniz
(Acadêmico)

Dedico este trabalho aos meus familiares que sempre me apoiaram e estimularam nos momentos difíceis, também a minha esposa Janaina Lopes Santana Pieniz pela paciência, amor e carinho, assim dedico-lhes essa conquista com gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que sempre me iluminou durante esta caminhada e pelas oportunidades apresentada a mim durante esta vida.

A minha esposa e familiares que trilharam este caminho junto a mim e sempre me apoiaram e inspiraram.

A professora Prof. Ma. Priscila Fonseca Costa pela paciência na orientação e pelos incentivos que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

A todos os professores do curso, pela amizade, pela compreensão e pelo apoio que foi essencial em nossa vida acadêmica.

Aos amigos e colegas que trilharam este caminho junto à nós, agradeço pelo incentivo e pelo apoio constante.

Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.

Albert Einstein

RESUMO

O manejo do solo é fundamental para o bom crescimento e desenvolvimento das culturas, e os solos de Cerrado são caracterizados por elevada acidez e baixa fertilidade natural. A calagem, entre outras práticas, corrige a acidez da camada arável e foi preponderante para o sucesso da agricultura em solos de Cerrado. No entanto, o uso do gesso agrícola pode beneficiar camadas subsuperficiais do solo, atuando como condicionador do solo, favorecendo o crescimento radicular em profundidade. Assim, objetivou-se realizar um levantamento sobre o uso do gesso agrícola na agricultura, verificando as principais vantagens e desvantagens do uso desta prática agrícola, os critérios que são utilizados para sua recomendação, bem como os métodos mais utilizados para sua recomendação. Para tanto, foi realizado uma revisão de literatura sobre o tema com a busca de artigos em periódicos científicos conceituados, bem como pesquisadores consolidados na área agrônômica. O uso do gesso agrícola promove o desenvolvimento radicular nas camadas de 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m em solos ácidos sob sistema plantio direto. Os principais efeitos do uso do gesso agrícola sobre a produtividade das culturas são evidenciados em anos de seca ou veranicos durante o ciclo das culturas em regime de sequeiro. Os principais nutrientes lixiviados pela aplicação de gesso é o Mg seguido do K, este último em menores proporções. Pesquisas recentes indicam que as doses de gesso indicadas pelos métodos tradicionais têm sido subestimadas, principalmente para solos ácidos sob sistema plantio direto.

Palavras-chave: Fosfogesso. Condicionador de solos. Gessagem.

ABSTRACT

Soil management is essential for good crop growth and development, and Cerrado soils are characterized by high acidity and low natural fertility. Liming, among other practices, corrects the acidity of the arable layer and was a major factor in the success of agriculture in Cerrado soils. However, the use of agricultural plaster can benefit subsurface layers of the soil, acting as a soil conditioner, favoring root growth in depth. Thus, the objective was to survey the use of agricultural gypsum in agriculture, verifying the main advantages and disadvantages of using this agricultural practice, the criteria that are used for its recommendation, as well as the most used methods for its recommendation. To this end, a literature review on the topic was carried out with the search for articles in renowned scientific journals, as well as consolidated researchers in the agronomic area. The use of agricultural gypsum promotes root development in the 0.2 to 0.4 m and 0.4 to 0.6 m layers in acid soils under the no-tillage system. The main effects of the use of agricultural gypsum on the productivity of crops are evidenced in years of drought or summer during the cycle of crops in the rainfed regime. The main nutrients leached by the application of gypsum is Mg followed by K, the latter in smaller proportions. Recent research indicates that the agricultural gypsum doses indicated by traditional methods have been underestimated, mainly for acid soils under no-tillage systems.

Keywords: Phosphogypsum. Soil conditioner. Liming.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Crescimento radicular de milho aos 40 dias após a emergência das plantas em colunas de solo indeformadas de 0,5 m sob a aplicação de gesso e N (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016). 19
- Figura 2** - Produção de milho (safra 2011/12), trigo (safra 2012) e soja (safra 2012/13) em função da aplicação de gesso em superfície (P1 = 100% em 2009; P2 = 50+50% em 2009 e 2010; P3 = 33+33+33% em 2009, 2010 e 2011) em Latossolo sob sistema plantio direto. * e ** significativo a 5 e 1%, respectivamente; ns: não significativo. Fonte: (VICENSI et al., 2016).....20
- Figura 3** - Distribuição de Ca no perfil de um Latossolo em função de diferentes fontes de Ca e aplicação de 1.200 mm (SOUSA; RITCHEY, 1986) apud (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016).22
- Figura 4** - Distribuição relativa de raízes de milho no perfil de um Latossolo argiloso em função da aplicação e ausência de gesso (SOUSA; LOBATO; REIN, 1995).22
- Figura 5** - Uso relativo de lâmina de água disponível em profundidade na cultura do milho após 25 dias de veranico na fase de espigamento em função da aplicação e ausência de gesso (SOUSA; LOBATO; REIN, 1995).....22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Necessidade de Gessagem em função da CTC e da saturação por bases. (DEMATTÊ, 1986, 2005) apud (VITTI; PRIORI, 2010).....	16
Tabela 2 – Recomendação de necessidade de gessagem em função da classe textural do solo (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005) apud (VITTI; PRIORI, 2010)	17
Tabela 3 - Análise química e física do Latossolo Vermelho na camada de 0,20 a 0,40 m	23
Tabela 4 - Necessidade de gessagem (NG) determinada por diferentes métodos e variação percentual em relação ao método considerado como padrão	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1.1 Solos tropicais	13
2.1.2 Gesso Agrícola ou Fosfogesso	14
2.1.3 Reações do calcário e gesso no solo	14
2.1.4 Critérios de recomendação de gesso	16
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.2.1 Descrição geral	18
2.2.2 Bases científicas e palavras chave	18
2.2.3 Síntese das informações	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
2.3.1 Principais benefícios do uso do gesso agrícola	19
2.3.2 Precauções quanto a recomendação e lixiviação de nutrientes	19
2.3.3 Comparativo entre métodos de recomendação	23
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
4 REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passou por consideráveis transformações nas últimas décadas, a inovação tecnológica, o uso de irrigação, a nutrição vegetal e o melhoramento genético foram fundamentais para este salto em desenvolvimento.

Estima-se uma população mundial de 12,3 bilhões de pessoas até o ano de 2100 (GERLAND et al., 2014), assim com o aumento da população mundial, a maior demanda por alimentos e preocupação quanto a segurança alimentar face às adversidades climáticas, além da questão ambiental contra a abertura de novas áreas, que pressionam constantemente o setor agrícola do Brasil e do mundo, demandando crescente aumento de produção e produtividade, com menor uso de insumos e preservação ambiental.

Considerando o referido cenário, o sistema plantio direto tem contribuído para a sustentabilidade da agricultura e aumento de produtividade. Mas segundo FAO, 2015 considera-se que 33% dos solos do planeta apresentam algum nível de degradação, que pode comprometer a produção em razão de instabilidades que podem ocorrer durante o período de cultivo, como por exemplo, a ocorrência de veranicos e curtos períodos de estiagem.

Nesse sentido, surge a necessidade da “construção” de um perfil de solo profundo, favorecendo uma maior disponibilidade de água para as plantas, em razão de um maior crescimento radicular em profundidade. Uma alternativa a essa realidade é o uso do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), conhecido por suas propriedades de “condicionador” de subsuperfície, que devido a sua alta solubilidade, adiciona bases trocáveis em subsuperfície e neutraliza o alumínio trocável, favorecendo o desenvolvimento radicular nas camadas de 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m.

Há evidências de que o uso de gesso agrícola pode incrementar a produção de grãos em sistemas de plantio direto (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016). Porém, o uso deste subproduto da indústria de fertilizantes ainda não é amplamente utilizado pelos agricultores brasileiros, seja por desconhecimento da prática, ou por desconhecimento dos reais benefícios que esta pode proporcionar às culturas. Também há evidências de que as recomendações de doses de gesso precisam ser revistas (PIVETTA et al., 2019).

Face ao exposto, objetivou-se realizar um levantamento sobre o uso do gesso agrícola na agricultura, verificando as principais vantagens e desvantagens do uso desta prática agrícola, os critérios que são utilizados para sua recomendação, bem como os métodos mais utilizados para sua recomendação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Solos tropicais

O bioma Cerrado ocupa uma área de cerca de 21 % do território brasileiro, localizado principalmente na região Centro Oeste do país (KLINK; MACHADO, 2005). A amplitude de precipitação do bioma varia entre 900 a 2.000 mm anuais e a temperatura entre 22 a 27°C. Nesta região a classe mais expressiva de solos é a de Latossolos, que representam cerca de 46% do total. Estes são solos velhos e caracterizados por intenso intemperismo, resultando em baixa fertilidade natural, decorrente da intensa lixiviação de bases, e alta concentração de óxidos de ferro e alumínio, ocasionando limitações ao desenvolvimento de culturas (GOEDERT, 1983; LOPES, 1996; BUOL, 2009).

O Cerrado brasileiro, apesar de suas limitações naturais ao crescimento e desenvolvimento vegetal, tem papel fundamental atualmente na produção de alimentos e fibras. A expansão do cerrado através da agricultura gera benefícios socioeconômicos inigualáveis através do aumento da oferta de produtos agrícolas tanto para o uso doméstico quanto para exportação e nos ganhos econômicos nacionalmente (KLINK; MACHADO, 2005).

Características geográficas clima e condições de solo devem ser consideradas para definir estratégias de correção de solo e manejo de nutrientes (RAIJ, 2011).

A acidez do solo, caracterizada por baixo pH do solo, pode afetar significativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade de diversas culturas de interesse agrônomo. Estima-se que cerca de 50% dos solos agrícolas do mundo são ácidos (baixo pH do solo) e os efeitos resultados desta característica são a toxidez por Al^{3+} , baixa disponibilidade de nutrientes e baixa qualidade física e biológica do solo (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016). Em sistemas de plantio direto, tem se observados teores de alumínio superiores aqueles recomendados para o sistema convencional, principalmente para as camadas de 0,10 a 0,15 m, 0,15 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m (DE SOUZA et al., 2012).

2.1.2 Gesso Agrícola ou Fosfogesso

O gesso agrícola, ou fosfogesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados a partir das rochas fosfática ígnea, com composição predominante de 20% de Ca e 15% de $\text{SO}_4\text{-S}$.

Em pesquisa avaliando o crescimento radicular e a nutrição da cultura da cevada em resposta à aplicação de calcário e gesso no município de Ponta Grossa - PR, foi verificado que o uso de gesso melhorou a absorção de nutrientes, tais como, N, P, K, Ca e S em condições de estresse hídrico. Estes acréscimos foram atribuídos em razão dos aumentos dos teores de Ca trocável em subsuperfície, fornecimento de S-SO_4^{2-} e da relação Ca/Mg (CAIRES; BLUM, 2001).

Em trabalho semelhante com a cultura da soja, o uso de gesso não contribuiu para o aumento de produção, porém, proporcionou incrementos nas concentrações de proteína, S, P, K e Ca nos grãos (CAIRES et al., 2006).

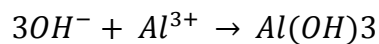
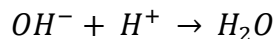
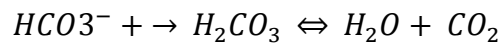
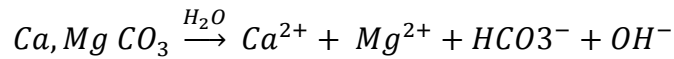
Pesquisadores avaliaram que as culturas de Soja, trigo e milho em Latossolos foram afetadas positivamente pelo gesso, aplicado separadamente ou em combinação com o cal na maioria das culturas investigadas. O efeito positivo do gesso no aumento da produção de grãos foi aumentado quando combinado com cal, com um impacto mais forte em anos com períodos de seca (NORA et al. 2017).

Pesquisadores evidenciaram incremento de produtividade de grãos de soja e milho na ordem 11,3 e 9,3%, respectivamente, para uma dose de 2 t ha^{-1} de gesso, além da mitigação do déficit hídrico sobre a produtividade das culturas (ZANDONÁ et al., 2015).

2.1.3 Reações do calcário e gesso no solo

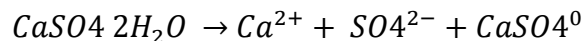
Calcário e gesso possuem dinâmica de reação no solo distintas, mas se complementam quanto a correção do solo favorecendo o bom desenvolvimento do sistema radicular e o crescimento e desenvolvimento vegetal. A do calcário é concentrada na camada de 0 a 0,2 m e o gesso atua em profundidade como condicionador do solo, o calcário neutraliza a acidez e o gesso não altera o pH do solo, mas reduz a disponibilidade de Al tóxico em profundidade (VITTI; PRIORI, 2010).

Abaixo estão descritas as sequências de reações do calcário até a neutralização da acidez do solo. Com a solubilização do calcário ocorre a liberação dos ânions HCO_3^- e OH^- que na sequência são utilizados para neutralizar a acidez do solo. O calcário apresenta baixa mobilidade porque o Ca e o Mg irão ocupar as cargas negativas do solo que até então eram ocupadas pelos causadores da acidez, H e Al.



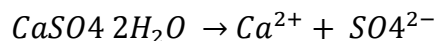
O gesso agrícola por sua vez, apresenta maior mobilidade no perfil do solo, uma vez que este apresenta solubilidade de cerca de 150 vezes a do carbonato de cálcio (calcário PRNT de 100%) e apresenta o ânion sulfato (SO_4^{2-}) de base forte ligado ao cálcio.

A reação de dissolução do gesso e movimentação no perfil pode ser verificada abaixo.

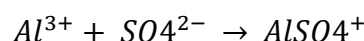


Ocorrendo a lixiviação, de modo que cerca de 50% do gesso agrícola dissocia-se nas formas dos íons Ca^{2+} e SO_4^- participando da troca iônica, funcionando como fontes de cálcio e de enxofre, respectivamente. Outra parte (CaSO_4^0) tem mobilidade e movimenta por meio de pares iônicos (CaSO_4^0 , MgSO_4^0 e KSO_4^-), melhorando as condições em profundidade para o desenvolvimento do sistema radicular.

Em profundidade, ocorrem as seguintes reações:



Após a dissociação do sulfato de cálcio em profundidade, irá ocorrer a troca iônica do Ca do gesso com o Al^{3+} adsorvido às argilas. Por fim, irá ocorrer a complexação do Al pelo sulfato, formando sulfato de alumínio, não tóxico.



Dessa forma, a aplicação de gesso agrícola irá proporcionar o incremento nos teores de Ca em profundidade e diminuir a saturação por Al, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade.

2.1.4 Critérios de recomendação de gesso

Os critérios de recomendação para necessidade de gessagem podem ser divididos em três critérios principais: a) considerando a textura do solo (teor de argila); b) considerado a saturação por bases (V%); e, c) considerando a CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Em culturas anuais, os critérios de recomendação baseiam-se nos resultados da análise química do solo para a camada 0,2 a 0,4 m ou 0,4 a 0,6 m e, consideram também a camada de 0,6 a 0,8 m para culturas perenes.

Abaixo serão descritos os métodos de determinação de necessidade de gessagem.

A recomendação de necessidade de gessagem mais utilizada baseia-se nos seguintes critérios, considerando a análise química do solo para a camada 0,2 a 0,4 m ou 0,4 a 0,6 m: Ca^{2+} trocável $< 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Al^{3+} trocável $> 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e/ou saturação por $\text{Al}^{3+} > 20\%$, Equações 1 e 2.

Para culturas anuais:

$$NG \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 50 \times \text{argila (\%)} \text{ ou } NG = 5,0 \times \text{argila (g kg}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Para culturas perenes:

$$NG \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 75 \times \text{argila (\%)} \text{ ou } NG = 7,5 \times \text{argila (g kg}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

A determinação da necessidade de gessagem considerando a saturação por bases segundo Vitti et al. (2008), Equação 3.

$$NG = \frac{(V2-V1) \times T}{500} \quad (3)$$

Em que:

NG = necessidade de gesso (t ha^{-1}); V2 = saturação por bases esperada (50%); V1 = saturação por bases atual do solo na camada de 20 a 40 cm ou 25 a 50 cm (%); T = capacidade de troca catiônica na camada de 20 a 40 cm ou 25 a 50 cm ($\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$).

Por fim, a recomendação de necessidade de gessagem considerando a CTC em subsuperfície (Tabela 1) e classe textural do solo para culturas anuais e perenes (Tabela 2).

Tabela 1 - Necessidade de Gessagem em função da CTC e da saturação por bases. (DEMATTÊ, 1986, 2005) apud (VITTI; PRIORI, 2010)

T ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	V (%)	NG (t ha^{-1})
< 30	< 10	2,0

	10 a 20	1,5
	20 a 35	1,0
	< 10	3,0
30 a 60	10 a 20	2,0
	20 a 35	1,5
	< 10	3,5
60 a 100	10 a 20	3,0
	20 a 35	2,5

Tabela 2 – Recomendação de necessidade de gessagem em função da classe textural do solo (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005) apud (VITTI; PRIORI, 2010)

Textura do solo	Dose de gesso Agrícola (kg ha ⁻¹)	
	Culturas anuais	Culturas perenes
Arenosa (< 15% argila)	700	1.050
Média (16 a 35% argila)	1.200	1.800
Argilosa (36 a 60 % argila)	2.200	3.300
Muito Argilosa (>60% argila)	3.200	4.800

Recentemente, foi proposto um novo método para o cálculo da necessidade de gessagem, que leva em consideração os seguintes critérios: Aumento da saturação de Ca²⁺ na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) até 60% na camada de 0,2 a 0,4 m quando está é inferior a 54% (CAIRES; GUIMARÃES, 2018), Equação 4.

$$NG (t ha^{-1}) = (0,6 \times CTC_e - Ca^{2+} \text{ trocável em } cmol_c dm^{-3}) \times 6,4 \quad (4)$$

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Descrição geral

A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica na qual foram consideradas os seguintes materiais: livros, de fertilidade do solo e nutrição vegetal, escritos por pesquisadores consagradas na área de ciência do solo; e artigos científicos, publicados em periódicos especializados, conceituados internacionalmente, escritos por pesquisadores brasileiros e estrangeiros com experimentos realizados em diversos tipos de solo e teses de doutorado quando na impossibilidade do artigo publicado.

2.2.2 Bases científicas e palavras chave

A revisão bibliográfica teve como base científica referências teóricas publicadas em livros, revistas e periódicos escritos por pesquisadores brasileiros e estrangeiros em sites específicos voltados para as áreas agrárias. Com o objetivo de enriquecer a pesquisa. Assim podendo explicar e discutir os benefícios e os métodos de recomendação do gesso agrícola, para assim conhecer e esclarecer o assunto.

Utilizou-se como principais palavras-chave os termos “gesso agrícola ou fosfogesso”, “gessagem” e “phosphogypsum”, de modo que foram selecionados inicialmente 26 referências para esta pesquisa, compreendendo o período de 1997 a 2020.

2.2.3 Síntese das informações

Após a revisão do material selecionado serão levantados os principais temas relacionados ao uso do gesso na agricultura, critérios de recomendação e uso de gesso agrícola no estado de Mato Grosso.

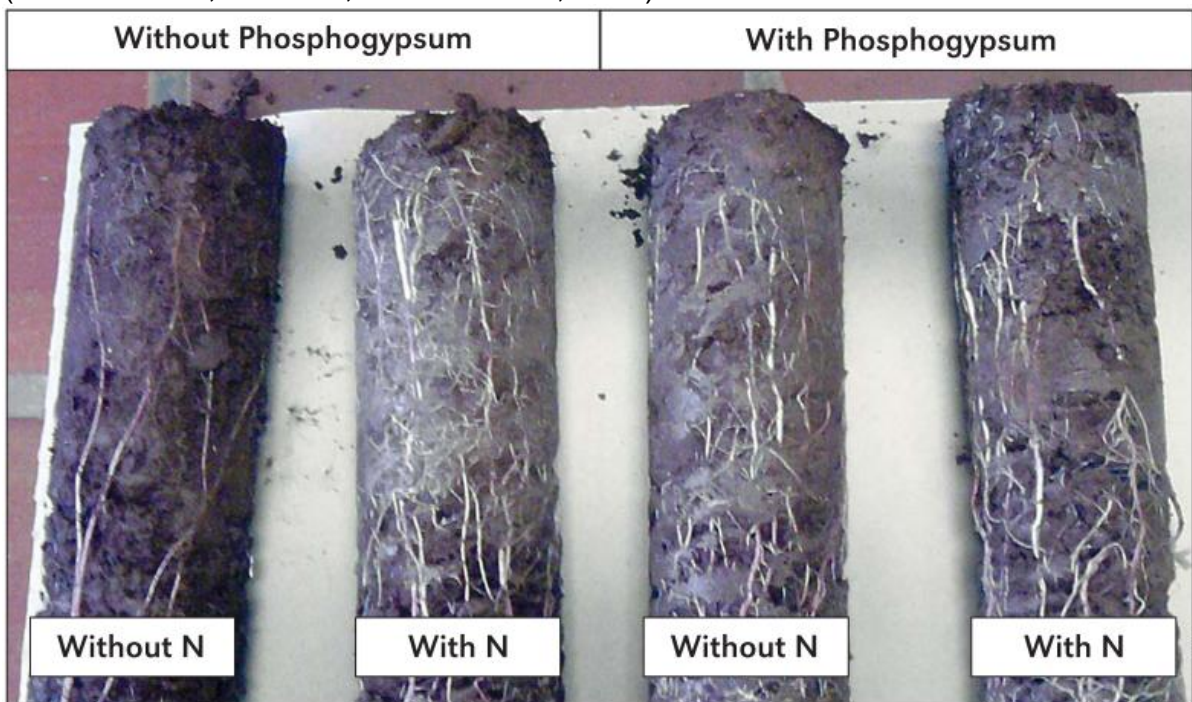
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Principais benefícios do uso do gesso agrícola

Na Figura 1 pode ser verificado os benefícios da aplicação de gesso na promoção do sistema radicular de culturas agrícolas. Nas duas colunas do lado direito, fica evidente quanto ao maior crescimento e desenvolvimento radicular de plantas de milho até a profundidade de 0,5 m, com e sem a aplicação de N.

Um sistema radicular bem desenvolvido em profundidade, garante acesso à água nas camadas subsuperficiais, fundamental para a agricultura moderna, com cultivares cada vez mais produtivas e responsivas ao manejo utilizado (DALLA NORA et al., 2017).

Figura 1 - Crescimento radicular de milho aos 40 dias após a emergência das plantas em colunas de solo indeformadas de 0,5 m sob a aplicação de gesso e N (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016).



2.3.2 Precauções quanto a recomendação e lixiviação de nutrientes

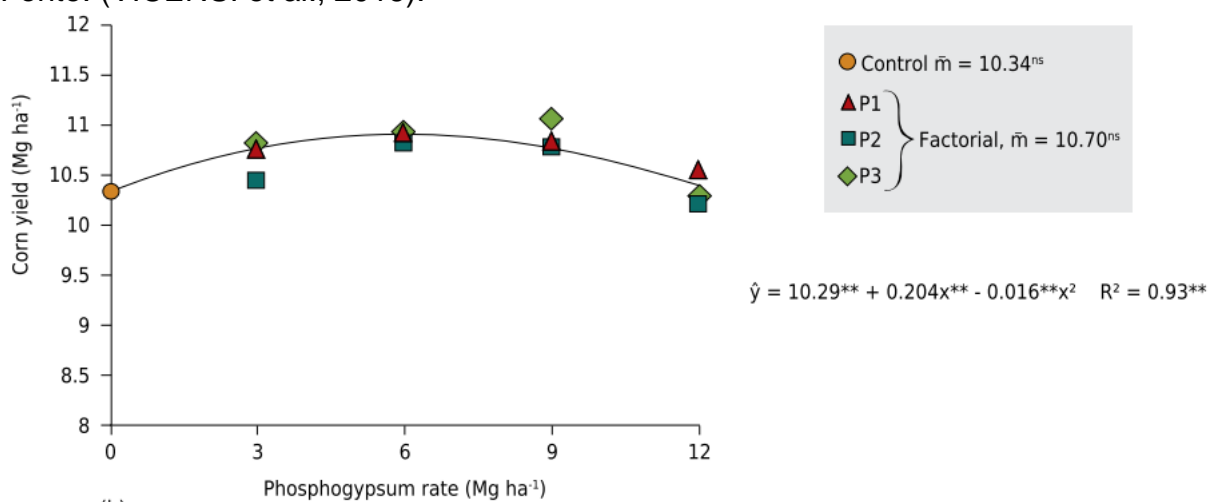
Em pesquisa sobre o uso de gesso para a produção de grãos em sistema plantio direto em clima subtropical também foi evidenciado que mesmo com a melhora das condições para o crescimento radicular uma maior lixiviação em profundidade de

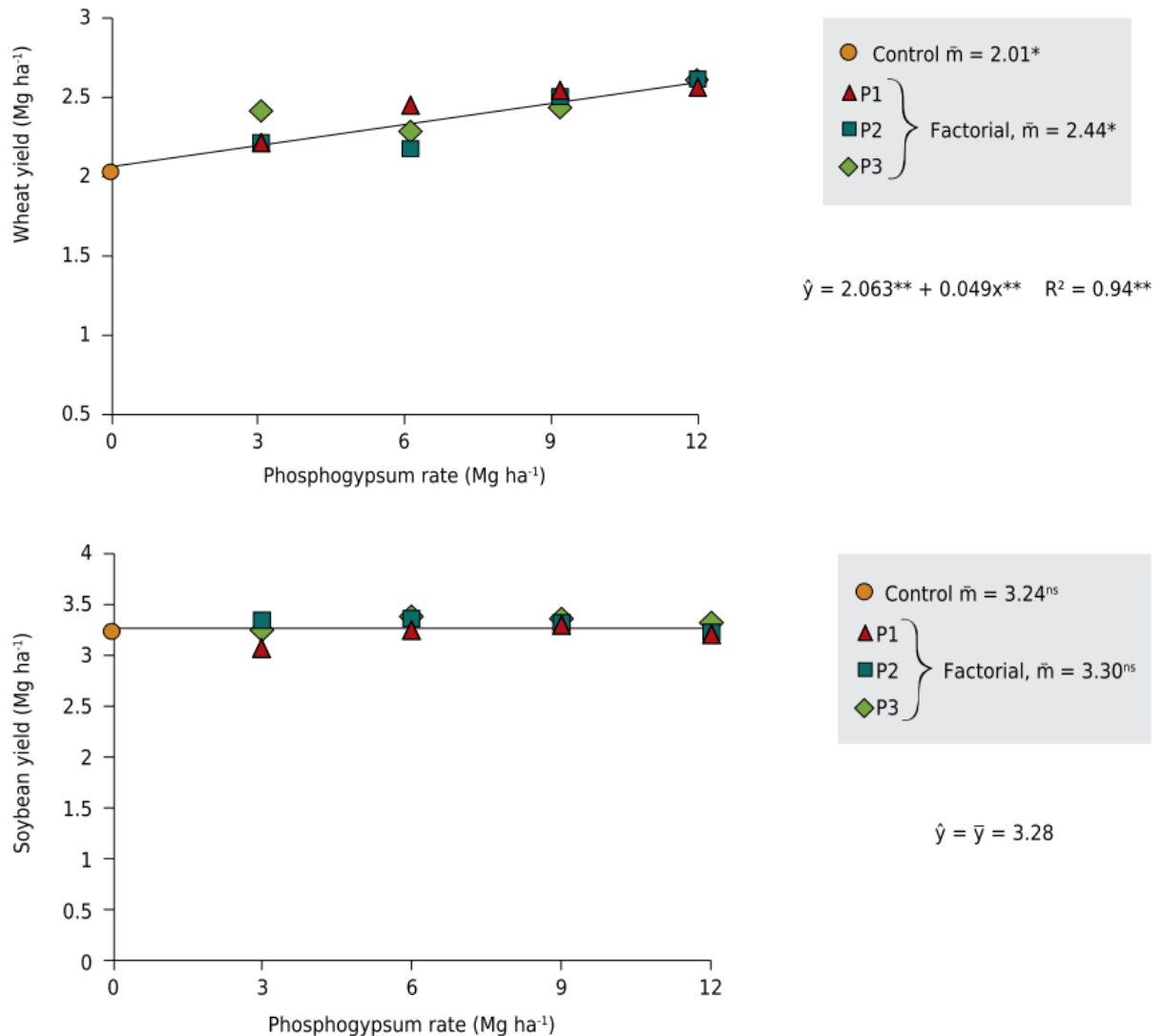
Mg e K, porém de maneira incipiente para o segundo. Desse modo, a aplicação de fosfogesso só deve ser recomendada para solos com alto teor de Mg^{2+} + permutável em suas camadas superficiais (CAIRES; GUIMARÃES, 2018).

Em trabalho semelhante verificou-se que os teores de magnésio nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, foram influenciados significativamente em função da aplicação do gesso, verificando-se redução nos teores desse nutriente nas referidas camadas com o aumento da aplicação desse resíduo. A redução no teor de magnésio no solo em resposta à aplicação do gesso, pode estar relacionado ao aumento de íons cálcio no solo após a dissociação do gesso, o que favorece o deslocamento de íons magnésio dos sítios de troca, formando pares iônicos com o ânion sulfato ($MgSO_4$), sendo posteriormente, lixiviado para camadas mais profundas (ALMEIDA, 2016).

Avaliando doses e parcelamento da aplicação (100%, 50+50% e 33 + 33 + 33%) de doses de gesso (3, 6, 9 e 12 t ha^{-1}) e sua influencia nas culturas anuais em Latossolo sob sistema plantio direto, foi evidenciado que as concentrações foliares de Ca e S aumentaram com a aplicação de gesso e os teores de Mg decresceram para as culturas de milho, trigo e soja. Não há efeito para o parcelamento. Milho e trigo tiveram as produtividades aumentadas com a aplicação de gesso, o acréscimo para o milho foi até a dose de 6,38 t ha^{-1} , enquanto que para o trigo o incremento foi linear (VICENSI et al., 2016), Figura 2.

Figura 2 - Produção de milho (safra 2011/12), trigo (safra 2012) e soja (safra 2012/13) em função da aplicação de gesso em superfície (P1 = 100% em 2009; P2 = 50+50% em 2009 e 2010; P3 = 33+33+33% em 2009, 2010 e 2011) em Latossolo sob sistema plantio direto. * e ** significativo a 5 e 1%, respectivamente; ns: não significativo. Fonte: (VICENSI et al., 2016).

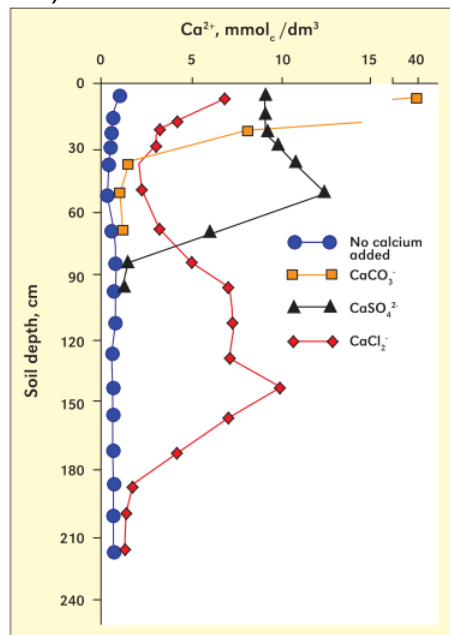




Cabe ressaltar que os efeitos benéficos da aplicação de gesso unicamente ou combinado a calagem, por proporcionar maior desenvolvimento radicular em profundidade, seu impacto sobre a produtividade pode não ser observados em anos com chuvas regulares, mas sim, em anos com períodos de seca e veranicos (DALLA NORA et al., 2017).

Em trabalho pioneiro ficou evidenciado que que o Ca combinados com ânions CO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- pode ser lixiviado através do perfil (Figura 3). Como é possível observar na figura, o sulfato de cálcio move o Ca^{2+} para camadas que favorecem o crescimento e a disponibilidade do nutriente às plantas. No entanto, o carbonato de cálcio promove um deslocamento mínimo. Por sua vez, o cloreto de cálcio promove a lixiviação de Ca^{2+} em excesso (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016). Assim, fica evidente a importância o uso de gesso e da fonte adequada de nutrientes para um melhor aproveitamento concernente ao melhor desenvolvimento vegetal.

Figura 3 - Distribuição de Ca no perfil de um Latossolo em função de diferentes fontes de Ca e aplicação de 1.200 mm (SOUSA; RITCHEY, 1986) apud (PROCHNOW; CAIRES; RODRIGUES, 2016).



Quanto a distribuição radicular e à disponibilidade de água em profundidade, podem ser observados nas Figuras 4 e 5 os benefícios da aplicação do gesso na cultura do milho, com aumento de 30% das raízes em profundidade e até 54% de uso relativo de água abaixo do 0,4 m de profundidade em Latossolo argiloso (SOUSA; LOBATO; REIN, 1995).

Figura 4 - Distribuição relativa de raízes de milho no perfil de um Latossolo argiloso em função da aplicação e ausência de gesso (SOUSA; LOBATO; REIN, 1995).

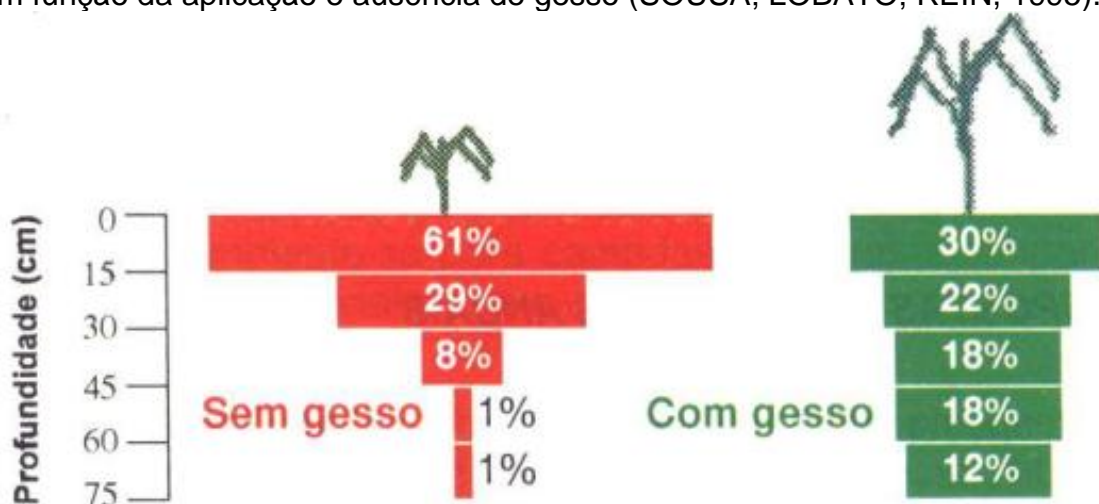
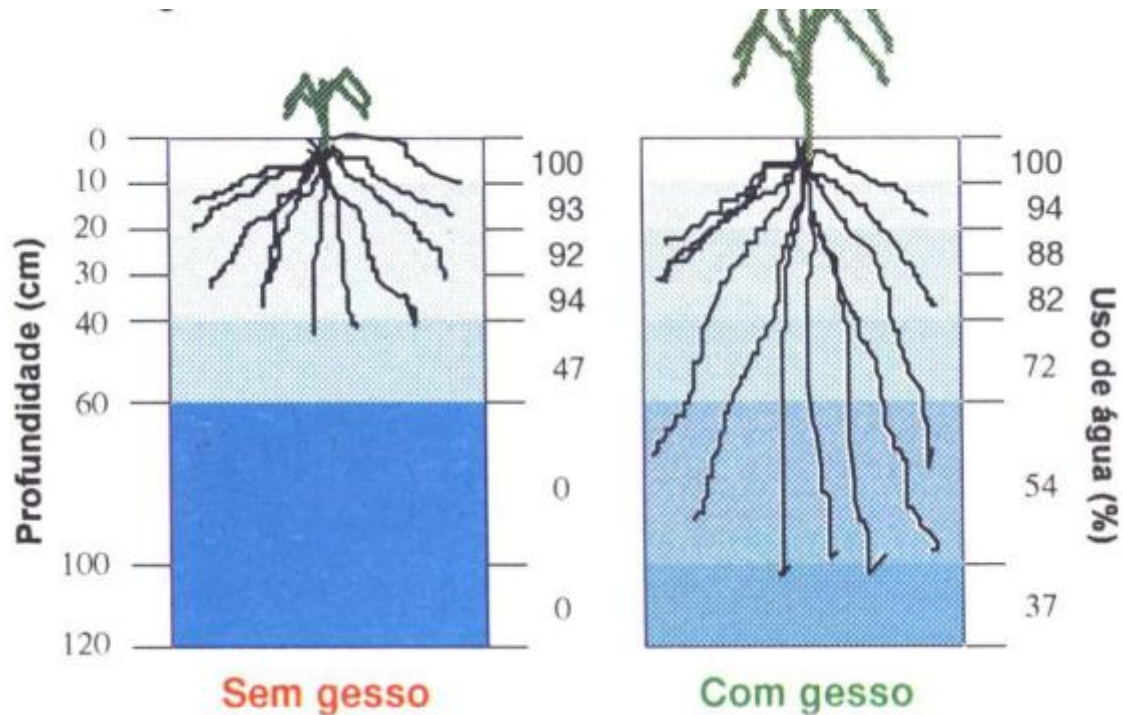


Figura 5 - Uso relativo de lâmina de água disponível em profundidade na cultura do milho após 25 dias de veranico na fase de espigamento em função da aplicação e ausência de gesso (SOUSA; LOBATO; REIN, 1995).



2.3.3 Comparativo entre métodos de recomendação

Para efeito de comparação entre os métodos de recomendação abordados no tópico revisão de literatura, considerou-se uma análise de solo da camada de 0,2 a 0,4 m e calculou-se a necessidade de gessagem por cinco métodos e determinou-se a variação percentual entre eles. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise química e física do solo para a referida camada.

Tabela 3 - Análise química e física do Latossolo Vermelho na camada de 0,20 a 0,40 m

Química												
Amostra	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H	SB	M.O.	V	
	H ₂ O	CaCl ₂	--- mg dm ⁻³ ---		----- cmolc dm ⁻³ -----			----- g dm ⁻³ -----		%		
1	4,9	4,1	1,1	12,0	-	0,2	0,2	3,3	3,0	0,43	12,3	6,4
Micronutrientes						Física						
Amostra	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Areia	Silte	Argila				
	----- mg dm ⁻³ -----					----- g kg ⁻¹ -----						
1	-	-	-	-	-	773	49	178				

SB – Soma de bases; V – Saturação por bases

Foram utilizados para exemplo cinco métodos: 1 – método considerando o teor de argila do solo (SOUSA; LOBATO, 2004); 2 – método que considera a

saturação por bases (V%) da camada subsuperficial (VITTI et al., 2008); 3 – método que considera a classe textural do solo (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005); 4 - método que considera a CTC da camada subsuperficial (DEMATTÊ, 1986, 2005); e, 5 – método que considera a CTC efetiva da camada subsuperficial (CTCe) (CAIRES; GUIMARÃES et al., 2018).

Verifica-se que a escolha do método tem influência direta na recomendação de gessagem, com variações expressivas entre os métodos disponíveis (Tabela 4).

Tabela 4 - Necessidade de gessagem (NG) determinada por diferentes métodos e variação percentual em relação ao método considerado como padrão.

Método	NG (t ha ⁻¹)	Variação percentual (%)
1 – (SOUSA; LOBATO, 2004)	0,89	Padrão
2 – (VITTI et al., 2008)	3,25	+ 365,53
3 – (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005)	1,20	+ 134,83
4 – (DEMATTÊ, 1986, 2005)	3,00	+ 337,08
5 – (CAIRES; GUIMARÃES, 2018)	13,04	+1465,83

A variação entre os métodos considerados em relação ao método padrão foi de 134,83 a 1465,83 %, para os métodos 3 e 5, respectivamente. Onde menor dose recomendada foi obtida pelo método padrão (0,89 t ha⁻¹). Todos os demais métodos proporcionaram recomendações superiores a este. Por considerar exclusivamente o teor de argila do solo, esse método, apesar de ser um dos mais utilizados, pode estar resultando em subestimativas de recomendação, principalmente em sistemas de produção de alto nível tecnológico (CAIRES; GUIMARÃES, 2018).

O método 5, mais recente, foi o que apresenta a maior recomendação comparado aos demais. Há que se considerar a possibilidade de lixiviação de Mg e K em profundidade, principalmente em solos com baixos teores destes nutrientes, ambos os nutrientes são os mais prejudicados pela aplicação de gesso ao solo. Com isto segundo os autores CAIRES e GUIMARÃES, 2018, a combinação de cal dolomítico com o gesso agrícola tem sido a medida de recomendação mais apropriada para Latossolos com altos níveis tóxicos de Al³⁺.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do gesso agrícola promove o desenvolvimento radicular nas camadas de 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m em solos ácidos sob sistema plantio direto.

Os principais efeitos do uso do gesso agrícola sobre a produtividade das culturas são evidenciados em anos de seca ou veranicos durante o ciclo das culturas em regime de sequeiro.

Em relação aos métodos de recomendação entende-se que para a tomada de decisão e escolha do método a ser adotado deve-se levar em consideração o tipo de solo e suas características físicas e químicas para que assim escolha-se o método que atende melhor as necessidades tanto do solo quanto da cultura.

Os principais nutrientes lixiviados pela aplicação de gesso é o Mg seguido do K, este último em menores proporções. Com isto muitos autores ressaltam que a melhor escolha é a utilização do fosfogesso com o calcário dolomítico para que assim haja a correção do solo e não ocorra a interferência na relação Ca:Mg.

4 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. da S. M. Uso agrícola de resíduo da produção de ácido fosfórico (gesso) associado ao cloreto de potássio. Uberlândia – MG, 2016
- BUOL, S. W. Soils and agriculture in Central-West and North Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 607-707, 2009.
- CAIRES, E. F. *et al.* Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 315–327, 1999.
- CAIRES, EDUARDO F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987–1995, 2018.
- CAIRES, EDUARDO FÁVERO *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, v. 63, n. 4, p. 370–379, 2006.
- CAIRES, EDUARDO FÁVERO; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213–223, 2001.
- DALLA NORA, 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.
- SOUZA, F. R.de. *et al.* Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 33, n. 5, p. 1717–1732, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- FAO. (2015) Global Soil Resources. Status of the World's Soil Resources (Main Report), Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>. Acesso: 19/02/2020
- GERLAND, P., *et al.* World Population Stabilization Unlikely This Century. **Science**, 387, 01–05, 2014. Disponível em: <https://www.stat.berkeley.edu/~aldous/157/Papers/gerland.pdf>. Acesso: 22/02/2020
- GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, v. 34, p. 405-428, 1983.
- KLINKI, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. Brasília, v. 1, n. 1, 2005.
- LOPES, A. S. Soils under Cerrado: A success story in soil management. **Better Crops Internationals**, v. 10, p. 9-15, 1996.

NORA, D. D.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. da S.; GRUHN, E. M. Cultivares modernos de milho, trigo e soja de alto rendimento em resposta à aplicação de gesso e cal em latossolo plantio direto. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.41, 2017.

PIVETTA, L. A. *et al.* Gypsum application, soil fertility and cotton root growth. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 264–273, 2019.

PROCHNOW, L., CAIRES, E., RODRIGUES, C. Phosphogypsum Use to Reduce Subsoil Acidity: The Brazilian Experience. **Better Crops with Plant Food**, v. 100, n. 2, p. 13–15, 2016. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/BD6F609D14C8394C85257FB5006E2655/\\$FILE/BC-2016-2_p13.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/BD6F609D14C8394C85257FB5006E2655/$FILE/BC-2016-2_p13.pdf)>.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 1 ed. Piracicaba: Editora IPNI, 2011. 420p.

SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, E., (EDS.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos do Cerrado**. 2. ed. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2005.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados. Planaltina: **EMBRAPA -CPAC**, 1995. 20p. (Circular Técnica, 32)

VICENSI, M. *et al.* Do rates and splitting of phosphogypsum applications influence the soil and annual crops in a no-tillage system? **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–17, 2016.

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

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao Plantio Direto. **Visão agrícola**, v. 1, n. 9, p. 30-34, 2010.

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.