

Gesso Agrícola:

Características e aplicações em
diferentes sistemas de produção

FICHA TÉCNICA

Título: Gesso Agrícola: Características e aplicações em diferentes sistemas de produção

Coordenação geral: Dra. Martiliana Mayani Freire

Coordenação gráfica: Alexandre Cunha Barbosa Júnior

Supervisão gráfica: Silvia Ester Melo

Mairon Silva Rufino

Autores: Dra. Martiliana Mayani Freire (Consultora técnica – CultiBras)

Dr. João William Bossolani (Pesquisador na Field Science - Pesquisa Agronômica)

Dr. Luiz Gustavo Moretti de Souza (Pesquisador na Field Science - Pesquisa Agronômica)

Dr. José Roberto Portugal (Pesquisador na Field Science - Pesquisa Agronômica)

Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol (Prof. Titular Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), UNESP)

Capa e grafismo: Agência Ilustra

Imagens: Agência Ilustra

ISBN: 978-65-988259-0-4

Ano: 2024



Introdução

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, está presente em 13 estados na região central do país (Figura 1), abrangendo uma área territorial de aproximadamente de 200 milhões de hectares (Faleiro et al., 2007). Os solos do cerrado apresentam, de modo geral, baixa fertilidade natural, elevada acidez e altos teores de alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}) trocáveis, além de uma baixa saturação por bases (V%) e teores reduzidos de fósforo (P). Essas características têm um impacto direto no crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando sua capacidade de alcançarem altas produtividades (Silva et al., 2021).

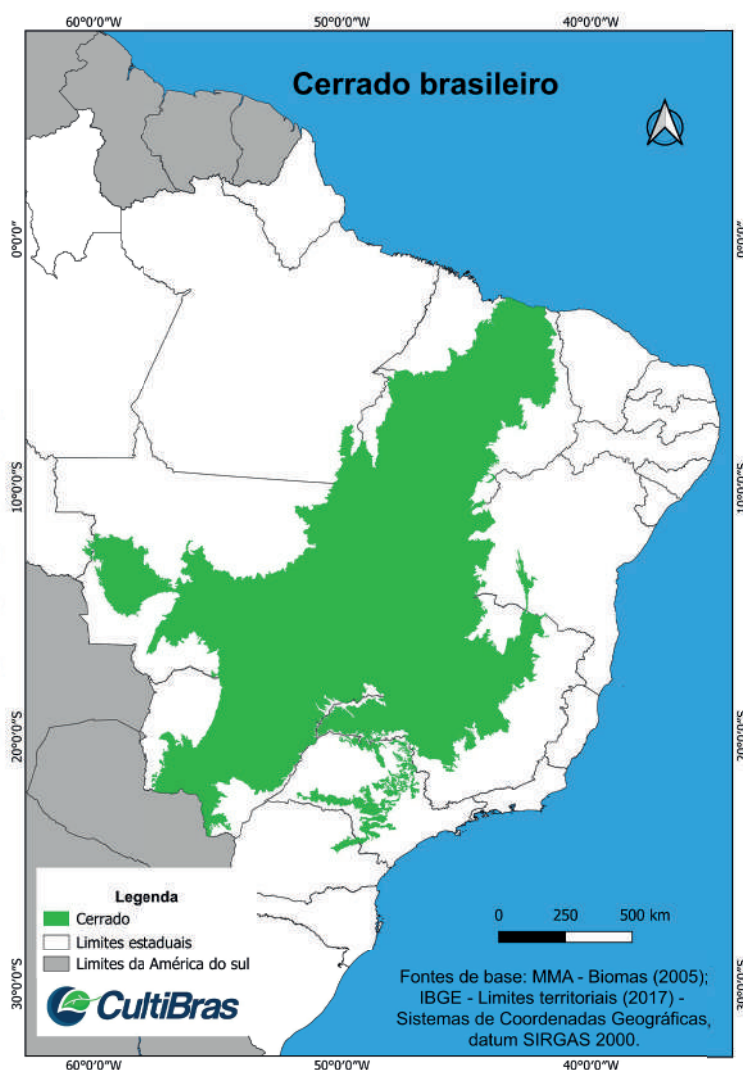


Figura 1. Área de abrangência do Cerrado brasileiro.

A acidez dos solos pode ocorrer de forma natural, devido ao processo constante de intemperismo que acontece solos tropicais, ou por meio de práticas inadequadas de manejo dos solos, que resultam na perda de bases trocáveis e, conseqüentemente, na acidificação dos solos (Costa et al., 2015; Ronquim, 2020).

A acidificação natural se origina do processo de formação dos solos, onde a rocha matriz é solubilizada e matéria orgânica se decompõe, levando a lixiviação das bases trocáveis de menor valência [potássio(K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})] das camadas superficiais, para as camadas subsuperficiais, e adsorção de cátions de maior valência [Al^{3+} , ferro (Fe^{3+}) e Mn^{2+}] nos coloides do solo (Liu et al., 2023). Estes íons possuem caráter ácido porque liberam H^+ quando reagem em meio aquoso na solução do solo (Daraz et al., 2023).

Além disso, o manejo inadequado de fertilizantes, como a adubação nitrogenada amoniacal, pode causar acidez no solo, uma vez que sua aplicação frequente ocasiona a acidificação por meio do processo de nitrificação do íon amônio (NH_4^+), liberando prótons H^+ (Ashitha et al., 2021; Pahalvi et al., 2021).

Nesse sentido, a adoção de estratégias que reduzam os teores de Al^{3+} no solo é essencial para o aumento da produtividade das culturas agrícolas. A nutrição das plantas está intimamente ligada à fertilidade do solo e, solos ácidos, classificados como de baixa fertilidade e, a presença de Al^{3+} limitam o crescimento e absorção radicular de nutrientes (Ecco et al., 2014; Silva et al., 2015).

Gesso Agrícola

O que é e qual é sua origem?

O Gesso Agrícola, também denominado de fosfogesso ou sulfato de cálcio di-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) é um sal neutro obtido da indústria de fertilizantes fosfatados. Esse é o mais utilizado na agricultura brasileira e sua obtenção se dá através da reação entre a rocha fosfática, previamente moída, e o ácido sulfúrico. Esse processo ocorre para geração do ácido fosfórico e produção de fertilizantes fosfatados, como o superfosfato triplo, MAP (fosfato monoamônico) e DAP (fosfato diamônico) (Malavolta, 1979), e gera de 4 a 5 toneladas de gesso agrícola para cada 1 tonelada de P_2O_5 na forma de ácido fosfórico (Vitti, 2000).

Quando aplicado ao solo, o gesso atua em camadas subsuperficiais, melhorando o ambiente de crescimento radicular. Isso favorece o aprofundamento das raízes das plantas, devido a sua alta solubilidade e mobilidade no solo (Ma et al., 2018; Men et al., 2022).

Para ser utilizado como condicionador de solo e corretivo de sodicidade, o sulfato de cálcio precisa apresentar características químicas e físicas de acordo com as Instruções Normativas N° 35, de 04 de julho de 2006, e, N° 05, de 23 fevereiro de 2007. De acordo com as Instruções Normativas, esses materiais devem apresentar cálcio e enxofre na forma de sulfato, com garantia mínima de 16% de Ca e 13% de S (Brasil, 2006).

No que diz respeito à natureza física do Gesso Agrícola, para fins comerciais, o produto deve atender às condições de granulometria descritas na Instrução Normativa N° 35. Esta normativa estabelece em seu Art. 2.º que os produtos devem passar 100% por uma peneira de 2 mm, no mínimo 70% em peneira de 0,84 mm e no mínimo 50% em peneira de 0,3 mm (Brasil, 2006).

Quanto à coloração, o gesso agrícola pode variar de branco-amarelado a cinza escuro, dependendo da quantidade de matéria orgânica aderida às superfícies dos cristais di-hidratados das rochas (Min et al., 2008; Rashad, 2015). É importante destacar que essa variação de cor não influencia na qualidade do produto.

No Brasil, o Gesso Agrícola pode ser obtido a partir da moagem da gipsita, como ocorre na Região do Araripe, no Sertão Pernambucano, ou do processo de obtenção do ácido fosfórico em indústrias de fertilizantes fosfatados. O gesso originado da gipsita corresponde ao produto da desidratação térmica e moagem dessa rocha, conforme apresentado na Figura 2.

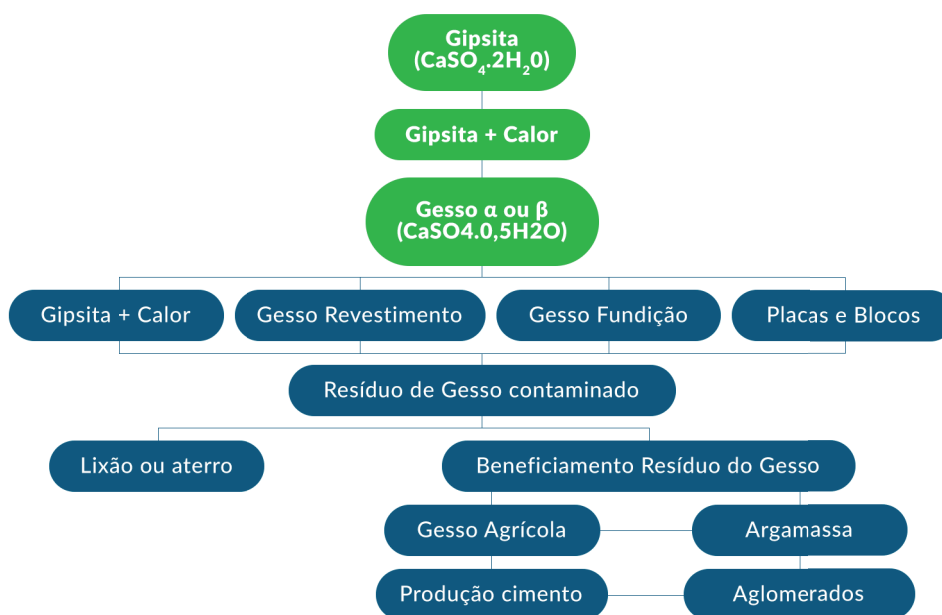


Figura 2. Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da gipsita.
Fonte: Ferreira et al. (2022)

O Gesso Agrícola obtido do processo industrial surge da lixiviação ácida da rocha fosfatada, utilizando ácido sulfúrico concentrado, ou ácido fosfórico e água (Figura 3).

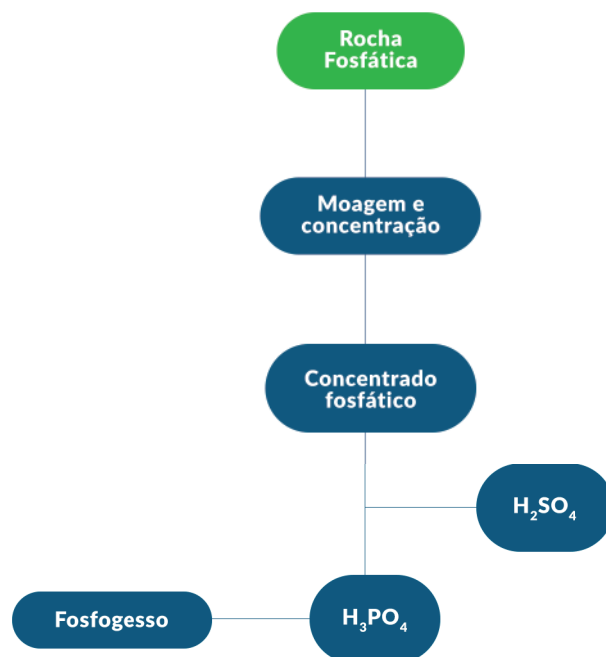
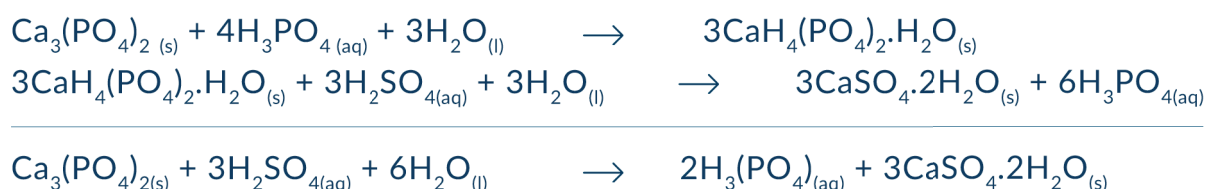


Figura 3. Fluxograma simplificado do processo de beneficiamento da gipsita.
Fonte: Ferreira et al. (2022)

Nesse processo, o ácido sulfúrico se dissociado em água, levando a quebra da estrutura cristalina da apatita, liberando o fósforo na forma iônica para a solução. Na acidulação, o cálcio também é liberado na solução, se ligando ao sulfato livre, e dando origem ao sulfato de cálcio. Quando este se liga ao fosfato, é denominado fosfogesso, conforme ilustrado nas equações abaixo (Fernandes, 2011).



Reações químicas do gesso no solo

A aplicação de sulfato de cálcio (gesso agrícola) no solo resulta em diversos benefícios à estrutura e à fertilidade do solo. Um dos principais efeitos é o aumento dos teores de K^+ e Mg^{2+} na solução do solo, por meio do processo de troca iônica. Esse processo favorece a lixiviação desses nutrientes durante o deslocamento vertical do gesso ao longo do perfil do solo. Quando a lixiviação mantém esses nutrientes ao alcance das raízes, há um efeito positivo, pois, melhora a absorção pelo sistema radicular, contribuindo para o crescimento das plantas (Raij, 2008).

Em solos com altos teores de Al^{3+} e acidez elevada, onde a camada superficial já foi corrigida com calcário, o gesso agrícola atua na redução da toxicidade do alumínio. Isso ocorre pela precipitação do Al^{3+} , formando compostos como AlSO_4^+ ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Esses compostos reduzem a atividade do alumínio tóxico, o que é fundamental para o desenvolvimento radicular em camadas mais profundas. Além disso, a aplicação de gesso promove a formação de compostos neutros, como CaSO_4 , MgSO_4 e K_2SO_4 , que percolam com a água, resultando na redução do alumínio no solo e no aumento das concentrações de Ca^{2+} e sulfato (SO_4^{2-}) em profundidade (Caires et al., 2011).

É importante ressaltar que, embora o Gesso Agrícola contribua para melhorar a qualidade do solo em subsuperfície, ele não neutraliza a acidez do solo, ou seja, não altera diretamente o pH. Isso ocorre porque o ânion SO_4^{2-} permanece estável no solo e não atua como receptor de elétrons, o que seria necessário para neutralizar a acidez (Raij, 2008). Assim, o gesso é mais eficaz na correção de problemas relacionados à acidez em profundidade e à disponibilidade de nutrientes, mas não substitui o calcário na correção do pH da camada superficial.

Uso do gesso na agricultura

Neste tópico serão abordadas as finalidades de aplicações do Gesso Agrícola e sua atuação no solo quando aplicado como condicionador de solo, como fertilizante e, como condicionador de salinidade e sodicidade.

Condicionador de solo

O Gesso Agrícola apresenta a característica de condicionador de solo por proporcionar melhorias nas características químicas e físicas das camadas subsuperficiais do solo, favorecendo o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, aumentando a eficiência de absorção de água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo.

Como o gesso agrícola é um sal 150 vezes mais solúvel em água do que o calcário (Basso et al., 2005; Gindri, 2019; Moraes, 2022), a sua aplicação no solo em presença de umidade possibilita a dissociação deste resultando em íons Ca^{2+} , SO_4^{2-} e formação do composto neutro CaSO_4^0 , cuja carga neutra possibilita sua movimentação ao longo do perfil do solo, promovendo a melhoria das características químicas do subsolo.

Nesse processo de dissociação e troca iônica na solução do solo pode ocorrer o deslocamento do Ca^{2+} , que está em maior concentração, provocando a movimentação dos íons Al^{3+} aderidos aos coloides para a solução do solo. Simultaneamente, os íons SO_4^{2-} se ligam ao alumínio, formando a espécie química menos tóxica AlSO_4^+ . Essa complexação reduz a atividade do íon Al^{3+} tanto na solução do solo quanto no complexo de troca, o que minimiza os efeitos inibitórios do alumínio no crescimento radicular. Com isso, há um estímulo ao aprofundamento das raízes, permitindo que as plantas explorem camadas mais profundas do solo em busca de água e nutrientes, melhorando sua resistência a condições adversas, como seca e baixa fertilidade em camadas superficiais (Figura 4).

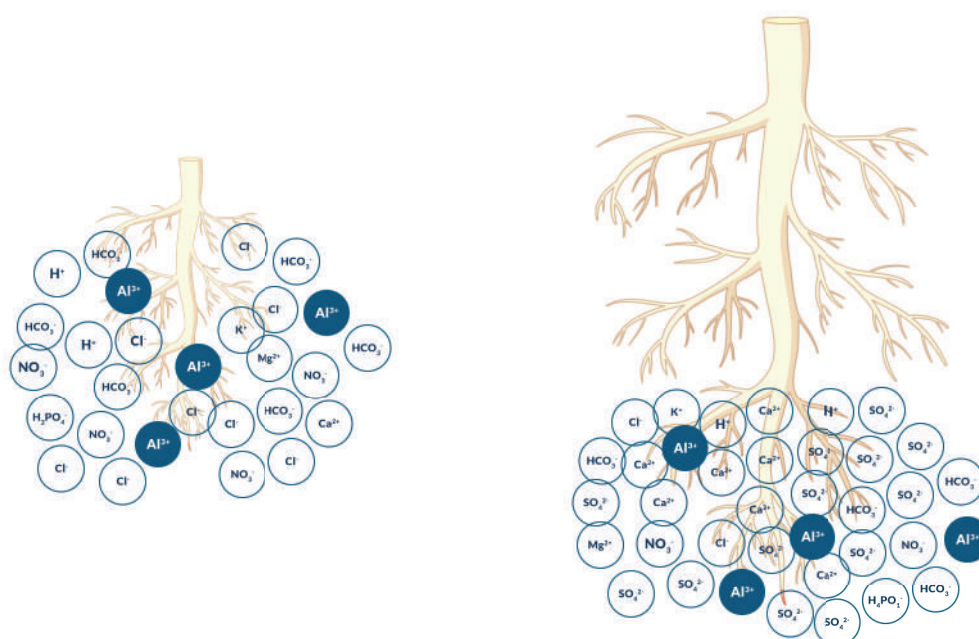


Figura 4. Crescimento do sistema radicular sem gesso e com gesso.

Dentro desse contexto, vale salientar que a função do gesso agrícola não consiste em corrigir a acidez nem em reduzir a concentração do Al^{3+} trocável no solo, mas sim na formação de complexos menos tóxicos, diminuindo a atividade do Al^{3+} em profundidade. A ação do gesso está associada à diminuição da saturação por alumínio, decorrente do aumento do teor de cálcio em camadas mais profundas, o que favorece o desenvolvimento do sistema radicular.

Além disso, o íon SO_4^{2-} pode ser adsorvido por minerais de argila e por óxidos de ferro e alumínio, o que pode dificultar sua movimentação para camadas mais profundas do solo. Esse processo de adsorção está relacionado às condições de eletroneutralidade, onde os cátions precisam ser acompanhados por ânions, seja na forma de complexos ou íons livres, para manter o equilíbrio de cargas no solo.

Ademais, a adsorção de sulfato também desempenha um papel importante na dinâmica do fósforo no solo. Como o sulfato compete pelos mesmos sítios adsortivos que o fosfato (PO_4^{3-}), sua presença pode reduzir a fixação de fósforo nos minerais do solo, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas. Isso é particularmente benéfico em solos com alta capacidade de fixação de fósforo, pois contribui para a maior eficiência do fósforo aplicado via fertilizantes. Em estudo conduzido por Bossolani (2018) foi constatado que a aplicação de doses de gesso entre 1500 e 3000 kg ha⁻¹, proporcionou maiores produtividades para as culturas da soja e milho. O gesso agrícola é um insumo que contribui para o alcance de altas produtividades, devido atuar em dois fatores que influenciam negativamente no desenvolvimento do sistema radicular, que são a alta concentração de alumínio tóxico no solo e a deficiência de cálcio.

Nesse sentido, o gesso agrícola age nesses dois fatores, em profundidade, conferindo maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Isso proporciona um aproveitamento mais eficiente da água e dos nutrientes, além de conferir maior resistência às plantas em situações de menor disponibilidade hídrica, como ocorre nos períodos de veranicos. Pias et al. (2020) relataram que o efeito positivo do Gesso na produtividade de grãos foi duas vezes maior em condição de déficit hídrico, evidenciando seu papel crucial na adaptação das culturas a ambientes com restrição de água.

Efeito fertilizante

Nos cultivos agrícolas, o gesso tem o papel de melhorar a qualidade do solo e proporcionar o fornecimento de cálcio nas camadas mais profundas do solo, favorecendo o aumento da eficiência da absorção de água e nutrientes das espécies cultivadas. O gesso agrícola é constituído por 18% de cálcio e 15% de enxofre, o que permite a utilização deste como alternativa para o fornecimento de cálcio (Ca) e enxofre (S) em profundidade e reduzir os teores de alumínio (Al^{+3}), restringindo o efeito tóxico deste ao sistema radicular, possibilitando ganhos significativos na produtividade.

A redução da acidez na camada inferior do solo pode ser ocasionada pelo deslocamento de cátions, principalmente de Ca, K e Mg, ao longo do perfil do solo (Etesami e Adl, 2020). Isso promove o aumento dos teores desses nutrientes em profundidade e a diminuição da saturação por alumínio, mitigando os efeitos prejudiciais decorrentes de elevadas concentrações desse elemento.

O enxofre é um macronutriente móvel no solo, o que facilita o processo de perda deste nutriente por lixiviação e erosão. Essa mobilidade pode resultar em uma diminuição significativa da sua disponibilidade no perfil do solo, levando à deficiência nutricional nas plantas cultivadas. Como o enxofre desempenha um papel fundamental na síntese de proteínas e na formação de compostos essenciais para o metabolismo vegetal, sua falta pode comprometer o crescimento e a produtividade das culturas. Além da mobilidade do enxofre no solo, outros fatores também contribuem para sua deficiência. Entre eles, destaca-se o baixo teor de matéria orgânica, que é uma importante fonte de enxofre disponível para as plantas.

A alta exportação de S pelas culturas colhidas, as elevadas precipitações, e o pH elevado do solo também podem reduzir os níveis desse nutriente no perfil do solo. Além disso, o aumento no uso de fertilizantes que não contêm enxofre, como MAP, cloreto de potássio, superfosfato triplo e ureia, agrava ainda mais o problema. Todos esses fatores, combinados, influenciam diretamente na disponibilidade de enxofre, impactando o desenvolvimento das plantas e a produtividade agrícola (Fiorini et al., 2016). Dessa forma, o gesso agrícola pode ser aplicado no solo também como fertilizante, uma vez que fornece cálcio e o enxofre em camadas mais profundas do solo.

Dentro desse contexto, foi relatado em diversos estudos (Caires et al., 2001; Caires et al., 2004; Soratto e Crusciol, 2008; Bossolani, 2018) que a aplicação do gesso agrícola no solo proporcionou incremento de S e Ca foliares. Este se deve ao fato de o gesso agrícola aplicado no solo apresentar uma quantidade de SO_4^{2-} -S considerável que pode ser absorvido pelas plantas.

Uso do gesso agrícola como atenuador de salinidade

A salinização do solo é um processo caracterizado pelo acúmulo de sais solúveis como o cloreto de sódio, sulfato de cálcio e magnésio, carbonatos e bicarbonatos (Wali et al., 2021). Esta pode ocorrer de duas formas: ter origem natural, ocasionada pelo intemperismo das rochas durante a formação dos solos; e, pela ação antrópica, a qual provém do uso excessivo de fertilizantes, pela qualidade da água de irrigação, nível de drenagem e profundidade do lençol freático (Cavalcante et al., 2016).

O solo é considerado salino quando apresenta valor de pH inferior a 8,5, Condutividade elétrica (CE) maior que $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e, percentual de sódio trocável (PST) menor que 15%. Os solos são classificados como sódicos quando há excesso do cátion sódio no solo e apresentam pH maior do que 8,5, CE inferior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e, PST inferior a 15% (Richard, 1954).

A sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas podem ser comprometidos pela salinização devido às ações antrópicas, ou naturais. Dessa forma, para reduzir a concentração de sais solúveis no solo, algumas técnicas de remediação têm sido utilizadas, como o uso do Gesso Agrícola (Yu et al, 2018; Zhao et al, 2018).

A aplicação do gesso agrícola atua como condicionador de salinidade e sodicidade em virtude da ocorrência de reação de substituição do Na^+ , presente no complexo de troca, pelo Ca^{2+} , cujo íon atua na melhoria da estrutura do solo (Albuquerque et al., 2018).

Construção do perfil do solo

O perfil do solo corresponde a uma seção vertical e bidimensional, usada para descrever e classificar solos em campo, a partir das interações das características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas do solo. O perfil (Figura 5) tem início na superfície do solo, se aprofunda até rocha e é constituído por camadas ou horizontes (Lima e Melo, 2007; Nascimento et al., 2013).

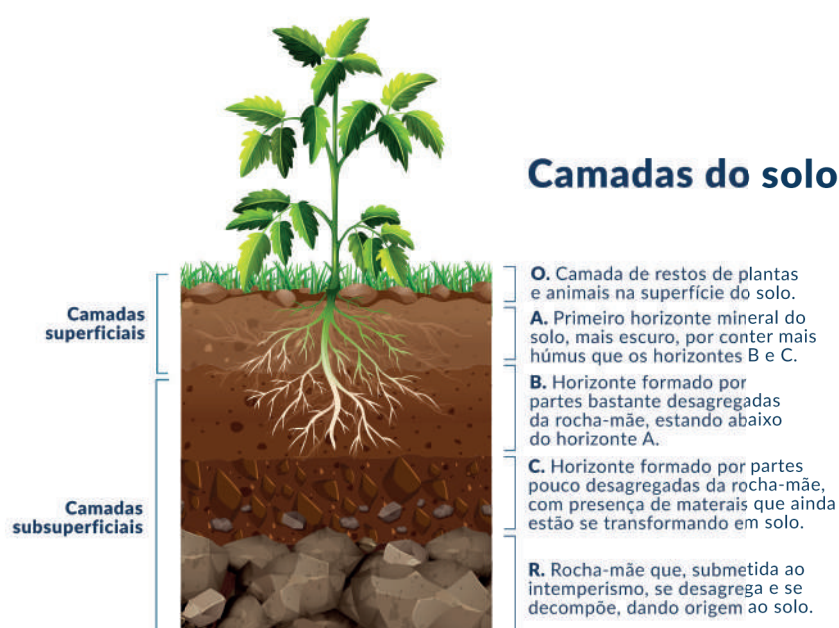


Figura 5. Classificação das camadas existentes no perfil do solo

Dentro do contexto de alcançar altas produtividades, o termo construção do perfil do solo equivale à adoção de práticas de manejo que favoreçam o crescimento, desenvolvimento e produtividades das culturas agrícolas. Dessa forma, um solo que seja quimicamente corrigido, possua as características físicas adequadas, sem impedimento e esteja com a microbiologia do solo ativa é a base para atender às necessidades das plantas, proporcionando que estas expressem o máximo potencial produtivo (Pascoalino et al., 2022).

Assim, para que as plantas tenham condições de desenvolver seu sistema radicular sem impedimentos químicos, físicos e biológicos, faz-se necessário a adoção de estratégias que criem estas condições no sistema de produção, por meio da manutenção dos aspectos que compõem a construção do perfil do solo.

Aspectos químicos do solo

A construção e manutenção do aspecto químico do solo ocorrem através da análise dos valores de pH, saturação por bases, percentual de saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de matéria orgânica (MO), nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

A manutenção do pH do solo na faixa ideal é fundamental para os cultivos agrícolas, devido a acidez do solo estar relacionado aos altos teores de Al^{3+} , mas também pela ocorrência de deficiência de nutrientes como o Ca, Mg e P (Embrapa, 1997).

Nesse sentido, o uso do calcário, em camadas superficiais, é comumente utilizado na correção da acidez do solo, devido ao carbonato de cálcio e de magnésio reagirem com os colóides do solo, promovendo a precipitação do alumínio e manganês, bem como o aumento do pH e dos teores de cálcio e magnésio na solução do solo (Soratto et al., 2010).

No entanto, vale salientar que o calcário possui baixa solubilidade e, conseqüentemente, baixa mobilidade no solo, limitando sua ação às proximidades da área aplicada (Silva et al., 2015). Nesse contexto, o uso do gesso agrícola tem sido usado para aumentar a disponibilidade de Ca em profundidade, favorecendo o aumento de produtividade das culturas, principalmente em condições de secas (Soratto et al., 2010).

Além disso, o uso do gesso agrícola atua na melhoria da capacidade de absorção de nutrientes em profundidade, mas também no crescimento vertical e horizontal do sistema radicular no solo, expandindo o volume de solo explorado (Pias et al., 2020).

Aspectos físicos do solo

A compactação do solo é um fator que limita a qualidade das características físicas do solo e, conseqüentemente, impede o crescimento do sistema radicular das plantas, o que pode ocasionar a redução da expansão foliar e condutância estomática (Lipiec e Hatano, 2003), impedindo que as culturas agrícolas alcancem altas produtividades (Chen e Weil, 2010).

Outro fator que compromete a produtividade das culturas é a erosão do solo. Esta corresponde a remoção de camadas do solo pela ação dos ventos e/ou hídricas. Além da perda de solo, este processo ocasiona a perda da fertilidade dos solos, comprometendo o crescimento e desenvolvimento das culturas (Hossain et al., 2020).

Assim, para evitar e corrigir os efeitos desses impedimentos físicos no solo, é essencial a adoção de técnicas conservacionistas, como o revolvimento mínimo do solo (Sistema Plantio Direto), a cobertura permanente do solo, a rotação de culturas e o uso contínuo de calcário e gesso agrícola. Essas práticas ajudam a melhorar a aeração do solo e facilitam a penetração das raízes ao longo do perfil, além de promover uma maior infiltração de água e uma melhor absorção de nutrientes pelas plantas (Sartori et al., 2022). Dessa forma, essas estratégias contribuem para a sustentabilidade agrícola, garantindo solos mais saudáveis e produtivos a longo prazo.

Aspectos biológicos

A melhoria dos aspectos biológicos do solo está diretamente ligada ao restabelecimento de seu microbioma, promovido por práticas como a adição de matéria orgânica, rotação de culturas, adoção do plantio direto, entre outras técnicas que incentivam o aumento da biodiversidade. Essas práticas não apenas ampliam a diversidade de raízes, como também favorecem a formação de agregados no solo, o que melhora a estrutura física e biológica. A presença de uma maior variedade de raízes estimula a percolação de água, a difusão de oxigênio e facilita a movimentação de nutrientes para camadas mais profundas, melhorando a disponibilidade de recursos essenciais ao desenvolvimento das plantas (Pascoalino e Silva, 2022).

Além disso, a adoção contínua de técnicas de construção e manutenção do perfil do solo, como o uso de calcário, gesso agrícola e práticas conservacionistas, proporciona uma maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas culturas. Isso, por sua vez, não apenas aumenta a resiliência das plantas em condições adversas, como também contribui diretamente para o incremento da produtividade agrícola, garantindo sistemas de produção mais sustentáveis e rentáveis a longo prazo.

Critérios de recomendação de aplicação de gessagem

A necessidade de aplicação de gesso agrícola é determinada com base nos resultados da análise do solo. A amostragem deve ser realizada em diferentes profundidades, dependendo do tipo de cultura. Para culturas anuais, a coleta de amostras deve ser feita nas profundidades de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm. Já para culturas perenes, a recomendação é que a amostragem ocorra em profundidades maiores, entre 60 e 80 cm. Esse procedimento garante uma avaliação precisa das condições do solo nas camadas mais profundas, onde o gesso agrícola tem maior impacto, promovendo a melhoria da fertilidade e disponibilidade de nutrientes ao longo do perfil do solo (Vitti et al., 2016).

Os critérios para a recomendação do gesso agrícola, visando melhorar as características químicas do solo em subsuperfície, incluem a avaliação do teor de Ca, a m% e a V%. O teor de cálcio é importante para garantir a disponibilidade desse nutriente essencial nas camadas mais profundas do solo. A saturação por alumínio, por sua vez, está diretamente relacionada à toxicidade do alumínio nas raízes, sendo necessária sua redução para evitar efeitos prejudiciais ao desenvolvimento radicular. Já a saturação por bases indica o equilíbrio de nutrientes no solo, como cálcio, magnésio e potássio, que são fundamentais para a nutrição das plantas. Esses fatores são analisados com base nos resultados da amostragem de solo para definir a necessidade e a dose adequada de gesso, de modo a otimizar o crescimento das culturas e melhorar a eficiência do uso da água e dos nutrientes. (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios para recomendação de aplicação de gessagem utilizados no Brasil

Critério	Parâmetro	Referência
Teor de cálcio	$Ca \leq 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Raij et al. (1996); Ribeiro et al. (1999)
	$Ca \leq 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Sousa e Lobato (2004)
Teor de alumínio	$Al \geq 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Ribeiro et al. (1999)
	$Al (m) \geq 5\% \text{ (milho)}$	Pias et al. (2020)
Saturação por alumínio (m)	$Al (m) \geq 10\% \text{ (soja)}$	Pias et al. (2020)
	$Al (m) \geq 20\%$	Sousa e Lobato (2004)
	$Al (m) \geq 30\%$	Ribeiro et al. (1999)
	$Al (m) \geq 40\%$	Raij et al. (1996)
Saturação por base	$V \leq 35\%$	Vitti et al. (2008)

Em relação aos métodos de recomendação para a aplicação do gesso agrícola, existem diferentes abordagens, baseadas nas camadas diagnósticas em profundidade (20 a 40 cm, ou 30 a 50 cm) (Tabela 2).

Tabela 2. Métodos de recomendação de gessagem utilizados no Brasil

Método	Fórmula para cálculo da necessidade de gessagem (NG)	Referência
Textura do solo (% argila)	$NG (t ha^{-1}) = 0,00034 - 0,002445X^{0,5} + 0,0338886X - 0,0017636X^{1,5}$	Alvarez et al. (1999)
Teor de argila – Cerrado I	$NG (t ha^{-1}) = 50 \times \text{argila} (\%)$	Sousa e Lobato (2004)
Teor de argila – São Paulo	$NG (t ha^{-1}) = 60 \times \text{argila} (\%)$	Raij et al. (1996)
Teor de argila – Cerrado II	$NG (t ha^{-1}) = 75 \times \text{argila} (\%)$	Sousa e Lobato (2004)
CTC e V%	$NG (t ha^{-1}) = \frac{(V_2 - V_1) \times CTC_{cmol_c dm^{-3}}}{50}$	Vitti et al. (2006)
Correção subsuperficial	$NG (t ha^{-1}) = 0,25 \times \text{Necessidade de calcário}$	Alvarez et al. (1999)
Elevação %Ca na CTCe	$NG (t ha^{-1}) = (0,6 \times CTCe - \text{teor de Ca}_{(20-40 \text{ cm})} (cmol_c dm^{-3})) \times 6,4$	Caires e Guimarães (2018)

Dentre os métodos mencionados na Tabela 2, o estudo de Caires e Guimarães (2018) é o mais recente e aborda a relação entre a produtividade das culturas e saturação por cálcio (Ca^{2+}) na CTC efetiva (CTCe) do subsolo, considerando como camada diagnóstica a profundidade de 20 a 40 cm. Este método decorre da aplicação da quantidade de gesso necessária para elevar a saturação de Ca^{2+} da camada subsuperficial para 60% quando o valor da saturação for inferior a 54%.

Resposta das culturas agrícolas à aplicação de Gesso Agrícola

O aumento da produtividade das culturas agrícolas desempenha papel crucial nos cultivos por estar associado à maior disponibilidade de alimentos, geração de emprego e aumento da renda do produtor rural. Portanto, para alcançar incrementos na produtividade, o produtor deve investir na melhoria dos sistemas de produção, adotando o uso racional dos recursos naturais e implementando práticas de manejo agrícola sustentáveis.

Dentre as práticas de manejo adotadas para aumentar a eficiência dos sistemas de produção, a construção do perfil do solo destaca-se como uma estratégia primordial para o desenvolvimento das culturas. Ao melhorar a estrutura do solo, essa prática facilita o aprofundamento e o aumento do volume de solo explorado pelas raízes, o que, por sua vez, aumenta a disponibilidade de água e nutrientes.

Como resultado, as plantas conseguem absorver esses recursos de forma mais eficiente, promovendo um crescimento mais robusto e uma maior produtividade. O desenvolvimento do sistema radicular em profundidade contribui para redução dos efeitos ocasionados pelo déficit hídrico, além de aumentar a produtividade das culturas quando comparado com áreas que apresentam solos com deficiências químicas e degradações na estrutura física do solo (Franchini et al., 2009; Piveta et al., 2011).

Nesse sentido, ao analisar resultados obtidos pelo comitê Estratégico Soja Brasil, constata-se que a obtenção de maiores produtividades está relacionada com a construção do perfil do solo, sendo expresso pelo desenvolvimento do sistema radicular (Figura 6) e altos teores de cálcio em profundidade (Figura 7) (Sako et al., 2015).

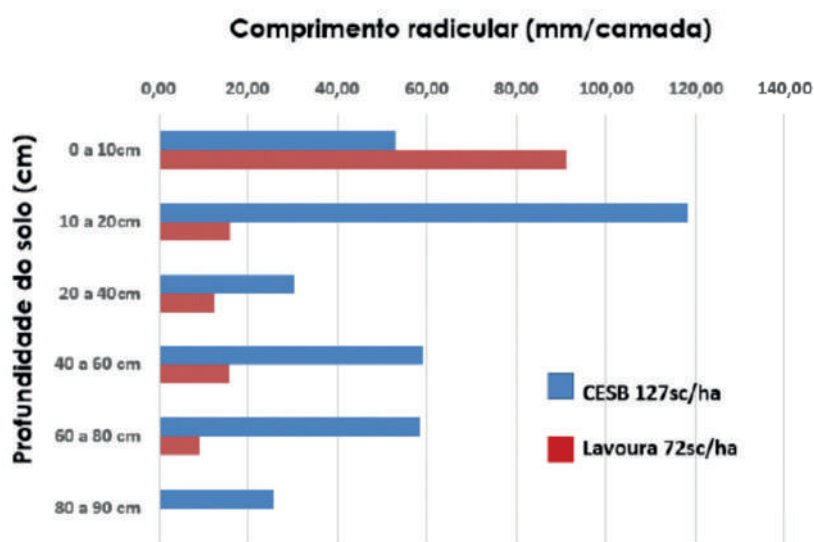


Figura 6. Correlação entre a profundidade do sistema radicular e a profundidade da soja.
Fonte: Sako et al. (2015).

Prof. (cm)	Δ pH	pH	K	Mg	Ca	Al	CTC	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	M.O
	--	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³									
															%	g dm ⁻³
0-10	-1.0	5.6	7.8	4	53	0	97.9	45	12	1.2	5.6	48	4.6	3.4	66	36
10-20	-0.6	5.5	6.7	4	66	0	115.9	57	15	0.9	7.0	40	2.1	2.2	73	35
20-40	-1.0	5.5	5.7	3	54	0	107.9	35	50	0.5	5.9	42	1.9	1.8	67	30
40-60	-1.1	5.4	5.7	2	29	0	87.9	24	175	0.3	0.5	36	0.6	0.5	45	30
60-80	-1.1	5.2	4.5	1	1	0	65.9	5	180	0.4	0.1	17	0.8	0.5	38	17
80-100	-0.7	5.1	4.5	1	1	0	58.3	2	326	0.2	0.3	9	0.2	0.2	33	15
100-120	-0.3	5.0	4.3	0	7	0	51.0	3	5	0.2	0.2	7	0.4	0.5	22	10
120-140	0.0	5.0	4.2	0	7	0	46.7	2	0	0.2	0.1	6	0.2	0.1	22	10
140-160	0.0	5.2	4.0	0	5	0	38.6	2	0	0.2	0.0	6	0.2	0.1	19	9
160-180	0.0	5.2	4.0	0	3	0	37.5	2	0	0.2	0.0	5	0.4	0.1	18	9
180-200	0.0	5.2	4.0	2	4	0	34.4	9	9	0.3	0.0	4	0.2	0.1	19	7

Figura 7. Caracterização química do solo para obtenção de altas produtividades.
Fonte: CESB (2022).

Em um estudo conduzido por Bossolani et al. (2022), foi constatado que a aplicação do gesso agrícola no cultivo da soja resultou em um aumento significativo na produtividade de grãos. Ao comparar o tratamento controle (sem aplicação de calcário e gesso agrícola) com a aplicação apenas do gesso agrícola, de calcário, e de calcário combinado com gesso agrícola, os resultados mostraram um aumento na produtividade média de grãos de 15, 116 e 140%, respectivamente (Figura 8).

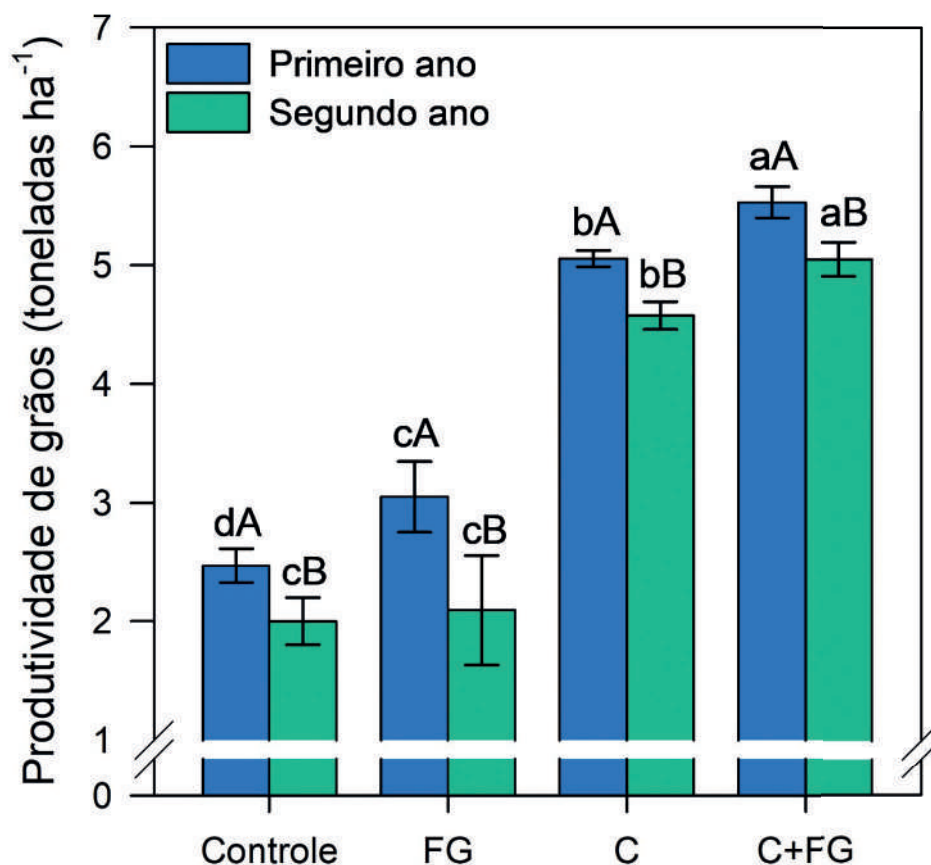


Figura 8. Efeito dos tratamentos controle, gesso agrícola (FG), calcário (C) e calcário + gesso agrícola (C+FG) sobre a produtividade de grãos de soja.

Fonte: Bossolani et al. (2022).

Em outro trabalho, ao avaliar a produção de milho em resposta à aplicação do gesso agrícola, Bossolani et al. (2021) relataram que a aplicação de calcário junto com o gesso agrícola proporcionou maiores médias para a produtividade de grãos, com incremento de 260%, quando comparado com o tratamento controle; seguido pela aplicação de calcário, com incremento de 200%; e, da aplicação do Gesso Agrícola, com incremento de 31% (Figura 9).

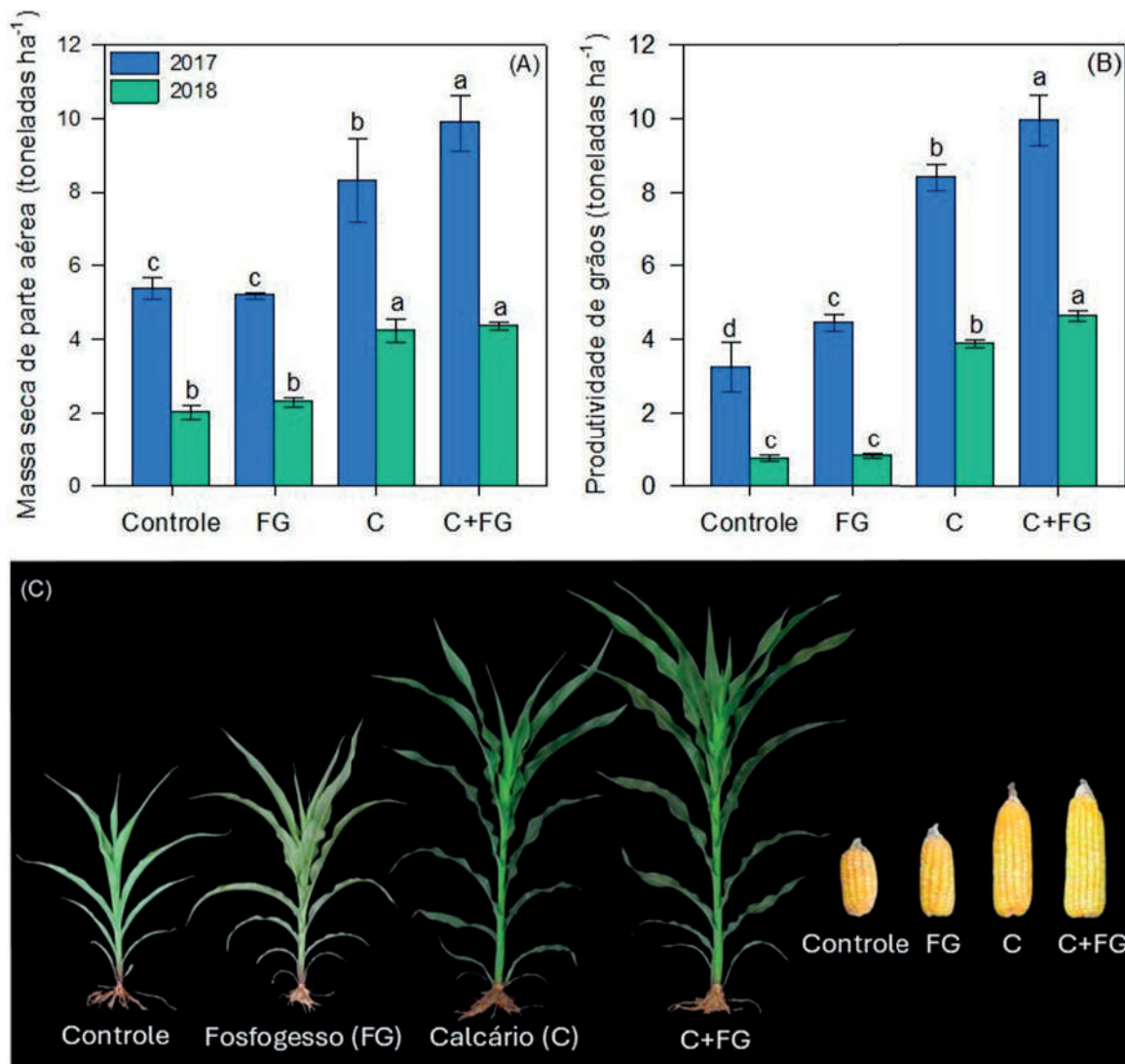


Figura 9. Efeito dos tratamentos controle, gesso agrícola (FG), calcário (C) e calcário + gesso agrícola (C+FG) sobre a produtividade de grãos de milho.

Fonte: Bossolani et al. (2021).

O amendoim é uma cultura que, ao longo do seu ciclo produtivo, apresenta uma alta demanda de Ca para o desenvolvimento adequado dos frutos. A deficiência desse nutriente resulta na formação de vagens chochas, comprometendo a qualidade dos frutos e reduzindo a produtividade (Foloni et al., 2016). Em um estudo conduzido por Olibone et al. (2021), foi observado um aumento significativo na produtividade do amendoim com a aplicação de doses crescentes de gesso agrícola. O melhor resultado foi obtido com a dose de 1000 kg ha⁻¹ de gesso, atingindo uma produtividade de 4.783,6 kg ha⁻¹ de grãos.

Os efeitos do gesso agrícola não se restringem à culturas anuais. O incremento de produtividade na cultura do café também foi observado por Silva (2023) ao avaliar o efeito do uso de gesso agrícola no cultivo consorciado do cafeeiro com a braquiária. De acordo com o autor, as parcelas, as quais foram aplicadas o gesso e plantadas a *U. ruziziensis* em faixas de 2,5 m obtiveram ganho de produtividade e qualidade dos frutos do cafeeiro.

A cana-de-açúcar, uma cultura semi-perene, é outra cultura que tem apresentado resultados altamente expressivos quanto ao aumento de produtividade e tolerância às condições ambientais adversas quando manejadas com o gesso agrícola. Nesse sentido, Silva et al. (2023) constataram que houve incremento na produtividade da cana-de-açúcar quando se utilizou torta, gesso agrícola e bagaço em conjunto.

Em estudo recente com a cultura da laranja, Istri et al. (2021) relataram que a aplicação de 750 g árvore⁻¹ de gesso agrícola proporcionou incremento no peso do fruto da laranjeira, de 70,35%, quando comparado com o tratamento sem aplicação de gesso agrícola.

O gesso agrícola também tem sido utilizado no cultivo do tomateiro como condicionador do solo, a fim de favorecer o crescimento do sistema radicular em profundidade e facilitar o deslocamento de cátions às camadas subsuperficiais. Nesse sentido, Jorge (2019), ao estudar o aprofundamento do sistema radicular do tomateiro para a manutenção da abertura estomática observou que a aplicação antecipada e silício proporcionaram aumento da taxa fotossintética e da condutância estomática e, incremento da produtividade do tomateiro.

Avaliação da eficiência agronômica do Gesso Agrícola na cultura da soja e do efeito residual na cultura do milho

A soja e o milho são commodities de destaque mundial e nacional, estando entre os principais produtos de nossas exportações (Branco et al., 2021). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção estimada para a Safra 2022/23 foi de 154,6 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de 23,2% em relação à safra anterior. A produção do milho estimada para a mesma safra foi de 131,9 milhões de toneladas, com incremento de 16,52% em relação à Safra anterior.

Entretanto, para que as plantas produtoras de grãos expressem seu máximo potencial produtivo, elas necessitam de condições adequadas de acidez do solo, pois altas concentrações de Al³⁺ comprometem o desenvolvimento e produtividade das culturas (Castro Pias, et al., 2020).

A CultiBras Agronegócios LTDA é uma empresa que investe continuamente no setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D), a fim de obter respostas que atendam às necessidades dos produtores e do mercado. Como o nosso compromisso é fornecer ao produtor informações que impulsionam a sustentabilidade e aumento de produtividade, devido ao uso do gesso agrícola, a Rehagro conduziu dois ensaios em parceria com a CultiBras, a fim de verificar a viabilidade agrônômica de aplicação de gesso agrícola na cultura da soja e do milho na safra 2021/22.

O primeiro experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o desempenho agrônômico do gesso no incremento dos componentes de produção e produtividade da cultura da soja. A soja foi semeada em época convencional, na região de Campo das Vertentes, nas intermediações da Estação Experimental Rehagro Pesquisa. Os tratamentos consistiram em tratamento controle (sem aplicação de gesso), aplicação de gesso agrícola, aplicação de calcário e, aplicação de calcário + gesso agrícola, considerando a proporção 3:1. Como resultados têm-se que o uso do gesso agrícola e do calcário junto com o gesso agrícola proporcionaram incremento nas variáveis altura de planta, número de grãos por planta, peso de mil grãos e, produtividade (Figura 10).

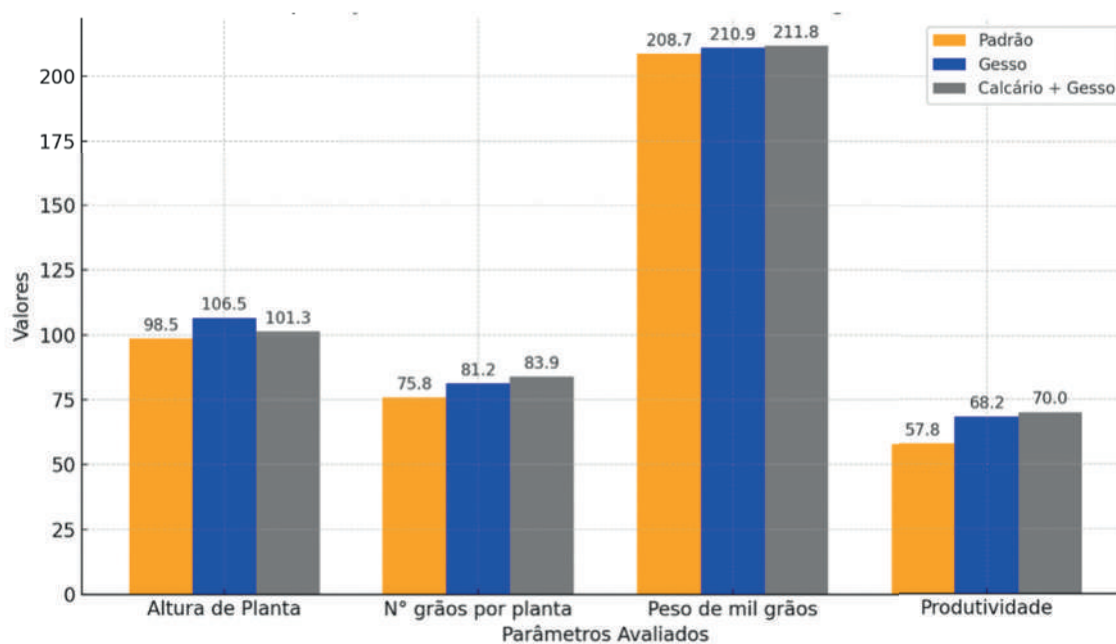


Figura 10. Efeito dos tratamentos controle, gesso agrícola (FG), calcário (C) e calcário + gesso agrícola (C+FG) sobre a produtividade de grãos de milho.

Fonte: Bossolani et al. (2021).

A utilização do Gesso Agrícola no cultivo promoveu incremento de 8,12% para a altura de planta, 7,12% para o número de grãos por planta, 1,05% para o peso de mil grãos, e, 17,99% para a produtividade, quando comparado com a testemunha. Analogamente, a aplicação de calcário junto com gesso agrícola possibilitou um aumento de 2,84% para a altura de planta, 10,69% para o número de grãos por planta, 1,48% par ao peso de mil grãos, e, 21,11% para a produtividade, em comparação com a testemunha.

Os resultados da altura de planta são importantes devido a esta variável está relacionada com a produção, controle de plantas infestantes, acamamento e eficiência da colheita. Nesse sentido, Silva e Farias Filho (2019) relataram que os valores médios de altura de planta adequados à colheita mecanizada da soja estão compreendidos entre 60 e 120 cm. Logo, os tratamentos proporcionaram valores médios dentro do padrão para a componente estudada.

A determinação do número de grãos por planta é um componente importante a ser avaliado, pois alterações nessa variável está diretamente relacionada ao ajuste da produtividade (Xu et al., 2020). Ademais, o peso de mil grãos está diretamente ligado a fatores climáticos e ao correto manejo fitossanitário (Nunes, 2021).

Portanto, dentro das condições de estudo, as plantas que foram tratadas com gesso e, a junção de calcário e gesso agrícola foram as mais produtivas, apresentando incremento no rendimento, em relação à testemunha.

O segundo experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica do residual do calcário e gesso, aplicados no cultivo da soja, na cultura do milho safrinha quanto às características agrônômicas e de produtividade.

O milho foi semeado em época convencional, na região de Campo das Vertentes, nas intermediações da Estação Experimental Rehagro Pesquisa. Os tratamentos consistiram em uma testemunha, aplicação de gesso agrícola, aplicação de e, aplicação de calcário + gesso agrícola, considerando a proporção 3:1. Como resultados têm-se que o uso do gesso agrícola e do calcário junto com o gesso proporcionaram incremento nas variáveis número de grãos por espiga, peso de mil sementes e, produtividade (Figura 11).

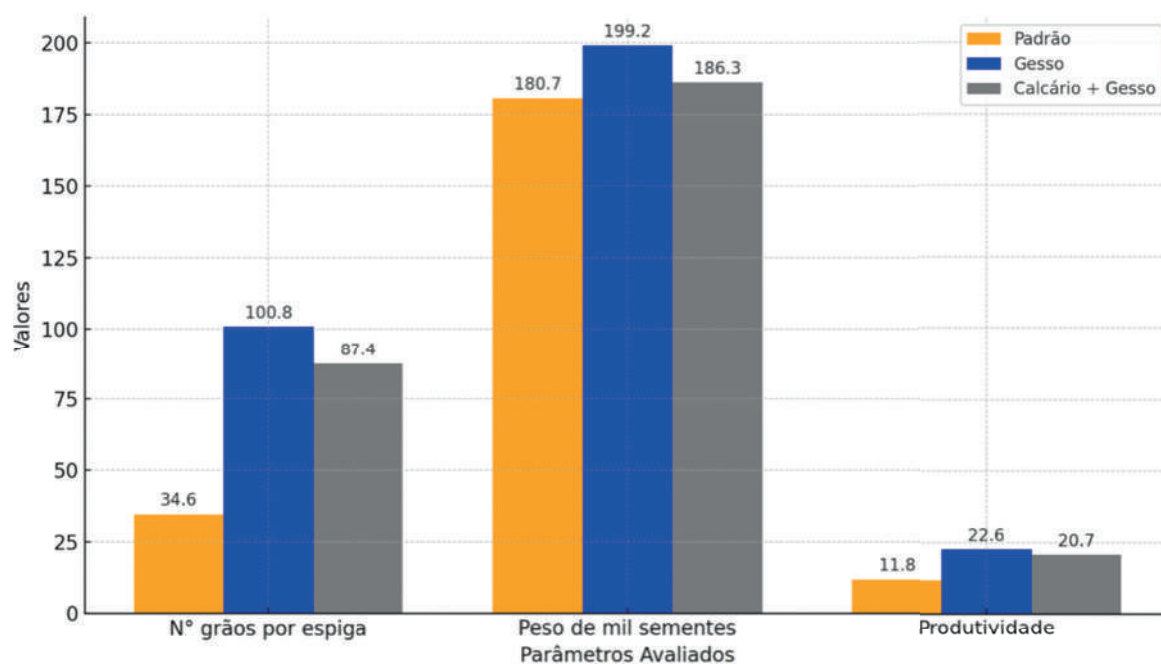


Figura 11. Número de grãos por planta, peso de mil sementes e produtividade do milho cultivado sob aplicação de gesso agrícola e calcário.

A utilização do gesso agrícola no cultivo apresentou incremento 2,91 vezes maior para o número de grãos por espiga, 1,10 vez para o peso de mil sementes, e, 1,91 vezes para a produtividade, em relação à testemunha. Da mesma forma, a aplicação de calcário junto com gesso agrícola possibilitou um aumento de 2,53 vezes para o número de grãos por espiga, 1,03 vez para o peso de mil sementes, e, 1,75 vezes para a produtividade, em comparação com a testemunha.

Em suma, pode-se relatar que os resultados obtidos para a componente produtividade foram influenciados pelas condições climáticas desfavoráveis. Além disso, é possível inferir que o uso do gesso agrícola e, a aplicação conjunta de calcário e gesso agrícola apresentaram melhores respostas para as variáveis estudadas, em comparação com a testemunha.

Influência do Gesso Agrícola no sequestro e estoque de carbono

O Gesso Agrícola é um insumo utilizado em sistemas agrícolas para reduzir a toxicidade do Al^{3+} e aumentar os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} nas camadas subsuperficiais (Caires et al., 2015). Além desses efeitos amplamente conhecidos pelas comunidades científicas e do setor do agronegócio, estudos têm demonstrado o efeito significativo do gesso agrícola no processo de sequestro e estoque de carbono, como o observado por Araújo (2016) em cultivo de cana-de-açúcar e por Inagaki et al. (2016) em sistema de plantio direto.

Nesse sentido, diversos estudos (Briedis et al., 2012; Inagaki et al., 2016) relatam que a aplicação de calcário e gesso agrícola atua como fonte de aumento do carbono orgânico no solo (COS). O uso do gesso agrícola tem sido relacionado com o estoque de carbono no solo, devido às interações que ocorrem entre COS e os cátions Ca^{2+} , à separação física dos substratos dos decompositores, e às ocorrências limitantes de temperatura e umidade do solo que influenciam no crescimento e desenvolvimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica. Visto que, a textura das camadas subsuperficiais dos solos com gesso agrícola contribuem para a estabilização do COS por meio da inacessibilidade espacial dos microrganismos (Kahle et al., 2003; Rodríguez-Rastrero e Ortega-Martos, 2022).

Ademais, íons de cálcio (Ca^{2+}) atuam no processo de formação de ligações iônicas divalentes entre a matéria orgânica do solo e as partículas de argila, favorecendo a agregação do solo e a preservação do carbono. A longo prazo, o aumento da biomassa e o efeito agregador do Ca^{2+} intensificam o sequestro e estoque de carbono, especialmente em práticas de agricultura sustentável (Inagaki et al., 2017).

Logo, o gesso agrícola contribui para o sequestro de carbono por fornecer Ca^{2+} na solução do solo, além de atuar na redução da salinidade e melhoria da compactação do solo (Basak et al., 2021). E contribui para o estoque de COS pela função do Ca^{2+} na estabilização da matéria orgânica e pela alta solubilidade do gesso agrícola que permite sua movimentação ao longo do perfil do solo, favorecendo o estoque de carbono em profundidade (Von Lützow et al., 2006; Rowley et al., 2018; Rodríguez-Rastrero e Ortega-Martos, 2022). Além do aumento de carbono ocasionado pelo sistema radicular (Von Lützow et al., 2006).

Ao avaliar o efeito do gesso agrícola no armazenamento de carbono orgânico no solo (COS), bem como a estabilidade de reservatórios de COS e a produtividade dos cultivos de arroz e trigo, Basak et al. (2021) observaram que a aplicação do gesso agrícola resultou tanto em uma maior estabilização do COS, tanto em formas lábeis quanto não lábeis, quanto no aumento do carbono total orgânico (COT) em comparação ao tratamento controle (solo não tratado). Ainda de acordo com esse estudo, a aplicação dos tratamentos melhorou o retorno de biomassa e deposição de carbono nas raízes, levando a um aumento do sequestro de carbono e da produtividade agrícola.

Em estudo conduzido por Inagaki et al. (2017) com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação do calcário e gesso agrícola na atividade microbiana e estoque de carbono no solo em sistema de plantio direto (SPD) e em laboratório, os autores constataram que o uso do calcário e gesso agrícola podem aumentar significativamente a atividade microbiana e estoque lábil de COS, a longo prazo, em sistema de plantio direto. Ainda de acordo com os o aumento do COS ocorreu devido ao aumento da atividade microbiana e aos teores de Ca^{2+} no solo e que o aumento da atividade dos microrganismos não levou ao esgotamento de COS quando foi cultivado soja em SPD.

Portanto, de acordo com os dados apresentados, o uso do gesso agrícola nos sistemas de produção apresenta efeito benéfico na fertilidade do solo, na quantidade e atividade microbiana, nas enzimas do solo, no estoque de carbono no solo e na produtividade das culturas agrícolas.

Dúvidas frequentes sobre o Gesso Agrícola

Qual é o período mais adequado para aplicação do Gesso Agrícola?

O Gesso Agrícola pode ser aplicado a partir de 30 dias após a aplicação do calcário. Quando o solo não apresenta grandes limitações químicas, a aplicação do calcário + Gesso Agrícola é uma possibilidade viável, pois reduz o número de operações, o que gera economia ao produtor. Vale salientar que a aplicação conjunta desses insumos pode ser realizada desde que seja utilizada a recomendação adequada de calagem e gessagem.

Em culturas anuais, como os cereais, a aplicação do gesso agrícola deve coincidir com o início das chuvas. Vale salientar que a aplicação do Gesso reduz os efeitos dos riscos climáticos em culturas cultivadas na safrinha.

Em culturas perenes, a aplicação do gesso agrícola pode ser realizada no primeiro ano em que as plantas foram transplantadas. E, quando a cultura já está estabelecida, a gessagem permite o aprofundamento do sistema radicular, reduzindo o efeito do estresse hídrico em período de seca e, maior eficiência na absorção de nutrientes. Em relação à área de abertura, o Gesso Agrícola pode ser incorporado ao solo (Brasil et al., 2020).

Quais são os critérios de recomendação da Gessagem?

A recomendação de Gessagem deve ser feita com base nos seguintes critérios:

Critério	Parâmetro	Referência
Teor de cálcio	$Ca \leq 5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Sousa e Lobato (2004)
Saturação por alumínio (m)	$Al (m) \geq 5\%$	Pias et al. (2020)
	$Al (m) \geq 10\%$	Pias et al. (2020)

Qual é o período mais adequado para aplicação do Gesso Agrícola?

A Gessagem é uma prática agrícola que propicia como benefícios a melhoria da estrutura e das características químicas do solo, favorece o crescimento vertical e horizontal do sistema radicular em profundidade, reduz a atividade do alumínio trocável nas camadas mais profundas do solo, maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas plantas, maior tolerância às plantas sob déficit hídrico e, aumento de produtividade.

Como o Gesso Agrícola atua no solo?

O Gesso Agrícola é um sal solúvel, que em presença de umidade no solo, dissocia-se formando íons (SO_4^{2-} , Ca^{2+}) e complexos solúvel neutro (CaSO_4^0), com perda das moléculas de água. Os íons dissociados podem participar do processo de troca iônica na superfície dos coloides do solo, atuando como fontes de cálcio e enxofre para as plantas.

O sulfato de cálcio neutro lixivia ao longo do perfil do solo, atingindo camadas mais profundas. Ademais, o íon SO_4^{2-} dissociado na camada superficial pode se associar a íons metálicos presentes no solo, formando pares iônicos, os quais se movimentam para as camadas mais profundas, elevando os teores dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) em profundidade e, conseqüentemente, propiciando a melhoria das características químicas das camadas subsuperficiais.

Neste processo de troca iônica, o Ca^{2+} pode deslocar o Al^{3+} da superfície dos coloides e este, presente na solução do solo, formam o AlSO_4^+ por meio do processo de complexação do sulfato. Dessa maneira, constata-se que o gesso agrícola não tem a função de corrigir pH, nem de reduzir o teor de Al^{3+} trocável no solo, contudo ele altera a forma química do alumínio mais tóxica, para uma menos tóxica (Brasil et al., 2020).

A aplicação do gesso agrícola proporciona também a melhoria das características físicas do solo, devido ao produto apresentar efeito flocculante, aumentando a agregação das partículas de argila e, em consequência, aumenta a porosidade do solo, a permeabilidade e capacidade de retenção de água.

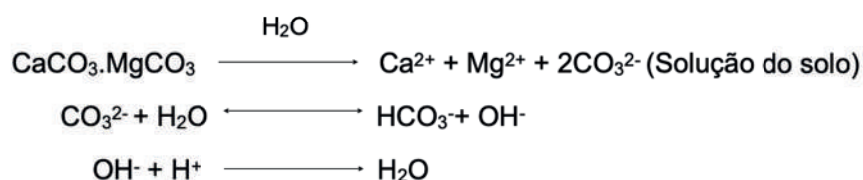
Qual é a diferença entre calcário e Gesso Agrícola?

O calcário é uma rocha sedimentar carbonatada, constituída principalmente por carbonato de cálcio (calcita), ou dolomito, cuja função é aumentar o pH do solo, neutralizar os elementos tóxicos presentes no solo, fornecer Ca e Mg, aumenta a CTC, atua nas camadas superficiais e, melhora o aproveitamento de nutrientes.

O gesso agrícola é um sal oriundo tanto do processo industrial de fertilizantes fosfatados, quanto pela extração da gipsita. Ele é um condicionador de solo, atua nas camadas mais profundas do solo, fornece Ca e S, reduz o teor de Al^{3+} em profundidade, favorece o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e, proporciona maior absorção de água e nutrientes.

Por que o Gesso não corrige a acidez do solo?

A calagem é a prática indicada para correção da acidez do solo, neutralizar o alumínio e o manganês tóxicos nas camadas superficiais e fornecer cálcio e magnésio para as culturas agrícolas. O calcário é capaz de neutralizar a acidez do solo através da dissociação da calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), quando em contato com água (Equação 1) (Primavesi e Primavesi, 2004).



O gesso agrícola, por sua vez, é um sal que se dissocia em água liberando íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} , além de formar um complexo neutro CaSO_4^0 , possibilitando a fácil movimentação deste ao longo do perfil do solo, conferindo-lhe a função de condicionador de solo.

Pode-se usar gesso e calcário ao mesmo tempo?

Em áreas de abertura, o ideal é fazer a calagem e, após o calcário reagir, aplicar o gesso agrícola. Já em áreas de manutenção, pode-se optar tanto pela aplicação da calagem, seguido da Gessagem, semelhante ao recomendado em áreas de abertura, quanto se pode fazer em conjunto a calagem e a Gessagem.

Qual é a solubilidade do Gesso Agrícola?

O fosfogesso apresenta alta solubilidade em água ($2,4 \text{ g L}^{-1}$), em relação ao calcário ($0,014 \text{ g L}^{-1}$), ou seja, ele é cerca de 171 vezes mais solúvel do que o calcário (Brasil, et al., 2020).

Qual é a diferença entre o enxofre presente no Gesso Agrícola e o enxofre elementar?

O enxofre presente no Gesso Agrícola está na forma S-SO_4^{2-} , cuja forma é prontamente absorvida pelas plantas. O enxofre elementar (S^0), por sua vez, não está prontamente disponível para as plantas e precisa ser transformado em sulfato, por meio da reação de oxidação catalisada por microrganismos (Fuentes-Lara, et al., 2019).

Para que esta reação ocorra, os microrganismos necessitam de condições ideais de temperatura, umidade, textura do solo área de superfície de contato do enxofre (Ranadev et al., 2023).

Qual é a diferença existente entre o Gesso Agrícola e o gesso da construção civil?

O Gesso Agrícola é um sal utilizado como condicionante do solo e de sodicidade, constituído por cálcio e enxofre, com garantia mínima de 16% de Ca e 13% de S. Esse pode ser adquirido de forma natural, por meio da moagem da rocha gipsita, ou através do processo industrial da produção de fertilizantes fosfatados.

O gesso da construção civil é oriundo da adição da rocha gipsita, após o processo de calcinação (perda de parte da água da cristalização da rocha), ao clínquer (Santana, 2008; Carneiro et al., 2015). A gipsita hemidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) é utilizada na confecção de estruturas pré-moldadas como placas de forro, placas de gesso acartonado e decoração (Brasil et al., 2020).

Referências

Albuquerque, A. S.; Fonsêca, N. C.; Santos, R. V. dos. Aplicação de corretivos alternativos em solo salinizado com cultivo de Sorghum bicolor L. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 452-458, 2018.

Araújo, L.G. Uso do gesso e sua influência na produção de cana-de-açúcar, atributos químicos e estoque de carbono no solo de cerrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, p. 101, 2016.

Ashitha, A.; Rakhimol, K. R.; Mathew, J. Fate of the conventional fertilizers in environment. In: **Controlled release fertilizers for sustainable agriculture**. Academic Press, p.25-39, 2021.

Basak, N.; Sheoran, P.; Sharma, R.; Yadav, R. K.; Singh, R. K.; Kumar, S.; Sharma, P. C. Gypsum and pressmud amelioration improve soil organic carbon storage and stability in sodic agroecosystems. **Land Degradation & Development**, v. 32, p. 4430-4444, 2021.

Basso, C.; Nuernberg, N. J.; Rech, T. D. Usos do gesso agrícola. **Boletim Técnico**, p. 35-35, 2005.

Bossolani, J. W. **Reaplicação superficial de calcário e gesso em sistema plantio direto: efeitos no solo e na sucessão de culturas**. 2018. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Bossolani, J. W.; Crusciol, C. A. C.; Garcia, A.; Moretti, L. G.; Portugal, J. R.; Rodrigues, V. A.; Fonseca, M. C.; Calonego, J. C.; Caires, E. F.; Amado, T. J. C.; Reis, A. R. D. Long-term lime and phosphogypsum amended-soils alleviates the field drought effects on carbon and antioxidative metabolism of maize by improving soil fertility and root growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 650296, 2021.

Bossolani, J. W.; Crusciol, C. A. C.; Moretti, L. G.; Garcia, A.; Portugal, J. R.; Bernart, L.; Vilela, R. G.; Caires, E. F.; Amado, T. J. C.; Calonego, J. C.; dos Reis, A. R. Improving soil fertility with lime and phosphogypsum enhances soybean yield and physiological characteristics. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 2, p. 26, 2022.

Branco, J. E. H.; Bartholomeu, D. B.; Junior, P. N. A.; Caixeta Filho, J. V. Mutual analyses of agriculture land use and transportation networks: The future location of soybean and corn production in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 194, p. 1-10, 2021.

Brasil, E. C.; Lima, E. D. V.; Cravo, M. D. S. **Uso de gesso na agricultura**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 13p., 2020.

Brasil. **Instrução Normativa n. 5, de 23 de fevereiro de 2007**. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 01 mar. 2007. Seção 1, p. 10-21.

Brasil. **Instrução Normativa Nº 35, de 04 de julho de 2006**. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados a agricultura D.O.U., 12 de julho de 2006.

Briedis, C.; Sá, J.C.d.M.; Caires, E.F.; de Fátima Navarro, J.; Inagaki, T.M.; Boer, A.; de Oliveira Ferreira, A.; Neto, C.Q.; Canalli, L.B.; Bürkner dos Santos, J. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under long-term no-till. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.76, p.151-160, 2012.

Caires, E. F.; Feldhaus, I. C.; Blum, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213-223, 2001.

Caires, E. F.; Kusman, M. T.; Barth, G.; Garbuio, F. J.; Padilha, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

Caires, E. F.; Garbuio, F. J.; Churka, S.; Joris, H. A. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2011.

Caires, E.; Haliski, A.; Bini, A.; Scharr, D. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **Eur. J. Agron.** 66, 41-53, 2015.

Caires, E. 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.

Carneiro, V. A.; de Melo, C., Neto, S.; Ribeiro, A. C. C.; de Oliveira, T. M.; Gonçalves, B. B. Utilização de resíduos de gesso da construção civil para incremento no desenvolvimento de *Crotalaria retusa*. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 6, n. 1, p. 140-155, 2015.

Cavalcante, L. F.; Santos, R. V. dos.; Hernandez, F. F. F.; Gheyi, H. R.; Dias, T. J.; Nunes, J. C.; Lima, G. S. de. Recuperação de solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de.; Gomes Filho, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, v. 2, chap. 28, p. 461- 477, 2016.

CESB – comitê Estratégico Soja Brasil. **Case Campeão Nacional/sudeste – Safra 21/22**. Disponível em: <<https://www.cesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/06/case-SUDESTE-v1-Site.pdf>> Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

Chen, G.; Weil, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v. 331(1), p.31–43, 2010.

Companhia Nacional de Abastecimento – Conab. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas#:~:text=Diante%20do%20cen%C3%A1rio%20favor%C3%A1vel%2C%20a,%C3%A1%20registrada%20na%20s%C3%A9rie%20hist%C3%B3rica.>>> Acesso em: 22 de fev. de 2024.

Costa, N. R.; Andreotti, M.; de Araújo Ulian, N.; Costa, B. S.; Pariz, C. M.; Cavasano, F. A.; Filho, M. C. M. T. Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 8-16, 2015.

Da Silva, P. A. P. L.; de Farias Filho, R. Aspectos produtivos de cultivares de soja para região de Machado (MG), Brasil. **Revista Agrogeoambiental**, v.11, n.2, p. 1-12, 2019.

Daraz, U.; Li, Y.; Ahmad, I.; Iqbal, R.; Ditta, A. Remediation technologies for acid mine drainage: Recent trends and future perspectives. **Chemosphere**, v. 311, p. 137089, 2023.

De Castro Pias, O. H.; Tiecher, T.; Cherubin, M. R.; Silva, A. G.; Bayer, C. Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, p. 675-692, 2020.

De Sousa, D. M. G.; Lobato, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004., 2004.

Ecco, M.; Santiago, E. F.; Lima, P. R. Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 59, 2014.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

Etesami, H.; Adl, S. M. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and their action mechanisms in availability of nutrients to plants. **Phyto-Microbiome in stress regulation**, p. 147-203, 2020.

Faleiro, F. G.; Sousa, E. D. S.; de Sousa, E. D. S. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 138p., 2007.

Fernandes, N. J. Efeito das impurezas ferro, Alumínio e Magnésio na cadeia de processamento Químico do Fosfato. 2011. 204 f. 2012. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia.

Ferreira, C. C. F.; Araújo, G. P.; Pedrosa Júnior, L. P.; Campos-Takaki, G. M. C. **Danos ambientais gerados pela disposição de resíduos da construção civil**. Capítulo V. In: Mariano Neto, M.; Brito, H. C. A produção do conhecimento nas engenharias – Novas fronteiras, tecnologias e desafios, Ed.: Amplla, 172p., 2022.

Fiorini, I. V. A.; Von Pinho, R. G.; Pires, L. P. M.; Santos, Á. D. O.; Fiorini, F. V. A.; Cancellier, L. L.; Resende, E. L. Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.1, p. 20-29, 2016.

Foloni, J. S. S.; de Moraes Barbosa, A.; Catuchi, T. A.; Calonego, J. C.; Tiritan, C. S.; Dominato, J. C.; Creste, J. E. Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 202-208, 2016.

Franchini, J.C.; Debiassi, H.; Sacoman, A.; Nepomuceno, A.L.; Farias, J.R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 39 pp. (Embrapa Soja. Documentos, 314), 2009.

Gindri, E. **Resposta do milho segunda safra à aplicação de gesso agrícola**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Hossain, A.; Krupnik, T. J.; Timsina, J.; Mahboob, M. G.; Chaki, A. K.; Farooq, M.; Hasanuzzaman, M. Agricultural land degradation: processes and problems undermining future food security. In: **Environment, climate, plant and vegetation growth**. Cham: Springer International Publishing, p. 17-61, 2020.

Inagaki, T. M.; de Moraes Sá, J. C.; Caires, E. F.; Gonçalves, D. R. P. Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use?. **Science of the Total Environment**, v. 599, p. 523-532, 2017.

Inagaki, T.M.; Sá, J.C.d.M.; Caires, E.F.; Gonçalves, D.R.P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 231, p.156–165, 2016.

Jorge, M. A. Aprofundamento radicular para a manutenção da abertura estomática no tomateiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Viçosa, 66p., 2019.

Kahle, M.; Kleber, M.; Torn, M.S.; Jahn, R. Carbon storage in coarse and fine clay fractions of illitic soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.67, p.1732–1739, 2003.

Lima, V. C.; Melo, V. D. F. Perfil do solo e seus horizontes. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, p. 11-16, 2007.

Lipiec, J.; Hatano, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116(1), p.107–136, 2003.

Liu, W.; Tang, Y.; Ma, J.; Zhang, W.; Liao, S.; Cui, S.; Zengqian, Y.; Liu, D. Effects of biochar and inorganic amendments on soil fertility, tea yield, and quality in both Pb–Cd-contaminated and acidified tea plantations. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1-10, 2023.

Ma, B.; Lu, W.; Su, Y.; Li, Y.; Gao, C.; He, X. Synthesis of α -hemihydrate gypsum from cleaner phosphogypsum. **Journal of cleaner production**, v. 195, p. 396-405, 2018.

Malavolta, E. **Tecnologia de Fertilizantes para o Brasil**. Palestra apresentada no In: SIMPÓSIO SOBRE TECNOLOGIA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO

Min, Y.; Jueshi, Q.; Ying, P. Activation of fly ash–lime systems using calcined phosphogypsum. **Construction and building materials**, v. 22, n. 5, p. 1004-1008, 2008.

Moraes, E. L. **Doses de gesso agrícola no solo e sua correlação com a produtividade de soja em área inoculada ou não com *Azospirillum brasilense***. 2022. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Nascimento, C. T. C. D.; Santos, D. D. S.; Júnior, A. F. C. Utilização de imageamento elétrico 2D no estudo de latossolos. In: **13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 26–29 August 2013**. Society of Exploration Geophysicists and Brazilian Geophysical Society, 2013. p. 189-194.

Nunes, J. N. Produtividade e qualidade de sementes de soja em diferentes zonas de manejo e densidade de plantio. 2021.

Olibone, D.; Pivetta, L. G.; Duarte, M. M. S., Soares Filho, S., Silva, J. L. L.; Pydd, M. E. O. Resposta do amendoim a doses de gesso agrícola nas condições de Sorriso-MT. **South American Sciences**, v. 2, n. edesp2, p. 21139-21139, 2021.

Pahalvi, H. N.; Rafiya, L.; Rashid, S.; Nisar, B.; Kamili, A. N. Chemical fertilizers and their impact on soil health. **Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs**, p. 1-20, 2021.

Pascoalino, J. A. L.; da Silva, L. A. Construção do Perfil do solo – uma prática inicial e essencial! In: **Soja – o que o produtor precisa saber?** Comitê Estratégico de soja do Brasil – CESB. p. 16-18, 2022.

Pias, O.H.C.; Tiecher, T.; Cherubin, M.R.; Silva, A.G.B.; Bayer, C. Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. **Agron. J.** 112, p. 675–692, 2020.

Primavesi, A. C.; Primavesi, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

Raij, B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).

Raij, B. V. **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233p.

Ranadev, P.; Revanna, A.; Bagyaraj, D. J.; Shinde, A. H. Sulfur oxidizing Bacteria in Agro ecosystem and its role in Plant Productivity-A Review. **Journal of Applied Microbiology**, p. 1xad161, 2023.

Rashad, A. M. Potential use of phosphogypsum in alkali-activated fly ash under the effects of elevated temperatures and thermal shock cycles. **Journal of cleaner production**, v. 87, p. 717-725, 2015.

Ribeiro, A. C.; Guimaraes, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

Richards, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USSS, 1954. 160p.

Rodríguez-Rastrero, M.; Ortega-Martos, A. Carbon stock assessment in gypsum-bearing soils: the role of subsurface soil horizons. **Earth**, v. 3, p. 839-852, 2022.

Ronquim, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Campinas, SP, p. 36. 2020.

Rowley, M.C.; Grand, S.; Verrecchia, É.P. Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. **Biogeochemistry**, v.137, p.27-49, 2018.

Sako, H.; Soares, J. E.; Silva, L. A. D.; Balardin, R. Relações de enraizamento e cálcio no solo para alta produtividade da safra 15/16. **Boletim Técnico CESB**, 2015.

Santana, D. M. F. **Estudo de obtenção de água do processo de desidratação da Gipsita na produção de Gesso**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

Sartori, F.; Piccoli, I.; Polese, R.; Berti, A. Transition to conservation agriculture: how tillage intensity and covering affect soil physical parameters. **Soil**, v. 8, n. 1, p. 213-222, 2022.

Silva, J. H. B.; Almeida, L. J. M.; Silva, A. V.; Araújo, J. R. E. S.; Santos, J. P. O.; Silva, A. J.;... Mielezrski, F. Filter cake increases sugarcane yield. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-8, 2023.

Silva, J. P. N. **Consórcio cafeeiro e Urochloa ruziziensis: Efeitos na produtividade, população de nematóides e bicho-mineiro.** Trabalho de conclusão de Curso (Agronomia) - a Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 30f., 2023.

Silva, L. D.; Leite, H. P. P.; Bastos, F. G.; Freire, L. V.; Higa, A. R.; Victoria, D. D. C. **Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado.** p. 1-14, 2021.

Silva, W. B.; Barcelos, F. P. de.; Sichoocki, D.; Silva, G. M. C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo e no desenvolvimento da Brachiaria ruziziensis L. Perspectivas: **Exatas & Engenharia**, Campos Dos Goytacazes, v. 4, n. 10, p. 1-11, 2015.

Silva, W. B.; Barcelos, F. P. de.; Sichoocki, D.; Silva, G. M. C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo e no desenvolvimento da Brachiaria ruziziensis L. **Perspectivas: Exatas & Engenharia**, v. 4, n. 10, p. 1-11, 2015.

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

Soratto, R. P.; Crusciol, C. A. C.; Mello, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

Vitti, G.C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária.** Piracicaba: ESALQ/GAPE, 2000.

Vitti, G. C.; Lima, E.; Cicarone, F. **Cálcio, magnésio e enxofre.** In: Fernandes, M. S. Nutrição mineral de plantas Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 115-152.

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: GAPE, 2008.

Vitti, G. C.; Priori, J. C. Calcário e Gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Visão Agrícola**, v. 9, p. 30-4, 2009.

Vitti, G. C.; Luz, P.H.C.; Altran, W.S. Nutrição e adubação. In: Santos, F.; Borém. **Cana-de-açúcar do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2016.

Von Lützwow, M.; Kögel-Knabner, I.; Ekschmitt, K.; Matzner, E.; Guggenberger, G.; Marschner, B.; Flessa, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions—A review. **Eur. J. Soil Sci.**, v.57, p.1–20, 2006.

Wali, S. U.; Gada, M. A.; Umar, K. J.; Abba, A.; Umar, A. Understanding the causes, effects, and remediation of salinity in irrigated fields: A review. **International Journal of Agriculture and Animal Production (IJAAP)** ISSN 2799-0907, v. 1, n. 01, p. 9-42, 2021.

Xu, C.; He, Y.; Sun, S.; Song, W.; Wu, T.; Han, T.; Wu, C. Analysis of soybean yield formation differences across different production regions in China. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 4195-4206, 2020.

Yu, P.; Liu, S.; Yang, H.; Fan, G.; Zhou, D. Short-term land use conversions influence the profile distribution of soil salinity and sodicity in northeastern China, **Ecological Indicators**, v. 88, p. 79-87, 2018.

Zhao, Y.; Wang, S.; Li, Y.; Liu, J.; Zhuo, Y.; Chen, H.; Wang, J.; Xu, L.; Sun, Z. Extensive reclamation of saline-sodic soils with flue gas desulfurization gypsum on the Songnen Plain, Northeast China, **Geoderma**, v. 321, p. 52–60, 2018.

Yu, P.; Liu, S.; Yang, H.; Fan, G.; Zhou, D. Short-term land use conversions influence the profile distribution of soil salinity and sodicity in northeastern China, **Ecological Indicators**, v. 88, p. 79-87, 2018.

Zhao, Y.; Wang, S.; Li, Y.; Liu, J.; Zhuo, Y.; Chen, H.; Wang, J.; Xu, L.; Sun, Z. Extensive reclamation of saline-sodic soils with flue gas desulfurization gypsum on the Songnen Plain, Northeast China, **Geoderma**, v. 321, p. 52–60, 2018.

