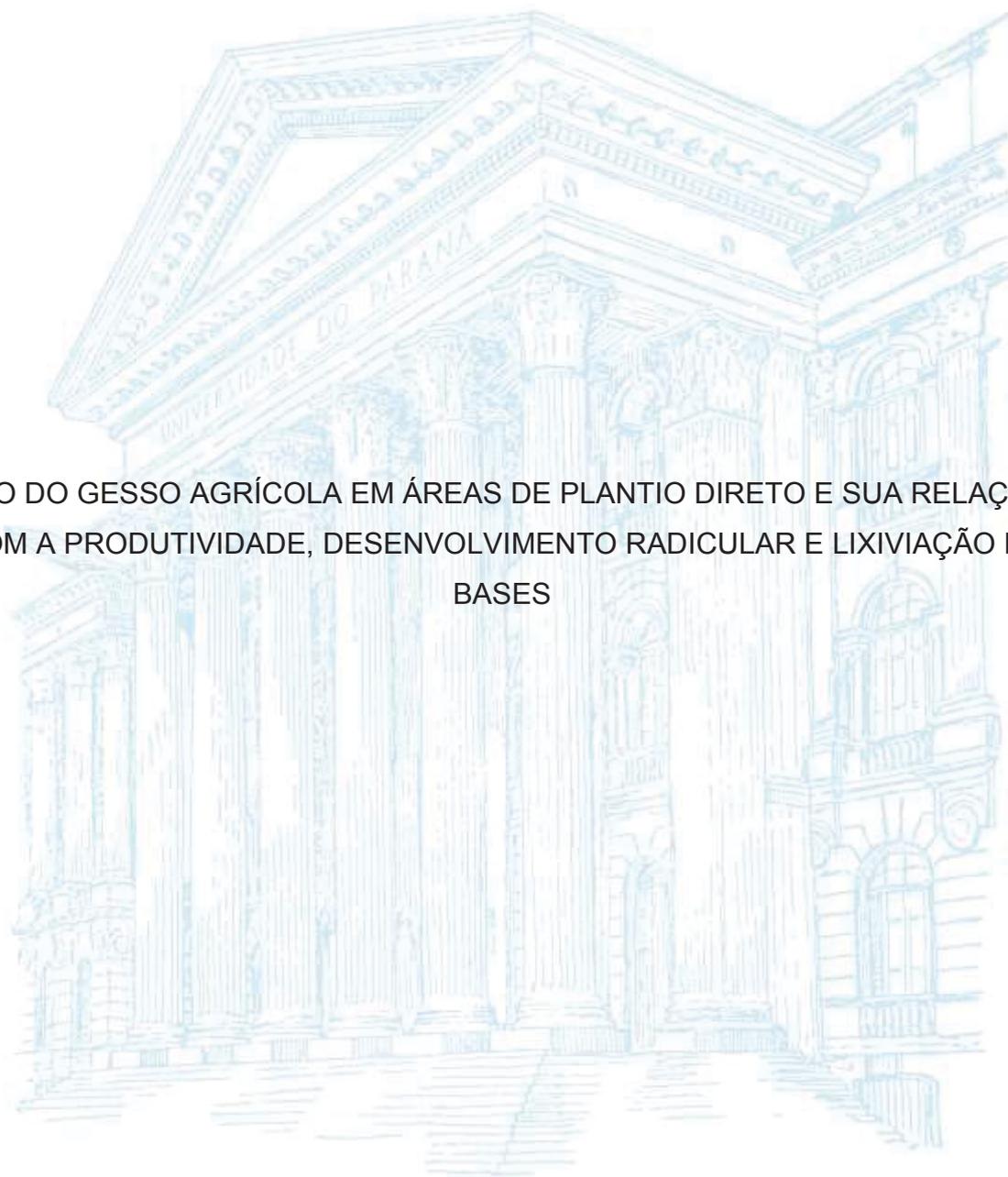


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EVERTON CARLOS RODRIGUES DE SOUZA

USO DO GESSO AGRÍCOLA EM ÁREAS DE PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E LIXIVIAÇÃO DE
BASES



CURITIBA

2020

EVERTON CARLOS RODRIGUES DE SOUZA

USO DO GESSO AGRÍCOLA EM ÁREAS DE PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E LIXIVIAÇÃO DE
BASES

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título em Especialista em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Me. Jair Augusto Zanon

Coorientador: Prof. Me. Felipe A. P. Grabarski

CURITIBA

2020

RESUMO

O uso adequado e sustentável do solo requer conhecimento de técnicas de manejo para o melhor aproveitamento dos sistemas de cultivo, visando obter maiores produtividades. O Brasil é pioneiro no SISTEMA PLANTIO DIRETO (SPD), sendo considerado um sistema de manejo conservacionista com altos rendimentos agrícolas. O SPD se baseia em três princípios: o não revolvimento do solo ou cultivo mínimo, manutenção da cobertura do solo e rotação de culturas. Mesmo sendo um sistema de manejo conservacionista, o SPD requer práticas complementares, com o objetivo de recuperar e/ou otimizar áreas onde a ação antrópica se mostra prejudicial. A aplicação do gesso agrícola fornece vantagens ao SPD, trata-se de um condicionador de solo que além de fornecer cálcio e enxofre, desenvolve o sistema radicular e melhora a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Porém o uso de forma demasiada pode causar consequências indesejadas. Visando a obtenção de melhores resultados frente ao SPD aliado ao uso do gesso agrícola, o presente trabalho estudou o efeito do gesso agrícola no SPD a partir do levantamento bibliográfico de indicadores agronômicos referentes a essa prática de manejo, descrevendo os resultados do ponto de vista da produtividade, desenvolvimento radicular e lixiviação de bases. Dentre os resultados apresentados, podemos concluir que o uso do gesso é benéfico para a produtividade e desenvolvimento radicular em condições de déficit hídrico, e também que o seu uso em excesso pode aumentar a lixiviação de bases. O uso do gesso, quando aliado ao calcário, por exemplo, pode apresentar melhores resultados.

Palavras-chave: Condicionador de solo. Produtividade agrícola. Disponibilidade hídrica. Fertilidade do solo. Cálcio. Enxofre. Alumínio.

ABSTRACT

Adequate and sustainable use of the soil requires technical management knowledge for the best use of the land use and management systems, to obtain greater production and better use. Brazil is a pioneer in the no-tillage system (SPD), being considered a conservation management system with high agricultural harvests. The SPD is based on three principles: not to revolve soil or minimum cultivation, maintenance of soil cover and crop rotation. Even though it is a conservative management system, the SPD requires complementary conservation practices, in order to recover and/or optimize areas where anthropic action is harmful. The application of agricultural plaster uses advantages for the SPD, it is a soil conditioner that in addition to providing and storing frequencies, developing the root system and improving the absorption of water and nutrients by plants, but the use of excessively used form can make trouble. Aiming at better results in front of the SPD, you can use the plaster, the present work or the effect of agricultural use in the SPD, from the bibliographic survey of agronomic indicators related to this management practice, describing the results from the point of view development, root development and base leaching. Among the results obtained, we can emphasize that the benefit is beneficial for the development and root development in conditions of water deficit and its excessive use increases the leaching of bases. Its use when combined with the calculation can present better results.

Keywords: Soil conditioner. Agricultural productivity. Water availability. Soil fertility. Calcium. Sulfur. Aluminium

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	8
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo Geral	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 JUSTIFICATIVA	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO	12
2.1.1 Definição	12
2.1.2 Implantação do sistema plantio direto no Brasil	12
2.1.3 Vantagens	13
2.1.4 Desvantagens	14
2.2 GESSAGEM AGRÍCOLA	15
2.2.1 O gesso agrícola	15
3 METODOLOGIA	16
3.1 TIPO DE ESTUDO	16
3.2 FONTES	16
3.3 COLETA DE DADOS	17
3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE	17
4.2 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	22
4.3 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO À LIXIVIAÇÃO DE BASES	26
5 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) se destaca por ser um sistema de manejo conservacionista, no qual, suas práticas contribuem para minimizar o impacto do uso do solo, aumentando a resistência à desagregação, em consequência da manutenção dos resíduos culturais na superfície promovida pela rotação de culturas, gerando uma camada de proteção (SEIXAS, 2001). Devido ao menor revolvimento do solo durante o manejo agrícola, este sistema gera menor impacto ao meio ambiente, por um lado através da redução do uso de combustível fóssil, devido ao menor uso de máquinas agrícolas, e por outro minimizando os processos erosivos decorrentes da desestruturação física do solo (NETO et al., 2007). Considerado uma inovação tecnológica a partir de sua implantação no Brasil, o sistema de plantio direto gerou benefícios que garantiu a sua consolidação desde o início do milênio (ALVARENGA et al., 2001).

Apesar dos benefícios reconhecidos por esse sistema, existem alguns pontos a serem tratados, como a acidificação do solo, que é considerada um processo natural que pode ser intensificado de acordo com o manejo efetuado, principalmente pela aplicação de fertilizantes de reação ácida. Considerando o SPD, a aplicação de fertilizantes é realizada na linha de semeadura, direto na superfície do solo, contribuindo para acidificação nesta parte, uma vez que não há o revolvimento como no sistema de manejo convencional (CIOTTA et al., 2002). Segundo Costa et al. (2015b), o sistema de plantio direto acelera o processo de acidificação, e da mesma forma que no sistema de cultivo convencional, também há a necessidade de aplicação de insumos, especialmente materiais corretivos de acidez.

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, tem sido amplamente empregado para corrigir a toxidez por alumínio e elevar os teores de cálcio (Ca^{2+}) nas camadas mais profundas do solo (RAMOS et al., 2013). O gesso é um importante insumo no manejo da fertilidade de solos, contudo, sua ação não altera o pH. Ao ser aplicado na superfície, movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação de água e resulta no aumento nos níveis de cálcio e redução na toxicidade de alumínio, devido a interação do íon SO_4^{2-} com o cátion Al^{3+} , formando AlSO_4^+ , que é menos tóxico para as plantas. É, portanto, uma

alternativa para melhorar o ambiente radicular no solo, e pode ser usado em solos ácidos como um complemento para a calagem (COSTA et al., 2015b).

O cálcio está presente no gesso agrícola, sendo considerado um macronutriente, e sua concentração deve estar em níveis adequados para não haver perdas de produtividades por deficiência. Este elemento apresenta baixa mobilidade no floema, sua carência afeta os pontos de crescimento tanto da raiz como da parte aérea, e sua deficiência é verificada nas partes mais novas da planta a partir do atrofiamento do sistema radicular (SFREDO e BORKERT, 2004). Por ser absorvido pelas partes mais novas do sistema radicular, não suberizadas, existe uma necessidade de que o processo seja contínuo para assegurar o seu desenvolvimento, e para tanto é necessário que o cálcio esteja distribuído adequadamente no solo (QUAGGIO, 2000).

Os solos com bom suprimento de cálcio em todo seu perfil proporcionam às plantas condições ideais de crescimento radicular, devido a exigência da raiz na sua absorção para que ocorra a divisão e o alongamento celular, conseqüentemente o seu crescimento em tamanho (MENGEL e KIRKBY, 2001). O maior crescimento de raízes em profundidade favorece a busca por água, conseqüentemente diminuindo perdas por déficit hídrico durante o ciclo das culturas.

No sistema plantio direto, praticamente todo o fornecimento de cálcio ocorre via calagem em superfície e sem revolvimento. No entanto, o problema relacionado à aplicação de calcário em superfície é a correção da acidez do solo em camadas mais profundas, que limita, em muitos casos, o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes pelas culturas. Além disso, a calagem em superfície não corrige, em profundidade, a acidez e a deficiência de cálcio em tempo razoável para evitar que o agricultor corra grande risco com a ocorrência de veranicos (SOUSA et al., 2005).

Entretanto, deve-se levar em conta o uso correto do gesso, uma vez que o uso excessivo, não levando em consideração o balanço de cargas dos colóides do solo, o equilíbrio iônico e a capacidade de troca de cátions, pode promover expressiva lixiviação de nutriente ao longo do perfil do solo (CAIRES et al., 2003), podendo ir para além da camada onde se encontra o sistema radicular das plantas (RAMOS et al., 2013).

O uso do gesso agrícola associado a calagem no SPD tem mostrado resultados favoráveis (VITTI et al., 2015), apresentando melhoria na nutrição e produtividade de grãos (SORATTO e CRUSCIOL, 2008; PAULETTI et al., 2014;

ZANDONÁ et al., 2015). Quando usado com objetivo de fornecer enxofre (SO_4^{2-}), apresentou aumento do teor de óleo no grão (MODA et al., 2013). Neste contexto, a aplicação do gesso agrícola em superfície é apontada como uma alternativa para a melhoria do ambiente radicular, compensando o reduzido efeito do calcário no subsolo, nos primeiros anos de cultivo, sem necessidade de incorporação prévia do calcário (COSTA et al., 2015b).

Considerando o objeto de estudo como um todo, bem como a necessidade de desenvolver novas técnicas e/ou aprimorar técnicas já existentes com base em conceitos já bem definidos, a realização deste trabalho tem por objetivo a análise de estudos já realizados acerca do uso do gesso agrícola em áreas de plantio direto, destacando efeitos relacionados à produtividade, desenvolvimento radicular e lixiviação de bases.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi levantar, por meio de uma revisão bibliográfica, resultados de experimentações agrícolas acerca de indicadores agronômicos onde houve uso de gessagem em áreas de plantio direto, descrever seus resultados e avaliar seus efeitos no solo, na planta e na produtividade.

1.2.2 Objetivos específicos

Considerando o exposto nas bibliografias dispostas em bases e acervos de periódicos, esta pesquisa tem por objetivo:

- Avaliar os efeitos da gessagem em relação a produtividade;
- Avaliar os efeitos da gessagem em relação ao desenvolvimento radicular;
- Avaliar os efeitos da gessagem em relação a lixiviação de bases.

1.3 JUSTIFICATIVA

Suprir a demanda crescente do mercado mundial de alimentos com qualidade e sustentabilidade, visando atender à exigência comercial, é um desafio constante

para o agronegócio. Portanto, aumenta-se o número de estudos que geram conhecimento e implemento de novas tecnologias, visando aumentar a produtividade com responsabilidade ambiental, social e econômica.

Em meio às necessidades citadas, surgiu o sistema plantio direto, que se consolidou no Brasil no início dos anos 2000 e, junto a ele, muitos estudos foram desenvolvidos evidenciando aspectos de melhoria e problemas consequentes deste manejo. Assim como em todos os tipos de manejo, dentre inúmeras melhorias, há problemas que devem ser evidenciados e estudados mais detalhadamente. Entre os obstáculos encontrados, pode-se citar a acidez no perfil do solo e a deficiência nutricional, seja por características intrínsecas do solo, seja por lixiviação de bases.

No que tange esse problema, o gesso agrícola tem despertado crescente interesse pelos agricultores, e vem sendo utilizado amplamente no Brasil, pois se trata de um insumo de preço relativamente baixo, e assim como o calcário é um insumo agrícola de fácil manuseio. Contudo, o produtor deve se atentar que o uso irracional deste ou de quaisquer outros insumos agrícolas podem elevar o custo da produção reduzindo a margem líquida de lucro.

Esse contexto sugere que cada vez mais estudos sobre o assunto sejam realizados, para obter um equilíbrio favorável entre custo e produção. Deste modo, é imprescindível quantificar os benefícios trazidos pela gessagem e em quais condições este manejo deve ser recomendado.

A literatura disponibiliza várias pesquisas sobre o tema, que foram realizadas em circunstâncias variadas e com resultados diferentes. Em função disso, o levantamento dos resultados obtidos em estudos anteriores é essencial, a fim de organizar os resultados, visando facilitar e otimizar o entendimento dos mesmos por profissionais ligados à agropecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO

2.1.1 Definição

O sistema plantio direto é um sistema de manejo do solo que tem por princípio realizar o cultivo sobre restos culturais de culturas anteriores, com a movimentação do solo restrita à linha de semeadura (FREITAS, 2005). Trata-se de um sistema conservacionista, onde se mantém no solo os resíduos vegetais das culturas nele cultivadas anteriormente, minimizando os impactos ambientais (PECHE FILHO, 2005). Do ponto de vista da mecânica agrícola, trata-se de um sistema que utiliza o mínimo ou nenhum o revolvimento do solo (GUSSON, 2011).

O plantio direto foi constituído a partir da adaptação de técnicas de um sistema de manejo agroecológico, onde se propõe criar condições ideais para o crescimento de culturas promovendo a qualidade ambiental, baseado na regeneração da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, reduzindo a erosão dos solos (FREITAS, 2005).

Em relação às técnicas utilizadas, esse sistema é considerado o mais adequado para produção agrícola no Brasil (PECHE FILHO, 2005), pois utiliza um conjunto de técnicas integradas que visam a redução de custos e a promoção da sustentabilidade ambiental, além de permitir interações biológicas e processos naturais benéficos ao solo (FREITAS, 2005).

O sistema apresenta três princípios básicos que o caracteriza: não revolvimento do solo; cobertura permanente de culturas anteriores, estando estas vivas ou mortas e rotação de culturas (PECHE FILHO, 2005).

Essas técnicas usadas no sistema propiciam o aumento da produtividade, conservando e melhorando continuamente o ambiente (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

2.1.2 Implantação do sistema plantio direto no Brasil

O sistema surge no Brasil por volta de 1975, no estado do Paraná, com o objetivo de diminuir o problema referente ao desgaste excessivo do solo (MELO JUNIOR et al., 2011). Inicialmente, mesmo perante a necessidade de se controlar as perdas e a degradação do solo, a prática levou um tempo para se concretizar. No

entanto, esse perfil mudou a partir de resultados de sucesso relatado em pesquisa acerca da utilização racional e intensiva de áreas agrícolas (KLUTHCOUSKI et al., 2000). O convencimento do seu uso foi lento inicialmente, ganhando força em 1991 (FIDELIS et al., 2003).

A implantação no Brasil se deu a partir da utilização de importantes estudos que geraram novos conhecimentos, levando a grandes avanços responsáveis por quebrar paradigmas agronômicos consolidados até então. O plantio direto leva em conta que os processos físicos, químicos e biológicos da planta são controlados por ela mesma, adicionalmente o movimento de cálcio, magnésio e potássios passam a ser decorrentes da decomposição dos restos culturais que se mantêm depositados sobre o solo, o qual passa a ser um filtro natural permitindo a condução de água limpa aos corpos hídricos (FREITAS, 2005).

A adoção do sistema se deu de forma muito rápida no Brasil, por razões, tais como redução da erosão do solo, custos de produção mais baixos, menor dependência climática, melhores condições de mão de obra, menor investimento em máquina, baixo consumo de combustível, melhoria da qualidade do solo, maior competitividade, sustentabilidade e utilização do solo como parceiro da produção (FREITAS, 2005). Logo, o uso de técnicas integradas e a otimização do potencial genético aliado a melhoria das condições ambientais foram fatores fundamentais para o crescimento em área deste sistema (MELO JUNIOR et al., 2011).

Atualmente a prática se encontra bastante consolidada, por contribuir com o uso racional do solo, além da tecnologia permitir a sua adaptação nas mais variadas condições de clima, solo e espécies cultivadas (MELO JUNIOR et al., 2011). A utilização desse sistema faz com que o solo que antes era apenas um substrato para plantas, se torne um ambiente em equilíbrio (FREITAS, 2005).

2.1.3 Vantagens

O sistema plantio direto utiliza um conjunto de técnicas integradas de forma a reduzir o custo, promover a sustentabilidade e permitir interações biológicas, melhorando as condições ambientais e reduzindo impactos sobre a terra (FREITAS, 2005). É reconhecido como um dos sistemas agrícolas mais eficientes na prevenção e controle da erosão (FIDELIS et al., 2003). Esse sistema permite a aração biológica do solo por utilizar espécies diferentes, favorece a incorporação de sistemas agroflorestais e culturas orgânica, além do manejo integrado físico,

químico e biológico da cultura (FREITAS, 2005). Gusson (2011) elencou em seu trabalho os benefícios que seguem:

- Redução da erosão laminar, diminuindo a perda do solo e contribuindo para preservação de terra fértil, além de evitar assoreamentos;
- Redução do uso de combustíveis fósseis pela menor utilização de máquinas;
- Redução de gases que contribuem para o efeito estufa e favorecimento em relação a matriz energética;
- Pode ser facilmente aplicado por todos os tipos de produtores, inclusive por reduzir o uso de mão de obra na preparação da terra, ou seja, se adapta muito bem a agricultura familiar;
- Absorve o gás carbônico incorporando-o na matéria orgânica, mostrando-se um sistema aliado às necessidades eminentes de redução de emissão de gases.

Segundo Fidelis (2003), há outros benefícios que também tornam a adoção desse sistema muito importante, como a possibilidade de semeadura das culturas em épocas adequadas, o que contribui para a redução do consumo de combustíveis fósseis, também reduz o trânsito de máquinas na área e o número de terraços a serem implementados, proporciona maior conservação da umidade do solo e aproveitamento da água disponível para plantas, melhora a porosidade do solo e proporciona maior tolerância a períodos de estiagem, assegurando a obtenção de rendimentos elevados.

Também pode ser ressaltado que por utilizar cobertura morta, há um aumento do teor da matéria orgânica, redução do impacto da chuva sobre o solo e controle de plantas infestantes (MELO JUNIOR et al., 2011).

2.1.4 Desvantagens

Assim como todo sistema de manejo, o plantio direto apresenta limitações, principalmente atribuídas ao uso excessivo de herbicidas e maior ocorrência de compactação do solo, devido ao trânsito de maquinários agrícolas (MELO JUNIOR et al., 2011). Problemas também podem ocorrer pelo uso indevido de fertilizantes (CIOTTA et al., 2002).

Outro problema muito comum aos solos tropicais é a acidez que pode ser acentuada com não revolvimento do solo, gerando um acúmulo de resíduos vegetais e fertilizantes na superfície, acelerando o processo de acidificação dessa camada,

principalmente em solo de regiões quentes e úmidas, onde é mais baixa a disponibilidade de nutrientes e os teores de hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{3+}) são mais elevados (COSTA et al., 2015b). Os fertilizantes são aplicados na linha de semeadura e a dissolução dos fertilizantes fosfatados junto a nitrificação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais contribuem para acidificação da camada superficial do solo (CIOTTA et al., 2002). A toxidez de alumínio e a deficiência de cálcio restringe o desenvolvimento normal das raízes em profundidade, reduzindo a absorção da água e nutrientes, afetando negativamente a produtividade (LOPES et al., 2004).

O acúmulo da matéria orgânica na camada superficial pode ser um ponto negativo, decorrente da redução da decomposição microbiana pela diminuição da temperatura e aeração associado ao aumento da cobertura, não fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais. No entanto, o aumento da matéria orgânica pode agir positivamente em relação a acidez do solo (CIOTTA et al., 2002).

2.2 GESSAGEM AGRÍCOLA

2.2.1 O gesso agrícola

O gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) é um subproduto da fabricação do ácido fosfórico. É obtido durante a produção do fertilizante superfosfato simples. No processo a rocha fosfatada reage com ácido sulfúrico resultando no fertilizante e no resíduo sulfato de cálcio (gesso agrícola) (LOPES et al., 2004).

O gesso aumenta o teor de cálcio (Ca^{2+}) e diminui a toxidez do alumínio (Al^{3+}) nas camadas subsuperficiais do solo, beneficiando um maior aprofundamento do sistema radicular, que resulta em uma maior produtividade da cultura (LOPES et al., 2004). O gesso pode alterar a constituição da solução do solo devido aos incrementos de teores de cálcio e enxofre (ZAMBROSI et al., 2007).

Considerado um resíduo da indústria, o gesso apresenta-se na forma di-hidratada, que faz com que necessite de menos água no sistema, se tornando uma boa opção para a agricultura (COSTA et al., 2015b). Devido sua solubilidade em relação aos calcários, interação de cargas elétricas e permanência do sulfato, sua mobilidade é grande ao longo do perfil do solo (ERNANI et al., 2001).

O uso na agricultura está relacionado com a redução da toxidade causada por alumínio e melhoria química do ambiente radicular, com fornecimento de enxofre e

cálcio para as plantas (NOGUEIRA e MELO, 2003). Além de excelente fonte de enxofre e cálcio, o gesso contribui com pequenas concentrações de fósforo, contudo seu uso descontrolado pode causar danos, favorecendo a contaminação dos corpos hídricos por escoamento superficial e lixiviação de nutrientes para o lençol freático (FOIS et al., 2018).

O uso do gesso agrícola com o intuito de reduzir a acidez do solo é decorrente da sua maior solubilidade, pois quando aplicado na superfície do solo, se movimenta ao longo do perfil sob a influência da percolação da água e isso gera um aumento no suprimento de cálcio e redução na toxidez por alumínio (COSTA et al., 2015a). Ele promove maior percolação dos cátions, principalmente quando incorporado ao solo, e quando aplicado na superfície do solo, diminui-se a magnitude da lixiviação e prolonga seu efeito residual (ERNANI et al., 2001).

O gesso promove o aumento rápido da concentração de cálcio (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4), resultando no maior fornecimento desses elementos, e reduz o alumínio (Al^{3+}), ambos os processos favorecem ao crescimento radicular. Promove também o carregamento de magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) para camadas profundas do solo (FOIS et al., 2018).

Todavia, o gesso apresenta maior mobilidade em relação ao calcário, por apresentar maior solubilidade em água. (VITTI e PRIORI, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, através da revisão de literatura, por meio de livros e artigos científicos. Consistiu-se em estudar o tema e explicar a problemática com base nas informações retiradas das publicações de referência.

3.2 FONTES

Para o levantamento dos resultados do uso da gessagem agrícola e seus efeitos na planta, no solo e nas produtividades foram utilizados artigos obtidos em bases e acervos de periódicos, bem como Capes, Scielo, Elsevier entre outros, nos

quais foram utilizados indexadores de busca como plantio direto, gessagem agrícola, produtividade e desenvolvimento radicular.

3.3 COLETA DE DADOS

Foram realizadas leituras de todo o material bibliográfico selecionado. A primeira etapa constituiu em uma leitura rápida e objetiva, para averiguar o interesse no tema do material. A segunda etapa se baseou em uma leitura seletiva e aprofundada dos materiais que realmente eram de interesses. A terceira etapa consistiu no registro das informações (autores, ano, resultados e conclusões).

3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Buscou-se artigos e estudos científicos para encontrar subsídios para a resposta ao comportamento da aplicação do gesso agrícola em áreas agricultáveis. O objetivo desta análise de dados é fornecer uma discussão com fundamentos e que possibilite obtenção de maior esclarecimento dos benefícios da utilização da gessagem agrícola em sistemas de plantio direto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE

Os insumos utilizados na agricultura visam o aumento da produtividade das lavouras. O gesso agrícola é um condicionante de solos e tem como função contribuir para a neutralização do alumínio tóxico (Al^{3+}) presente no solo em profundidade, e pode contribuir para a distribuição de nutrientes no perfil do solo de maneira mais homogênea e assim incrementar a produtividade de culturas (SCHMIDT FILHO et al., 2016).

Segundo Sousa et al. (2005), para a produtividade agrícola ter sustentabilidade, é necessário o controle de diversos fatores, no caso do gesso, para a melhoria do perfil do solo, as doses podem ser estabelecidas de acordo com a cultura (anual ou perene) e o teor de argila (TABELA 1).

TABELA 1 – RECOMENDAÇÃO DO GESSO EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO PARA CULTURAS ANUAIS OU PERENES.

Textura do solo	Dose de gesso agrícola (Mg ha ⁻¹)	
	Culturas anuais	Culturas perenes
Arenosa (< 15% de argila)	700	1050
Média (16% a 35% de argila)	1200	1800
Argilosa (36% a 60% de argila)	2200	3300
Muito argilosa (> 60% de argila)	3200	4800

FONTE: Adaptado de Souza, Lobato e Rein (2005).

Como pode ser visto na Tabela 1, quanto maior a proporção de argila encontrada no solo, maior será a dosagem necessária de gesso, tanto para culturas perenes quanto para cultura anual. Um dos motivos para a diferença da dose aplicada entre solos de diferentes texturas refere-se ao potencial de movimentação de bases. Um solo de textura arenosa possui menores valores da capacidade de troca de cátions (CTC) e menor capacidade de adsorção de sulfato, quando comparado com solos de textura argilosa, assim áreas arenosas têm um maior potencial de lixiviação de bases sob maior dosagem de gesso agrícola (VENEGAS et al., 1999).

Pauletti et al. (2014) avaliaram por um período de seis anos, o efeito da aplicação conjunta do gesso com o calcário nos atributos químicos do solo, com rotação de culturas, em sistema de plantio direto em Latossolo com textura areia franca. Os autores concluíram que o calcário corrigiu o pH e aumentou a concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺, diminuindo o Al³⁺ nas camadas superficiais, enquanto que o gesso incrementou as concentrações de Ca²⁺ e SO₄⁻² nas camadas mais profundas. Apresentou-se também lixiviação de Mg²⁺, mas não de K⁺. Desta forma pode verificar que as culturas de milho, soja e aveia preta foram favorecidas pela calagem, enquanto a gessagem contribuiu para o aumento da produtividade das gramíneas milho e trigo, bem como resultou em melhor produtividade para a soja quando o experimento esteve sujeito a estresse hídrico. Neste caso, a análise química do solo antes do início do trabalho mostrou valor de 0,2 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺ e 74,1% de saturação de alumínio na camada de 0,2-0,4 metro. A melhor produtividade de gramíneas após a realização do processo de gessagem é explicada por estes autores, visto que elas possuem maior eficiência ao absorver cátions monovalentes, e que o aumento da disponibilidade de cátions bivalentes no perfil do solo favorece a absorção destes e, conseqüentemente, o desenvolvimento da planta.

Caires et al. (2011a) avaliaram a aplicação do gesso em superfície em área de plantio direto, em um solo com 0,7 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺ e 32% de saturação de

alumínio na camada de 0,20 a 0,40 metro, cultivado com soja, milho e trigo em um estudo de longo prazo, e concluíram que a aplicação apresentou viabilidade econômica para maximizar a produção de grãos. Os autores constataram que houve aumento de cálcio e enxofre em todo o perfil do solo, e aumento dos teores de cálcio e enxofre nas folhas, favorecendo maiores produtividades principalmente para trigo e milho (TABELA 2).

TABELA 2 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES DOSES DE GESSO E DIFERENTES ÉPOCAS NA PRODUTIVIDADE DE MILHO E TRIGO EM PLANTIO DIRETO.

TRATAMENTO	MILHO (2004/2005)	TRIGO (2005)	MILHO (2007/2008)
Aplicação de gesso em 1998		Produtividade (Kg ha ⁻¹)	
Testemunha	9719	1864	8945
Gesso (3 t/ha)	9819	1942	8923
Gesso (6 t/ha)	9934	2039	9634
Gesso (9 t/ha)	10453	2089	10040
Reaplicação de gesso em 2004		Produtividade (Kg ha ⁻¹)	
Testemunha	9558	1843	9117
Gesso (3 t/ha)	10404	2124	9654

Fonte: Adaptado de Caires et al. (2011a).

A soja responde pouco à aplicação de gesso, pois depende de fatores climáticos, em um ano de déficit hídrico, a aplicação de gesso pode aumentar a sua produtividade, e em ano sem déficit hídrico, diminuí-la devido a possível lixiviação de Mg²⁺ (PAULETTI et al., 2014). No entanto estes autores relatam que a soja apresenta melhores resultados quando o gesso é aplicado junto com o calcário.

Cardoso et al. (2014) encontraram resposta significativa em produtividade de soja após a aplicação de gesso, em decorrência da ocasião de períodos de estiagem durante o desenvolvimento da cultura.

Segundo Michalovicz (2012), houve efeito das doses gesso também sobre a produtividade, com resposta quadrática do milho e aumento linear no caso da cevada, sendo os acréscimos de produtividade de até 11 e 12 % superiores à testemunha,

respectivamente nas doses de máxima eficiência técnica (MET) de 3,8 e 6,0 Mg ha⁻¹ de gesso.

Caires et al. (2011b) ao avaliarem a gessagem em plantio direto ao longo prazo, encontraram aumento da produtividade do milho de 7%.

A melhoria das condições do solo abaixo das camadas superficiais pode ser um fator de aumento de produtividade das culturas, especialmente quando há ocorrência de períodos de deficiência hídrica (SORATTO, 2005).

Há estudos em que avaliam a efetividade da aplicação conjunta do gesso com o calcário, e é comum o relato de resultados positivos nesses casos. Marques (2008) concluiu que as culturas de amendoim e aveia branca responderam positivamente à calagem e aplicação de gesso em superfície proporcionando aumento na produtividade das culturas. Segundo Oliveira (2005), a combinação de calcário e gesso teve efeito positivo sobre a produção e os teores de cálcio, magnésio e enxofre das sementes de arroz, e foi benéfica para o aumento no tamanho e teor de nutrientes das sementes de feijão.

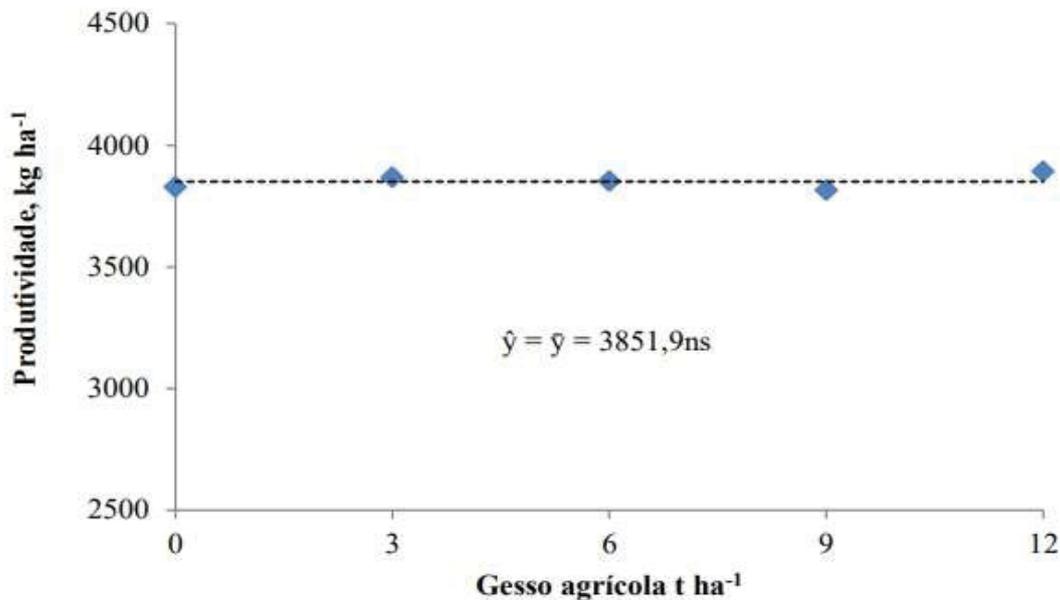
Fois et al. (2018) ao avaliarem a resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto não obtiveram respostas significativas. O estudo foi realizado durante duas safras, em dois tipos de solo: argissolo vermelho-amarelo distrófico e latossolo vermelho distrófico. Ambos os solos apresentavam baixa saturação por bases (< 31%) e alta saturação por Al (> 20%) abaixo de 0,1 metro de profundidade. Os autores atribuíram o resultado a não limitação do enxofre nessa área e a ausência de déficit hídrico durante o experimento.

Arf et al. (2014) não encontraram diferenças de produtividade em arroz cultivado em terras altas sob plantio direto, e atribuíram o resultado às características químicas do solo antes do início do experimento, que possuía baixa saturação de alumínio (0 cmolc dm⁻³) e bom teor de cálcio (1,4 cmolc dm⁻³) na camada de 0,20-0,40 m. O experimento foi conduzido durante três safras em um latossolo vermelho distrófico argiloso.

Guedes Junior (2017) realizou um experimento onde buscou avaliar os efeitos de diferentes dosagens de gesso no crescimento radicular e no rendimento dos grãos de soja em latossolo vermelho distroférrico. O experimento foi realizado com cinco dosagens de gesso. Ao final, o autor afirma que não ocorreu diferença significativa para o rendimento de grãos (FIGURA 1). No caso, a ausência de diferenças significativas na produtividade foi atribuída à condição climática durante o ciclo da

cultura, pois não houveram veranicos, e à boa condição de fertilidade do solo, principalmente na camada de 0,20-0,40 m, que havia 2,14 cmolc dm⁻³ de cálcio.

FIGURA 1 - PRODUTIVIDADE DE SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE GESSO AGRÍCOLA.



Fonte: Adaptado de Guedes Junior (2017).

É possível notar que as pesquisas correlacionam a disponibilidade hídrica com a resposta de produtividade das culturas submetidas a gessagem. Isso se explica porque a adição do gesso leva cálcio para as camadas mais profundas do solo e neutralizam o alumínio. O cálcio é um nutriente essencial para o crescimento das raízes, e o alumínio quando presente, pode ser tóxico para o sistema radicular, inclusive inibindo seu desenvolvimento (SCALON, 2011). As camadas mais profundas do solo mantêm umidade por maior tempo quando comparada com as camadas mais superficiais. Segundo Scalon (2011), a arquitetura radicular e sua capacidade de exploração das camadas mais profundas e úmidas do solo, juntamente com maior razão entre raiz e parte aérea, são características importantes de escape aos déficits hídricos.

A literatura varia entre resultados positivos e não positivos referente a produtividade das culturas sob a gessagem. Percebe-se que outros fatores interferem nesse manejo para que haja uma maior ou menor resposta produtiva. Notadamente, vemos que condições climáticas e de fertilidade dos solos são os fatores mais limitantes para o aumento da produtividade após a aplicação de gesso. O aumento da

produtividade em resposta ao gesso é mais frequente quando, na faixa de 0,20 a 0,40 metro de profundidade, o solo apresenta saturação de alumínio maior que 20% e/ou quando os níveis de cálcio sejam menores que $0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ nesta camada (SBCS/NEPAR, 2017). Associado aos critérios de fertilidade, a ocorrência de déficit hídrico para a cultura também aparece como fator que agrega a resposta de produtividade das culturas após o uso de gesso, visto que o aumento do crescimento radicular é uma condição frequentemente vista em áreas de gessagem.

4.2 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

A presença de alumínio trocável no solo prejudica o crescimento radicular das espécies vegetais, principalmente das mais sensíveis, reduzindo a exploração do solo (RAMPIM et al., 2013). O gesso pode auxiliar na neutralização deste elemento, reduzindo sua interferência no crescimento das raízes, possibilitando maior produtividade de grãos (SORATTO e CRUSCIOL, 2008).

Segundo Sousa et al. (2005), a resposta ao gesso agrícola como melhorador do ambiente radicular em profundidade tem sido observada para a maioria das culturas anuais. O motivo se deve pela neutralização do alumínio e adição de cálcio nas camadas mais profundas do solo, tendo assim, condição química mais favorável ao crescimento das raízes.

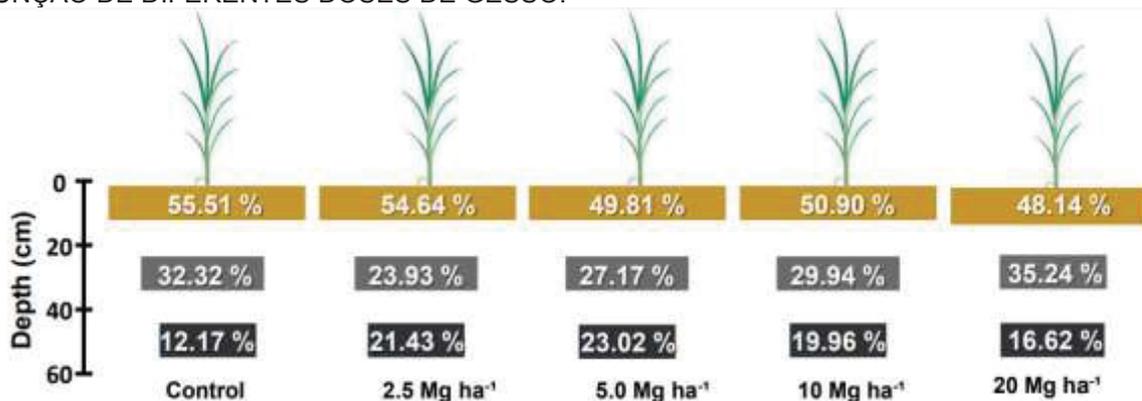
Pauletti et al. (2018) afirmaram que o efeito do gesso no crescimento das raízes se deve à função do cálcio nas plantas, sua baixa mobilidade nelas e ao local de absorção do mesmo pela raiz. No primeiro caso, devido a importância do cálcio na divisão celular, caso ocorra deficiência desse nutriente, a divisão celular paralisa o crescimento do meristema apical, e conseqüentemente da raiz. O segundo fator indica que, caso ocorra deficiência de cálcio em profundidades maiores que 0,2 metro, o cálcio absorvido pelas raízes superficiais e transportado para as folhas não é redistribuído para atender a demanda das raízes que estão crescendo em profundidade, que, portanto, param de crescer. O terceiro fator é importante pois o cálcio é absorvido quase que exclusivamente pela coifa das raízes. Portanto, se houver deficiência no local de crescimento da raiz, este não é absorvido para atender a demanda da própria raiz.

Alguns estudos mostram efeitos positivos da gessagem superficial no sistema de plantio direto em relação ao crescimento radicular das plantas. Silva (2018) ao analisar a influência da gessagem no desenvolvimento da soja, concluiu que o volume radicular, a área superficial e o comprimento radicular apresentaram respostas positivas em função da aplicação de gesso.

Araújo et al. (2016) ao estudarem a aplicação de gesso na cultura da cana-de-açúcar constataram que as raízes, sob uso de gesso apresentaram ganhos de 25% na massa, na camada de 0,3 a 0,75 metro, em relação a não aplicação. Além disso, para essa mesma camada de solo sob uso de gesso estavam presentes 42% das raízes, enquanto sem a aplicação do gesso apenas 33%.

Clemente et al. (2017) encontraram resposta positiva na aplicação de gesso na fase de maturação da cana-de-açúcar. No experimento, houve aumento da quantidade de raízes ao longo do perfil do solo, com incremento da ordem de 1,10 g dm⁻³ e os autores também observaram uma melhor distribuição de raízes em profundidade até 0,6 metro, quando comparado com a parcela testemunha (FIGURA 2). O solo do experimento foi classificado como neossolos flúvico e possuía inicialmente saturação de alumínio de 0%, 13% e 27% nas camadas de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 metro, respectivamente.

FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇUCAR EM PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE GESSO.

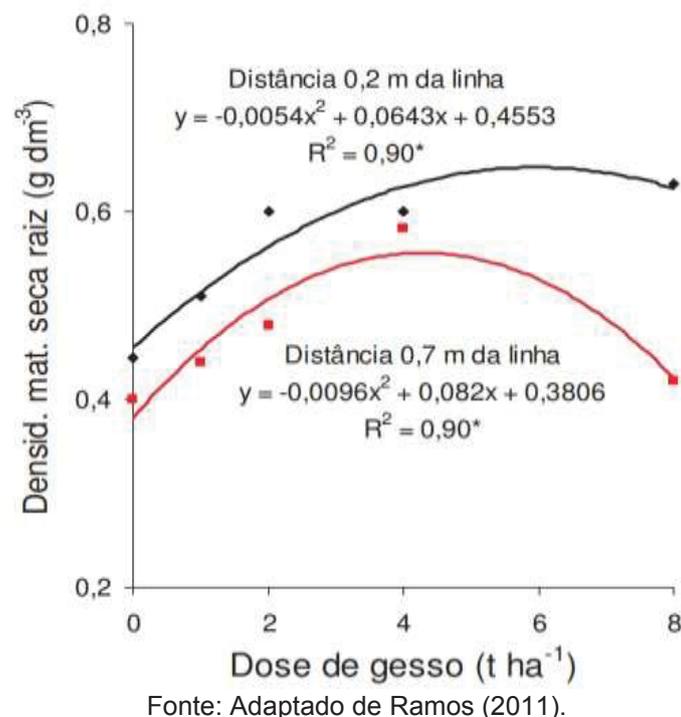


Fonte: Adaptado de Clemente et. al (2017).

Também em experimento com a cultura da cana-de-açúcar, Ramos (2011) concluiu que a densidade de matéria seca de raiz foi alterada significativamente pela aplicação do gesso agrícola, atribuindo esse resultado à possível melhoria das condições químicas do perfil do solo proporcionada pelo aumento do teor de cálcio,

aumento da saturação de bases e diminuição da saturação de alumínio (FIGURA 3). No experimento, o solo foi classificado como latossolo vermelho amarelo distrófico, e na camada de 0,2-0,4 metro, o teor de cálcio encontrados antes da implantação das parcelas estava baixo ($0,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$), a saturação de alumínio estava alta (59%) e o teor de argila era de 14,2%. Segundo o autor, a melhoria química do perfil do solo após a gessagem, proporcionando aumento do teor de cálcio, da saturação por bases e redução da saturação por alumínio, pode ter criado condições para a variação do crescimento das raízes da cana-de-açúcar.

FIGURA 3 - VALORES DE DENSIDADE DE MATÉRIA SECA DE RAIZ DA CANA EM FUNÇÃO DE DOSES DE GESSO E DA DISTÂNCIA DA LINHA DE PLANTIO.

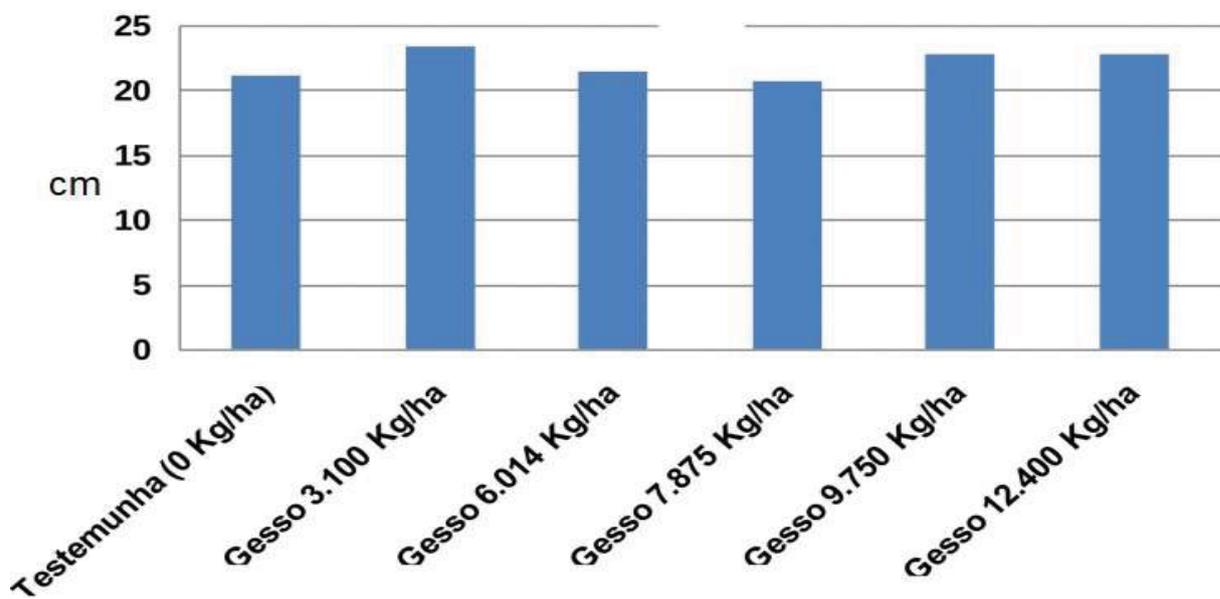


Enquanto há estudos com resultados positivos, outras pesquisas encontraram resultados não positivos para a gessagem no desenvolvimento radicular. Caires et al. (2001) não encontraram resposta para o crescimento radicular da soja após a gessagem, mesmo havendo aumento no teor de cálcio e redução no alumínio na camada de 0,2 a 0,4 metro, e atribuíram o resultado à ausência de déficit hídrico, mostrando que a melhoria do subsolo ácido pode não proporcionar maior enraizamento da planta quando há condições hídricas satisfatórias. Guedes Júnior (2017) também não encontrou incremento significativo no crescimento radicular da soja com a aplicação de doses de gesso agrícola e atribuiu o resultado às boas

condições climáticas durante todo o ciclo de desenvolvimento da soja, aliado às boas condições químicas e físicas do solo.

Freitas et al. (2017), ao estudarem a influência do gesso em superfície no crescimento radicular da cultura da soja, não observaram diferença significativa entre o tratamento testemunha e outros cinco tratamentos com dosagem entre 3,1 a 12,4 Mg ha⁻¹ (FIGURA 4). Antes da instalação do experimento, o solo foi classificado como latossolo vermelho e com textura argilosa, possuía 2,0 cmolc dm⁻³ de cálcio, e saturação por alumínio maior que 50% na camada 0-0,2 metro. Os autores citam os bons índices de precipitação durante o cultivo como possível motivo para que não ter ocorrido aumento do crescimento radicular. O período da experimento, que foi feito durante uma única safra, também pode ser considerado para um não resultado positivo da gessagem, visto que o espaço de tempo entre a aplicação e a avaliação das raízes foi de menos de quatro meses.

FIGURA 4 - PROFUNDIDADE MÉDIA DE RAÍZES DE PLANTAS DE SOJA EM FACE AO USO DE GESSO AGRÍCOLA APLICADAS EM SUPERFÍCIE.



Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2017).

Percebe-se que a resposta de crescimento radicular em função da gessagem se relaciona também com outros fatores, como condições químicas e físicas do solo, e condições de disponibilidade hídrica para as plantas. Contudo, de maneira geral, a adição de cálcio nas camadas subsuperficiais, somada a neutralização do alumínio tóxico é uma maneira de proporcionar ambiente favorável ao crescimento das raízes.

4.3 EFEITOS DA GESSAGEM EM RELAÇÃO À LIXIVIAÇÃO DE BASES

Uma situação frequentemente observada com a aplicação de gesso em solos está relacionada à intensa movimentação de bases trocáveis. Além da movimentação de cálcio em profundidade, o gesso também causa lixiviação de magnésio (SORATTO, 2005). Com a aplicação do gesso no solo, estamos adicionando cátions (Ca^{2+}) e ânions (SO_4^{2-}). Os cátions irão participar do equilíbrio entre os cátions adsorvidos e os da solução do solo, e os ânions permanecem na solução do solo sujeitos a lixiviação (ALCARDE, 1988). O cátion vai ser adsorvido pelos colóides do solo através da troca catiônica, e o ânion, se lixiviado, carrega consigo cátions. A troca catiônica e o arraste de cátions pelos ânions dependem da concentração e da carga dos íons: quanto maior a concentração e a carga, maior a intensidade desse fenômeno (ALCARDE, 1988).

Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{2+} pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando Al^{3+} , K^+ e Mg^{2+} para a solução do solo, os quais podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} , formando AlSO_4^+ (que é menos tóxico para as plantas) e os pares iônicos neutros K_2SO_4^0 e MgSO_4^0 , além do CaSO_4^0 , os quais apresentam grande mobilidade no perfil (PAVAN et al., 1984; DIAS, 1992).

O desbalanço entre Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo como consequência das aplicações elevadas de gesso deve-se às relações de tamanho (raio iônico) e densidades de cargas (relação carga/raio) de cada espécie iônica. Quanto maior a densidade de carga, mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas como OH^- e SO_4^{2-} . Dessa maneira, o uso excessivo de gesso agrícola, sem considerar o balanço de cargas das partículas do solo, o equilíbrio iônico e a capacidade de troca de cátions (CTC) podem resultar em expressiva lixiviação ao longo do perfil do solo (RAMOS et al., 2013).

A facilidade de formação de sulfatos percoláveis no solo aumenta na seguinte ordem: $\text{MgSO}_4^0 > \text{CaSO}_4^0 > \text{K}_2\text{SO}_4^0$, que pode alterar em razão de incrementos na adição de gesso agrícola ou de fatores decorrentes da heterogeneidade do sistema solo (RAMOS et al. 2013).

O gesso pode, em alguns casos, aumentar a mobilidade de magnésio e potássio, mas o fato de aumentar o crescimento radicular em profundidade pode

proporcionar maior reciclagem e retorno dos mesmos com resíduos das plantas (PAULETTI et al., 2018).

O sulfato de cálcio (CaSO_4) é um sal mais solúvel em água do que o carbonato, ele dissolve na água de chuva e é deslocado para o subsolo, promovendo, portanto, grande mobilidade vertical de cátions (ERNANI et al., 2001).

A aplicação de calcário antes de gesso proporciona condições ideais para que o primeiro possa reagir na solução do solo e aumentar o pH, e em seguida o gesso terá possibilidade de arrastar Ca^{2+} e Mg^{2+} adicionados na calagem pela formação de par iônico com o íon sulfato do gesso (MARKET et al., 1987). Segundo Alcarde (1988), essa lixiviação pode ser benéfica, se os nutrientes permanecerem nas primeiras camadas subsuperficiais, onde as raízes das culturas podem alcançar, ou maléfica se forem arrastados para profundidades fora do alcance das plantas.

A mobilidade do CaSO_4 e a distribuição do Ca^{2+} no perfil do solo, variam conforme a textura de solo e o regime hídrico sendo mais intensa em solos sob pluviosidade mais elevada (QUAGGIO et al., 1993).

Feversani (2016), encontrou redução nos teores de potássio, e de magnésio, em área de plantio direto, após 6 e 9 meses de aplicação de doses entre 1000 a 4000 kg ha^{-1} (TABELA 3).

TABELA 3 – COMPARATIVO DOS VALORES MÉDIOS DE K^+ , Ca^{2+} E Mg^{2+} DOS QUATRO TRATAMENTOS QUE RECEBERAM GESSO, ANTES E APÓS 6 E 9 MESES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.

	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Antes da implantação do experimento (cmolc dm^{-3})			
0-0,2	0,9	5,4	3,9
0,2-0,4	0,6	4,9	1,6
0,4-0,6	0,5	4,5	1,4
Após 6 meses (cmolc dm^{-3})			
0-0,2	0,7	7,0	4,9
0,2-0,4	0,4	5,3	2,3
0,4-0,6	0,2	3,7	2,1
Após 9 meses (cmolc dm^{-3})			
0-0,2	0,5	5,9	2,3
0,2-0,4	0,3	4,5	1,7
0,4-0,6	0,1	3,2	1,6

Fonte: Adaptado de Feversani (2016).

No estudo, antes da aplicação das doses de gesso foi adicionado calcário, o que justifica os valores de acréscimo de Mg^{2+} na camada superficial do solo. Ao comparar os tratamentos que receberam gesso, nota-se que existe uma diferença nos valores de Mg^{2+} e K^+ . O autor atribuiu esse resultado ao poder de mobilidade dos pares iônicos $MgSO_4$ e K_2SO_4 associado grande volume pluviométrico ocorrido durante o experimento.

Rampim et al. (2011) concluíram que o uso do gesso em doses de 1000 a 5000 kg ha⁻¹ proporcionou redução linear de K^+ até 0,10 metro e de Mg^{2+} até 0,40 metro de profundidade do solo, um ano após aplicação.

Em estudo comparando o uso do gesso com o calcário e o uso do gesso em superfície ou incorporado, Ernani et al. (2001) concluíram que o gesso agrícola promoveu maior percolação de cátions do que o calcário, principalmente quando incorporado aos solos. A aplicação do gesso na superfície do solo, diminui a magnitude da lixiviação e prolonga seu efeito residual.

Segundo Ramos et al. (2013), a aplicação de gesso agrícola foi eficiente na melhoria do ambiente radicular no subsolo em avaliação na cultura do café, aumentou a concentração de Mg^{2+} e Ca^{2+} na solução do solo, mas reduziu o K^+ em profundidade, a partir de 0,85 metro.

Nava et al. (2012) em estudo com a cultura da maçã, encontraram incremento nos teores de Ca^{2+} , devido aplicação de doses de gesso em cobertura, em diferentes camadas de solo amostradas, enquanto os de magnésio diminuíram nas camadas superficiais (0-0,2 metro). Piovesan (2006) observou que a aplicação de gesso promoveu acúmulo de cálcio na camada superficial, deslocando magnésio e potássio para camadas mais profundas.

Tsujigushi (2019) afirma que as diferentes doses de gesso e a textura dos solos interferem na lixiviação de nutrientes. Ao avaliar a aplicação de gesso em neossolos arenoso e latossolo argiloso verificou que a textura arenosa associada à baixa concentração de óxidos deste solo proporcionou maior movimentação de sulfato, que por sua vez movimentou o Ca^{2+} e Mg^{2+} pela formação de pares neutros ($CaSO_4^0$ e $MgSO_4^0$), porém não constatou lixiviação de K^+ , justificando devido à baixa concentração do nutriente (0,01 cmolc dm⁻³) na camada de 0-0,1 metro no início do experimento.

Solos arenosos possuem maior permeabilidade e, quando associado a baixa capacidade de troca de cátions (CTC), podem contribuir na movimentação ou eventual

perda de bases por percolação (ZAPAROLLI, 2009). Solos argilosos, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água (PRIMAVESI, 2004), o que ajuda na retenção de cátions, diminuindo assim perdas por lixiviação (TSUJIGUSHI, 2019).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos dos experimentos descritos na literatura, podemos concluir que o gesso é um condicionante de solo que aumenta a disponibilidade de nutrientes (Ca^{2+} e SO_4^{2-}), diminui a ação tóxica do alumínio, e contribui para que as plantas alcancem maiores produtividades. No entanto, o resultado da produtividade está ligado a disponibilidade de água no solo e às suas características químicas iniciais. Em relação ao desenvolvimento de raízes, a gessagem, ao neutralizar o alumínio e adicionar cálcio às camadas mais profundas do solo, cria uma condição favorável ao seu crescimento, pois o cálcio propicia a divisão celular. Algumas culturas de plantio direto sob gessagem agrícola apresentaram um maior desenvolvimento radicular em massa. Contudo, assim como para a produtividade, o déficit de água tem resultados positivos ao desenvolvimento das raízes após a gessagem.

A lixiviação de bases está relacionada com a dose de gesso e ao tipo de solo, geralmente doses maiores podem resultar em uma lixiviação de bases expressiva ao longo do perfil solo, visto que quanto maior for a densidade de carga mais intensa será a ligação iônica do cátion com o ânion formando sulfatos percoláveis, e solos arenosos permitem uma lixiviação mais fácil.

Assim, conclui-se que o gesso é um aliado no sistema de plantio direto, apresentando resultados benéficos tanto em relação a produtividade quanto ao desenvolvimento de raiz quando em condições de déficit hídrico. Deve-se ter controle sobre a dose adequada evitando proporcionar a lixiviação de bases. O uso em conjunto do calcário e gesso podem apresentar melhores resultados, já que a adição de calcário aumenta no solo o teor de magnésio, evitando assim a diminuição deste elemento no perfil do solo consequente de possível lixiviação causada pelo gesso.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. Contraditória, confusa e polêmica: é a situação do gesso na agricultura. **Informações Agronômicas**, n. 41, p. 1-3, 1988.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p. 25-36, jan./fev. 2001.
- ARAÚJO, L. G. et al. Aplicação de gesso no solo e crescimento radicular da cana-planta. In: FERTBIO, 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos – Núcleo Regional Centro-Oeste, 2016. p. 284.
- ARF, O. Gesso aplicado na superfície do solo no desenvolvimento do arroz de terras altas sob plantio direto. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1136 –1141, 2014.
- CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E. F. et al. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy journal**, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2011a.
- CAIRES, E. F. et al. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 45–53, 2011b.
- CARDOSO, J. A. E. et al. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 1980 - 1987, 2014.
- CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.
- CLEMENTE, P. R. A. et al. Crescimento radicular e produção de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de gesso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47 n. 1 p. 110 – 117, jan./mar. 2017.
- COSTA, C. H. M. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015a.
- COSTA, C. H. M. et al. Gessagem no sistema plantio direto. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p. 201-215, 2015b.
- DIAS, L.E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS. (Comunicado Técnico 7), 1992.

ERNANI, P. R. et al. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 825-831, 2001.

FEVERSANI, L. **Gesso agrícola e seu efeito no desempenho do milho e do feijão cultivados em sucessão**. TCC (Graduação) – Universidade tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

FIDELIS, R. R. et al. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 1, p. 23-31, jan./abr. 2003.

FREITAS, D. C. L. et al. Efeito de doses de gesso agrícola e alterações químicas ocorridas no perfil do solo em sistema de plantio direto consolidado cultivado com soja. In: **Embrapa Uva e Vinho - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Jornada de pós-graduação e pesquisa-congrega urcamp, 14., 2017, Bagé. Revista da 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp. Bagé: Congrega URCAMP, 2017. v. 1., 2017.

FREITAS, P. L. **Sistema plantio direto: conceitos, adoção e fatores limitantes**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento, 2005. (Comunicado Técnico 31).

FOIS, D. A. F. et al. Resposta da soja ao gesso agrícola em plantio direto no Paraguai. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n.5, p. 450-462, set/out, 2018.

GUEDES JUNIOR, F. A. **Gesso agrícola: efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja**. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

GUSSON, M. F. **O lado obscuro do plantio direto**. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas da lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. (Circular Técnica 38).

LOPES, A.S. et al. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação nacional para difusão de adubos – ANDA, 2004. 110 p.

MELO JÚNIOR, H. B. et al. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MARKET, C.M. et al. **Considerações sobre o uso do gesso na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 3p. (Informações Agronômicas 40).

MARQUES, R. R. **Aplicação superficial de calcário e gesso em manejo conservacionista de solo para cultivo de amendoim e aveia branca**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual do centro-oeste do Paraná, Guarapuava, 2012.

MODA, L. R. et al. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 129-135, 2013.

NAVA, G. et al. Composição do solo e estado nutricional da macieira alterados pela adição de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 36, n. 1, pp. 215-222, 2012

NETO, O. C. P. et al. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 489-496, set./out. 2007.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

OLIVEIRA, S. A. **Efeito da calagem e gessagem superficiais na produção e qualidade de sementes de arroz e feijão no sistema de plantio direto.** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, mar./abr. 2014.

PAULETTI, V. et al. **Uso de corretivos e condicionadores (gesso).** Curso de especialização em fertilidade dos solos e nutrição de plantas (apostila). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2018.

PAVAN, M.A. et al. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PECHE FILHO, P. Mecanização do Sistema Plantio Direto. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, p. 17-18, 2005.

PIOVESAN, R. P. **Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob adubação mineral e orgânica.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28p. (Documentos, 37)

QUAGGIO, J. A. et al. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 375-383, 1993.

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

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

RAMOS, S. B. **Atributos químicos do solo, densidade de raiz e produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.

RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.

RAMPIM, L. et al. Manejo sustentável do gesso agrícola - resíduo da indústria de fertilizantes fosfatados. In: Kuhn, O. J. et al. (Org.). **Avanços Tecnológicos com Responsabilidade Ambiental na Agricultura**. 1 ed. Marechal Cândido Rondon, Edunioeste, v. 1, p. 236-265, 2013.

SBCS/NEPAR, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Núcleo do Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba, 2017. 482 p.

SCALON, S. P. Q. et. al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez., 2011.

SCHMITD FILHO, E. et al. Influência de diferentes doses de gesso agrícola sobre a produtividade da cultura do trigo (*Triticum sativum* L.). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 442-449, ago./dez. 2016.

SEIXAS, J. **Níveis de compactação do solo na cultura do milho (Zea mays)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

SILVA, M. R. **Influência do gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Roraima, 2018.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675 - 688, 2008.

SOUSA, D. M. G. et al. **Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados**. Embrapa Cerrados. Circular técnica 32. Planaltina, 2005.

TSUJIGUSHI, B. T. **Aplicação de corretivos de acidez e gesso agrícola e movimentação de cátions no perfil de diferentes solos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

- VENEGAS, V. H. A. et al. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p. 25-32, 1999.
- VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 9, p. 30-34, 2009.
- VITTI, G. C. et al. **Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho**. Brasília: Embrapa/CPAC. Circular Técnica, v. 13, p. 51, 2015.
- ZAMBROSI, F. C. B. et al. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.
- ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015.
- ZAPAROLLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do córrego Aratu, Florai – PR**. Dissertação. (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.