

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

VANDERSON MODOLON DUART

CALAGEM E USO DE GESSO AGRÍCOLA NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO

**PONTA GROSSA – PR
2019**

VANDERSON MODOLON DUART

CALAGEM E USO DE GESSO AGRÍCOLA NA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Agricultura.

Linha de pesquisa: Uso e manejo do solo.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires (UEPG).

Coorientador: Prof. Dr. Fernando José Garbuio (IFC-*Campus* Santa Rosa Sul).

**PONTA GROSSA - PR
2019**

D812 Duart, Vanderson Modolon
Calagem e uso de gesso agrícola na produção de arroz irrigado/
Vanderson Modolon Duart. Ponta Grossa, 2019.
100 f., il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração -
Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caíres
Co-orientador: Prof. Dr. Fernando José Garbuio

1. *Oryza sativa*. 2. Cultivo mínimo. 3. Acidez do solo. 4.
Calcário dolomítico. 5. Fosfogesso. I. Caíres, Eduardo Fávero.
II. Garbuio, Fernando José. III. Universidade Estadual de Ponta
Grossa - Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD : 633.18



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Titulo da Dissertação: **"Calagem e uso de gesso agrícola na produção de arroz irrigado".**

Nome: Vanderson Modolon Duarte

Orientador: Eduardo Fávero Caires

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Dr^a Fabiana Schmidt
Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Cruscio

Data da Realização: 22 de Fevereiro de 2019.

Dedico,
A FAMÍLIA,
A Minha Mãe AGDA CORRÊA MODOLON DUART,
pai VALMOR DUART,
Aos meus irmãos, ADRIANA MODOLON DUART,
ALEXANDRE MODOLON DUART,
ANDREZA MODOLON DUART,
por serem constante incentivo, fonte de amor e lar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

...primeiramente à Deus pelo dom da vida, saúde, oportunidade e força para começar, continuar e concluir essa etapa de grande importância em minha vida.

...a família,
aos meus pais Agda Corrêa Modolon Duarte e Valmor Duarte,
aos meus irmãos Adriana Modolon Duarte, Alexandre Modolon Duarte e Andreza Modolon Duarte por todo apoio, amizade, confiança, dedicação e amor,
à minha namorada Erica Cristina de Oliveira,
pelo companheirismo, amizade, paciência, dedicação e amor.

...às pessoas que formaram um laço de amizade familiar, sendo minha segunda família, pelas quais tenho um profundo respeito, imenso carinho e eterno agradecimento,
Aroldo Gugelmin Garbuio, Maria Roseli Gugelmin Garbuio, Terezinha Gugelmin Stori,
Angela Garbuio Ferreira, Cristiano Ferreira e seus filhos Davi e Mariana Garbuio Ferreira,
e Cristina de Oliveira por toda sua dedicação, carinho e amizade.

... aos amigos do IFC que fizeram parte de minha trajetória, apoiaram, torceram, me auxiliaram e me ajudaram para que esse estudo se concretizasse com seriedade, amizade e descontração,
sendo que desde a implantação até a finalização me auxiliaram sempre que precisei sem pedir nada em troca,
Bruno Cechinel Borges, Rogério de Souza Moretto, Nicolás Menegon, Wilian Buzanello, Mário Felipe Mezzari e Cristiane Miolla.

...aos técnicos de laboratório do IFC-SRS, Mirian Rocho da Rosa Silveira e Leandro Lunardi, ao Técnico Agrícola do IFC, Marcelo Turati Tramontin pelo apoio, amizade e ensinamentos.

...ao Instituto Federal Catarinense *Campus* Santa Rosa do Sul, pela parceria no projeto.

...à Universidade Estadual de Ponta Grossa, em especial o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e investimento a mim empregado para que eu aproveitasse o que tinha de melhor a me oferecer, o conhecimento.

... à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado.

...ao Professor Hélio Antonio Wood Joris pela amizade, confiança e ensinamentos.

... à técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo Dirce Aparecida de Oliveira, pela amizade, carinho, momentos descontração e ensinamentos.

...ao amigo Angelo Rafael Bini pela amizade, parceria, confiança e ensinamentos passados, o agradecimento se estende a todo o “time” do Laboratório de Fertilidade do Solo que sempre fizeram presente em minha trajetória durante o período de realização do Mestrado,

Adriano Haliski, Ana Cláudia Lubczyk, Daniel Bueno Moreira, Bernardo Moers, Leonardo Felipe Camargo Barão, Joyce Kuffa, Grazielle Schornobai, Alan Jean de Oliveira, Felipe Bueno Moreira, Gabriel Soares, Alessandro Gruzka Levandoski, Grazielle Schornobai, Lucas Polli Glugoski, Kaynnã Ricardo, Bruno Kenji Kanayama e Laura Beatris pela grande amizade e companheirismo.

...ao seu Edir Paganini, sua esposa Otília Sartor Paganini e filha Raquel Sartor Paganini, pelo apoio ao ceder a área e implementos para realização do experimento.

...em especial aos meus Professores Orientadores,

Eduardo Fávero Caires e Fernando José Garbuió, pela grande amizade, orientação exemplar, por seu apoio, ensinamentos, conversas, conselhos e dedicação durante essa trajetória de minha formação.

... a todas as pessoas que não foram citadas, mas que foram fundamentais no desenvolvimento desse trabalho.

EPÍGRAFES

“Em tempos de grandes mudanças,
aqueles com a capacidade de aprender herdarão a terra,
enquanto aqueles que já sabem tudo
estarão preparados para um mundo que não existe mais”

Eric Hoffer

“Nós treinamos os que treinam e influenciamos os que influenciam”

Dr. Terry Roberts

DUART, V.M. **Calagem e uso de gesso agrícola na produção de arroz irrigado**. 2019. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa.

RESUMO

No Estado de Santa Catarina (SC), o arroz irrigado é tradicionalmente cultivado no sistema pré-germinado. Porém, nos últimos anos, com o advento da tecnologia Clearfield®, o sistema de cultivo mínimo vem ganhando espaço, chegando próximo de 30% da área cultivada nesse sistema. Isso tem gerado demandas por informações referentes à correção da acidez do solo pelo fato dessas áreas permanecerem drenadas até o estágio de desenvolvimento V₃-V₄ das plantas de arroz. Nesse período, não ocorre o fenômeno conhecido como “autocalagem”, podendo assim ser necessária a correção da acidez do solo nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, com aplicação de calcário para manter o potencial produtivo da cultura. Outra demanda por informações é referente ao uso de gesso agrícola na cultura do arroz irrigado. Este produto vem sendo estudado em diversas culturas de sequeiro, mas são poucos os estudos que demonstram os efeitos de sua aplicação na cultura do arroz, especialmente em áreas alagadas. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações químicas do solo e a resposta do arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo/solo seco em função da aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola. Os experimentos foram realizados em duas localidades na região sul do Estado de SC. O experimento 1 foi realizado na cidade de Santa Rosa do Sul nas safras de 2013/14, 2014/15 e 2015/16, em um solo com baixa saturação por Al³⁺, e o experimento 2 foi realizado na cidade de Praia Grande, na safra de 2017/18, em um solo com alta saturação por Al³⁺. O delineamento experimental empregado, em ambos os experimentos, foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nos dois experimentos, empregaram-se, nas parcelas, três doses de calcário dolomítico, além de um tratamento controle sem calcário, correspondendo a 0, 0,5, 1,0 e 1,5 vezes a necessidade de calagem estimada pelo método do tampão SMP para elevar o pH em água a 5,5 (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ no experimento 1 e 0, 2,4, 4,8 e 7,2 t ha⁻¹ no experimento 2) e, nas subparcelas, foram aplicadas três doses de gesso agrícola (2, 4 e 6 t ha⁻¹), além de um tratamento controle sem gesso. O arroz foi semeado em sistema de cultivo mínimo, com exceção da safra 2015/2016 no experimento 1, a qual foi manejada no sistema pré-germinado. Os efeitos da calagem e do gesso nos atributos químicos do solo foram semelhantes nos dois experimentos, apresentando respostas similares aos estudos realizados em solos drenados de terras altas sem irrigação. A calagem foi eficiente em corrigir a acidez do solo na camada de incorporação, aumentando o pH em CaCl₂ e os teores trocáveis de Ca²⁺ e Mg²⁺, e diminuindo os teores trocáveis de Al³⁺. No experimento 1, as doses de calcário praticamente não influenciaram as concentrações de nutrientes na folha bandeira do arroz. No experimento 2, houve aumento na concentração de Mg e diminuição nos teores de Ca e S na folha bandeira do arroz com o incremento das doses de calcário; as doses de calcário também aumentaram a exportação de Ca pelos grãos e a extração de Mg pelas plantas, e diminuíram a extração de K e S pelas plantas e a exportação de S pelos grãos. As doses de gesso agrícola, nos dois experimentos, aumentaram os teores de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ no perfil do solo (0-60 cm) já no primeiro cultivo, cujos efeitos se estenderam até os 33 meses após a aplicação, e diminuíram os teores de Al³⁺ no solo após 33 meses da aplicação. No experimento 1, houve aumento nas concentrações de P, K, Ca e S na folha bandeira do arroz nos três cultivos, e também no teor foliar de N no 1º cultivo, com as doses de gesso. No

experimento 2, as doses de gesso aumentaram a concentração de S na folha bandeira do arroz, a extração de P e S pelas plantas, as concentrações de P, K, Ca e S nos grãos, bem como a exportação de K, Ca, Mg e S pelos grãos. Os componentes de rendimento, analisados somente no experimento 2, não foram influenciados significativamente pela calagem. Apesar de os benefícios na correção da acidez do solo proporcionados pela calagem, não houve resposta positiva na produtividade do arroz com as doses de calcário aplicadas nos dois experimentos e, ainda, no primeiro cultivo do experimento 1, as doses de calcário deprimiram a produtividade de arroz. Esses resultados revelaram que a calagem foi desnecessária na cultura de arroz irrigado com o objetivo de aumentar a produtividade de híbridos com alto potencial produtivo. As doses de gesso aumentaram o número de panículas por m², o peso de 1000 grãos, o número de grãos por panícula, o número de grãos cheios por panícula e o peso da panícula. A produtividade do arroz irrigado foi aumentada com doses de gesso de forma consistente, nos dois experimentos. Concluiu-se que existe grande potencial de uso do gesso agrícola na cultura do arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo visando aumentar a eficiência da utilização dos nutrientes do solo e a produtividade de grãos de híbridos com alto potencial produtivo.

Palavras chave: *Oryza sativa*, cultivo mínimo, acidez do solo, calcário dolomítico, fosfogesso.

DUART, V.M. **Liming and use of gypsum on the irrigated rice production.** 2019. Dissertation of Master degree in Agronomy - State University of Ponta Grossa.

ABSTRACT

In the State of Santa Catarina (SC), irrigated rice is traditionally grown in the pre-germinated system. However, in recent years, with the advent of Clearfield® technology, the minimum cropping system has been gaining ground, reaching close to 30% of the cultivated area in this system. This has generated demands for information regarding the correction of soil acidity because these areas remain drained until the V₃-V₄ development stage of rice plants. In this period, does not occur the phenomenon is known as "self-liming", so that soil acidity can be corrected in the early stages of plant development, with the lime application to maintain the productive potential of the crop. Another demand for information is related to the use of phosphogypsum in the irrigated rice crop. This product has been studied in several rainfed crops, but few studies have demonstrated the effects of its application on rice cultivation, especially in flooded areas. This study aimed to evaluate soil chemical changes and the response of irrigated rice in a minimum crop/dry soil system as a function of the application of dolomitic lime and phosphogypsum. The experiments were carried out in two locations in the southern region of the State of Santa Catarina. Experiment 1 was carried out in Santa Rosa do Sul in the 2013/14, 2014/15 and 2015/16 agricultural years, in a soil with low saturation by Al³⁺, and experiment 2 was carried out in Praia Grande in 2017/18, in a soil with high saturation by Al³⁺. A randomized complete block design with three replications was used in both experiments. Three rates of dolomitic lime were applied in the plots, as well as a control treatment with no lime, corresponding to 0, 0.5, 1.0 and 1.5 times the liming requirement estimated by the buffer SMP method to raise the pH in water at 5.5 (0, 2, 4, and 6 t ha⁻¹ in experiment 1 and 0, 2.4, 4.8 e 7.2 t ha⁻¹ in experiment 2), and in the subplots, three rates of phosphogypsum (2, 4, and 6 t ha⁻¹) were applied, in addition to a control treatment without phosphogypsum. The rice was sown in a minimum cropping system, with the exception of the 2015/2016 harvest in experiment 1, which was managed in the pre-germinated system. The effects of liming and phosphogypsum on the soil chemical attributes were similar in the two experiments, presenting similar responses to the studies carried out on upland soils without irrigation. Liming was efficient in correcting the soil acidity in the incorporation layer, increasing the pH in CaCl₂ and the exchangeable Ca²⁺ and Mg²⁺ contents, and reducing the exchangeable Al³⁺ content. In experiment 1, the lime rates practically did not influence the concentrations of nutrients in the rice leaf. In experiment 2, there was an increase in Mg concentration and a decrease in the Ca and S contents in the rice leaf with the increment of lime rate; liming also increased Ca exportation by grains and Mg uptake by plants, and decreased the uptake of K and S by plants and the export of S by grains. The phosphogypsum rates, in both experiments, increased the Ca²⁺ and S-SO₄²⁻ levels in the soil profile (0-60 cm) already in the first crop, whose effects lasted until the 33 months after the application, and decreased the Al³⁺ levels in the soil after 33 months of application. In experiment 1, the phosphogypsum rates increased the concentrations of P, K, Ca and S in the leaf

of the rice in the three agricultural years, and also the leaf content of N in the 1st crop. In experiment 2, the rates of phosphogypsum increased the concentration of S in the leaf of the rice, the uptake of P and S by the plants, the concentrations of P, K, Ca and S in the grains, as well as the export of K, Ca, Mg and S by the grains. The yield components, analyzed only in experiment 2, were not significantly influenced by liming. Despite the benefits of correcting the soil acidity caused by liming, there was no positive response in the rice yield with the lime rates applied in the two experiments and, in the first crop of experiment 1, the lime rates depressed the rice yield. These results revealed that liming was unnecessary in irrigated rice crop with the objective of increasing the yield of hybrids with high productive potential. The rates of phosphogypsum increased the number of panicles per m², the weight of 1000 grains, the number of grains per panicle, the number of grains filled per panicle, and the weight of the panicle. The yield of irrigated rice was consistently increased with phosphogypsum rates in both experiments. It was concluded that there is a great potential of using phosphogypsum in irrigated rice cultivation in a minimum growing system aiming to increase the efficiency of soil nutrient utilization and grain yield of hybrids with high productive potential.

Keywords: *Oryza sativa*, minimum cultivation, soil acidity, dolomitic limestone, phosphogypsum.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Precipitação pluvial mensal, insolação mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal ocorridas durante o período de desenvolvimento da cultura do arroz no campo. Fonte: Dados disponibilizados pelo INMET (2018) da estação de Torres – RS, a mais próxima do experimento em Santa Rosa do Sul (SC). 36
- Figura 2:** Precipitação pluvial mensal, insolação mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal ocorrida durante o período de desenvolvimento da cultura do arroz no campo. Fonte: Dados disponibilizados pelo INMET (2018) da estação de Torres – RS, a mais próxima do experimento localizado em Praia Grande (SC)..... 41
- Figura 3:** Distribuição do calcário dolomítico nas parcelas principais (A) e distribuição de gesso agrícola nas subparcelas (B). Safra 2017/18. Praia Grande (SC). 43
- Figura 4:** Contagem total de grãos cheios e falhados em uma amostra de grãos de arroz irrigado (0,25 m²) para a contagem de número de grãos por metro quadrado e o cálculo de percentagem de grãos cheios por panícula. 46
- Figura 5:** Alterações no pH em CaCl₂ e nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 49
- Figura 6:** Alterações nos teores trocáveis de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 50
- Figura 7:** Alterações nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 52
- Figura 8:** Alterações no pH em CaCl₂ e nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 54
- Figura 9:** Alterações nos teores trocáveis de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 55
- Figura 10:** Alterações nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC..... 57

Figura 11: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de calcário dolomítico. Safras 2013/14 (▲), 2014/15 (●) e 2015/16 (■). *: $p < 0,05$, ns: não significativo. Santa Rosa do Sul-SC. 61

Figura 12: Produtividade acumulada de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de calcário dolomítico. Soma das produtividades obtidas nas safras de 2013/14, 2014/15 e 2015/16. ns: não significativo. Santa Rosa do Sul-SC. 62

Figura 13: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de gesso agrícola. Safra 2013/14 (▲), Safra 2014/15 (●) e Safra 2015/2016 (■). **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul-SC. 64

Figura 14: Produtividade acumulada de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de gesso agrícola. Soma das produtividades obtidas nas safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Safra 2017/18, Praia Grande - SC. **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul-SC. 65

Figura 15: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de calcário após 109 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC. 68

Figura 16: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de gesso agrícola após 51 dias da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC. 69

Figura 17: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC. 71

Figura 18: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 20-40 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. ns: não significativo e **: significativo $p < 0,01$. Praia Grande – SC. 72

Figura 19: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 40-60 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. ns: não significativo. Praia Grande – SC. 73

Figura 20: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: significativo $p < 0,01$. Praia Grande – SC. 75

Figura 21: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases

(V%) no solo, na camada de 20-40 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC..... 76

Figura 22: Alterações no pH em CaCl_2 , nos teores trocáveis de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nos teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC..... 77

Figura 23: Rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de doses de calcário. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC 84

Figura 24: Produtividade de grãos de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de doses de calcário. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC. 84

Figura 25: Rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de gesso agrícola. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC. 86

Figura 26: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Titan CL[®]) em função da aplicação de gesso agrícola. Safra 2017/18. **: $p < 0,01$. Praia Grande - SC. 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de análises químicas do perfil do solo antes da instalação do experimento. Santa Rosa do Sul (SC).	36
Tabela 2: Resultados de análises químicas do perfil do solo antes da instalação do experimento. Praia Grande (SC).	41
Tabela 3: Concentrações de N, P e K na folha bandeira de arroz irrigado (Inov CL [®]), nas safras de 2013/14 (1º cultivo), 2014/15 (2º cultivo) e 2015/16 (3º cultivo), em função da aplicação de calcário e gesso. Santa Rosa do Sul - SC.....	59
Tabela 4: Concentrações de Ca, Mg e S na folha bandeira de arroz irrigado (Inov CL [®]), nas safras de 2013/14 (1º cultivo), 2014/15 (2º cultivo) e 2015/16 (3º cultivo), em função da aplicação de calcário e gesso. Santa Rosa do Sul - SC.....	59
Tabela 5: Desdobramento da interação entre as doses de calcário e gesso para o teor de Al ³⁺ trocável no solo (0-20 cm), antes da entrada de água no sistema. Praia Grande - SC.	70
Tabela 6: Concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na folha bandeira do arroz irrigado, híbrido Titan CL [®] , em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.	79
Tabela 7: Extração dos N, P, K, Ca, Mg e S pela cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL [®] , em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.	81
Tabela 8: Teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de arroz irrigado, híbrido Titan CL [®] , em função da aplicação de calcário dolomítico e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.	82
Tabela 9: Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pela cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL [®] , em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.	83
Tabela 10: Componentes de rendimento da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL [®] , em função da aplicação de doses de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.	88

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. OBJETIVO GERAL	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. HIPÓTESES	20
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
4.1. Cultura do arroz irrigado.....	21
4.1.1. Morfologia.....	21
4.1.2. Aspecto econômico	21
4.2. Sistema de cultivo da cultura de arroz irrigado	23
4.3. Acidez do solo.....	25
4.4. Uso de calcário em áreas de arroz irrigado.....	26
4.5. Cálcio, magnésio e enxofre no solo	30
4.6. Gesso agrícola	33
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1. Experimento 1. Aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola na produção de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em solo com baixa saturação por alumínio	35
5.1.1. Caracterização da área experimental de Arroz Irrigado do IFC – <i>Campus Santa Rosa do Sul</i>	35
5.1.2. Delineamento experimental	36
5.1.3. Semeadura do arroz	37
5.1.4. Controle do nível de água.....	38
5.1.5. Amostragem de solo.....	39
5.1.6. Análise química do solo	39
5.1.7. Diagnose foliar	39

5.1.8.	Produtividade de grãos.....	40
5.1.9.	Análises estatísticas	40
5.2.	Experimento 2: Aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola na produção de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em solo com alta saturação por alumínio.	40
5.2.1.	Localização, caracterização e condução do experimento na cidade de Praia Grande (SC)	40
5.2.2.	Delineamento experimental	42
5.2.3.	Semeadura do arroz	43
5.2.4.	Manejo da água.....	44
5.2.5.	Amostragem de solo.....	44
5.2.6.	Análise química do Solo	44
5.2.7.	Diagnose foliar e extração de nutrientes	45
5.2.8.	Componentes de rendimento	45
5.2.9.	Produtividade de grãos.....	46
5.2.10.	Análise química dos grãos e exportação de nutrientes	46
5.2.11.	Análises estatísticas	47
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6.1.	Solo com baixa saturação por alumínio	48
6.1.1.	Efeitos da calagem nos atributos químicos do solo	48
6.1.2.	Efeitos da aplicação de gesso nos atributos químicos do solo	53
6.1.3.	Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na nutrição do arroz	58
6.1.4.	Efeitos da calagem na produtividade de arroz.....	61
6.1.5.	Efeitos da aplicação de gesso na produtividade de arroz.....	63
6.2.	Solo com alta saturação por alumínio	67
6.2.1.	Alterações químicas do solo antes da entrada de água no sistema	67

6.2.2.	Alterações químicas do solo após a colheita do arroz	70
6.2.3.	Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na nutrição do arroz	78
6.2.4.	Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na extração de nutrientes pela cultura do arroz	80
6.2.5.	Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na exportação de nutrientes pela cultura do arroz	81
6.2.6.	Efeitos da calagem no rendimento de matéria seca da parte aérea e na produtividade do arroz	83
6.2.7.	Efeitos da aplicação de gesso no rendimento de matéria seca da parte aérea e na produtividade do arroz	85
6.2.8.	Efeitos da calagem e da aplicação de gesso nos componentes de rendimento da cultura de arroz	88
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
8.	CONCLUSÕES	91
9.	REFERÊNCIAS	92

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina (SC) é o segundo maior produtor de grãos de arroz do Brasil, atingindo na safra 2017/18 produção em torno de 1,15 milhão de toneladas de grãos em área cultivada de 146,7 mil hectares (CONAB, 2019). As áreas de cultivo de arroz, em sua maioria, são irrigadas por inundação, proporcionando as maiores produtividades do país (7850 kg ha^{-1} de grãos, média em SC) (CONAB, 2019). O sistema de cultivo predominante em SC é o sistema pré-germinado.

O sistema pré-germinado caracteriza-se pela implantação da cultura com sementes pré-germinadas, distribuídas a lanço, em solo previamente inundado (SOSBAI, 2018). De modo geral, não é necessária a correção da acidez do solo nesse sistema de cultivo, pois ocorre aumento no pH em solos ácidos, devido ao ambiente redutor formado no processo de inundação, enquanto que em solos alcalinos, o pH diminui devido ao acúmulo mais intenso de CO_2 . Com isso, a maioria dos solos inundados apresentam valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ próximos à neutralidade atingindo equilíbrio em torno de 6,5 a 7,5 (CAMARGO et al., 1993), processo conhecido como “auto calagem”. Nestes casos, a calagem é utilizada apenas para elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis no solo.

A partir da safra 2010/11, com o advento do sistema Clearfield®, ocorreu aumento das áreas cultivadas em semeadura em solo seco, chegando a índices de, aproximadamente, 25 a 30% da área, na safra 2017/18 (SOSBAI, 2018). Muitas propriedades em SC estão passando pelo processo de mudança de sistema de cultivo de arroz irrigado, migrando do sistema de cultivo pré-germinado para o sistema de semeadura em solo seco/cultivo mínimo, já bem consolidado no Estado do Rio Grande do Sul (61% da área) (SOSBAI, 2018).

O sistema de semeadura em solo seco/cultivo mínimo proporciona benefícios como menor custo no preparo do solo (não há formação de lama), a primeira aplicação de nitrogênio (N) e herbicida é facilitada (ocorrem em solo não inundado), além do uso mais eficiente da água. Porém, perde-se o efeito natural da água na correção da acidez do solo no estágio inicial de desenvolvimento a cultura, quando comparado com o sistema pré-germinado. Por esse motivo, têm surgido dúvidas relacionadas à correção da acidez do solo, principalmente nesse período em que o solo permanece não inundado, momento em que ocorre a emergência e o crescimento de plântulas de arroz, permanecendo sem a lâmina de água até o estágio V_3 - V_4 de desenvolvimento

da cultura. Estudos são necessários para elucidar se as recomendações de calagem para o arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo com semeadura em solo seco.

As altas produtividades proporcionadas por cultivares considerados modernos e o intenso cultivo refletem na quantidade de nutrientes extraídos do solo. Geralmente são repostos apenas os nutrientes considerados primários: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), utilizando-se, fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP) ou superfosfato triplo (TSP) como fonte de P, e cloreto de potássio (KCl) como fonte de K. Com isso, o enxofre (S) é um macronutriente que normalmente fica esquecido nas recomendações de adubação. Além disso, a fonte de adubo nitrogenado utilizada é a ureia, a qual também não contém S em sua composição.

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sendo um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e flúor (F), pode ser utilizado como fonte de S, além de atuar na melhoria das condições de acidez no subsolo, por meio do aumento no teor de Ca^{2+} , da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} (OATES e CALDWELL, 1985; RAIJ, 1988; SHAINBERG et al., 1989; CARVALHO e RAIJ., 1997). Porém, são escassos os estudos envolvendo a aplicação de gesso na cultura do arroz, especialmente em áreas alagadas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações químicas do solo, a nutrição das plantas, os componentes de rendimento e a produtividade de arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco/cultivo mínimo com a aplicação de calcário dolomítico e de gesso agrícola em solos com distintas condições de acidez.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Avaliar os efeitos da calagem e da aplicação de gesso nos atributos químicos das camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, considerando solos com distintas condições de acidez.
- (ii) Avaliar o efeito da interação calcário × gesso em solos com distintas condições de acidez cultivados com arroz irrigado.
- (iii) Avaliar os efeitos da aplicação de calcário dolomítico e de gesso agrícola na nutrição das plantas, na composição mineral dos grãos, nos componentes de rendimento e na produtividade de arroz irrigado cultivado em solos com distintas condições de acidez.
- (iv) Verificar as possíveis relações entre os teores de nutrientes no solo, a extração de nutrientes pelas plantas e a exportação de nutrientes pelos grãos com a produtividade de arroz irrigado.

3. HIPÓTESES

- (i) A amenização da acidez do solo proporcionada pelo uso de calcário dolomítico melhora a nutrição das plantas e aumenta a produtividade de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo somente quando o solo apresenta alta saturação por Al^{3+} .
- (ii) O aumento nos teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} ao longo do perfil do solo causado pela aplicação de gesso agrícola ocasiona incrementos na produtividade de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo, independente da acidez do solo e saturação por Al.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Cultura do arroz irrigado

4.1.1. Morfologia

O arroz (*Oriza sativa*) é uma gramínea anual de verão da família das *poáceas*, classificada no grupo de plantas com sistema fotossintético C_3 , e adaptada ao ambiente anaeróbico. Esta adaptação é devida à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta. Aerênquima é o termo dado a tecidos vegetais contendo espaços gasosos aumentados que excedem os comumente encontrados como espaços intracelulares. Na raiz do arroz, o aerênquima representa 5% a 30% do total dos tecidos, possibilitando a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (GROOT et al., 2005). Um dos mais importantes aspectos que condicionam a planta a amenizar os efeitos tóxicos dos produtos da redução de alguns elementos é a capacidade do arroz em oxidar a região da rizosfera (LUXEMOORE et al., 1970).

A formação de aerênquima ocorre primeiramente nas raízes, sobretudo nas adventícias, quando as células dos pontos de crescimento percebem a presença de algum fator limitante ao metabolismo e se estendem para a base da planta e parte aérea (THOMSON et al., 1991). A perda radial de O_2 e a demanda criada pela atividade respiratória da raiz cria demanda para o O_2 passar pela parte aérea até a raiz em resposta a um fluxo difusivo da atmosfera, sendo transportado através do aerênquima (GROOT et al., 2005).

Sementes de arroz tem a habilidade de germinar sob condição anoxia (SAUTER, 2000). Em comparação com outras culturas não tolerantes, raízes de arroz são menos sensíveis à anoxia (JOSHI e KUMAR, 2012). Plantas que possuem maior capacidade de formar aerênquima teoricamente transportam mais O_2 para a ponta das raízes, podendo favorecer o seu crescimento e, conseqüentemente, promover maior aprofundamento do sistema radicular, o que pode ser desejável em vista do volume de solo explorado na busca por nutrientes.

4.1.2. Aspecto econômico

O arroz é o cereal mais consumido no mundo pelos seres humanos, seguido do trigo e do milho. Presente na mesa dos brasileiros, o arroz, faz a apreciada dobradinha com o feijão (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2017). O consumo aparente médio mundial de arroz beneficiado é de $54 \text{ kg pessoa}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que os

países asiáticos, onde são produzidos mais de 90% desse cereal, apresentam as médias mais elevadas (78 kg pessoa⁻¹ ano⁻¹). Na América do Sul, são consumidos, em média, 29 kg pessoa⁻¹ ano⁻¹, destacando-se o Brasil como grande consumidor (32 kg pessoa⁻¹ ano⁻¹), (SOSBAI, 2018).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de arroz fora do continente Asiático (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2014), com uma produção total em torno de 12 milhões de toneladas. O cultivo de arroz irrigado representa 89,2% da produção brasileira (10,76 milhões de toneladas). A região Sul do Brasil predomina no abastecimento nacional, respondendo por cerca de 81%, em especial os estados do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC), onde são cultivadas lavouras irrigadas por inundação. Tais cultivos garantem a maior parte da demanda nacional, com produção somente de arroz do tipo “Agulhinha”, o preferido do consumidor nacional (CONAB, 2019).

Na safra 2017/18, o Brasil obteve a produtividade média de grãos de arroz irrigado de 7513 kg ha⁻¹ nas áreas conduzidas em solos irrigados por inundação (1,433 milhões de ha). Os estados do RS e SC foram responsáveis pelas maiores produtividades do país, da ordem de 7850 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

De acordo com levantamentos do Irga (2018) e de Giehl et al. (2018), a área cultivada e de produção de arroz nos estados do RS e SC foram semelhantes ao realizado pela Conab (2019). No entanto, em tais levantamentos, a produtividade média de arroz na safra de 2017/18 foi superior nesses dois estados. No Estado do RS, a produtividade média de grãos foi de 7949 kg ha⁻¹, variando de 6987 kg ha⁻¹ (na região da Planície Costeira Externa) a 9139 kg ha⁻¹ na cidade de Uruguaiana (região Fronteira Oeste) (IRGA, 2018). Em SC, a produtividade média foi de 8048 kg ha⁻¹, variando de 6517 kg ha⁻¹ (Florianópolis) a 8963 kg ha⁻¹ (Rio do Sul), sendo que na microrregião de Araranguá a produtividade média foi de 7840 kg ha⁻¹ (GIEHL et al., 2018). A microrregião de Araranguá é a maior do Estado de SC, responsável por abranger 35% da área cultivada e contribuir com 34,2% da produção do Estado (GIEHL et al., 2018).

De acordo com Sosbai (2018), o arroz é produzido em 83 municípios no Estado de SC, sendo que a maior área se localiza no Litoral Sul (61,9%), seguida da região Médio/Baixo Vale do Itajaí e Litoral Norte (25,2%). O restante encontra-se no Alto Vale do Itajaí (9,04%) e Litoral Centro (3,9%). Dados do Censo Agropecuário de 2017 (SOSBAI, 2018) apontaram para a existência de 5912 propriedades produzindo arroz

irrigado no Estado de SC. O arroz é o 8º produto em importância econômica no Estado de SC (SOSBAI, 2018).

O sistema de irrigação por inundação requer que o solo apresente algumas características favoráveis intrínsecas, como o caráter hidromórfico (resultado da presença de horizonte com condutividade hidráulica baixa ou nula abaixo da superfície, ou da proximidade do lençol freático em relação à superfície do solo), baixa declividade e baixa irregularidade superficial da área. A ocorrência do cultivo de arroz irrigado em SC é de 61% da área em solos da classe dos Gleissolo, caracterizados como solos que apresentam menores limitações nas características edáficas como um todo, seguido dos Neossolos (20%) que podem ter algumas limitações pelo relevo ondulado (SOSBAI, 2018).

As altas produtividade atingidas pela cultura do arroz irrigado está relacionada ao fato de a cultura não apresentar estresse hídrico e apresentar condição climática favorável, melhorias no sistema de manejo com investimento em tecnologia e o melhoramento genético proporcionando cultivares de alto potencial de produtividade. Dentre os benefícios do melhoramento genético, destacam-se híbridos com alto potencial produtivo, baixa densidade de semeadura, maior sanidade, boa formação de raízes, tolerância à toxicidade por ferro (Fe), alto potencial de perfilhamento, além da estabilidade de rendimento; porém, cultivares modernas convencionais continuam dominando as áreas de plantio por também apresentar alto potencial produtivo (SOSBAI, 2018).

4.2. Sistema de cultivo da cultura de arroz irrigado

Solos que permanecem saturados em períodos de maior precipitação pluvial, ou seja, solos de difícil drenagem e topografia plana, são caracterizados como áreas próprias para o cultivo do arroz irrigado. A drenagem deficiente está relacionada não apenas à topografia plana, mas também à ocorrência de horizontes subsuperficiais argilosos, com baixa condutividade hidráulica, e à proximidade do lençol freático da superfície do solo, dificultando a percolação de água no perfil. Essas características, normalmente desfavoráveis para outras culturas, tornam-se adequadas para o cultivo do arroz irrigado, facilitando a manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície do solo e dificultando a lixiviação de nutrientes.

Os sistemas de cultivo utilizados na cultura do arroz irrigado nos Estados do RS e SC diferenciam-se, basicamente, quanto à forma e à época de preparo do solo,

aos métodos de semeadura e ao manejo inicial da água. Os principais sistemas utilizados são o convencional, o cultivo mínimo, o plantio direto, o pré-germinado e o transplante de mudas (SOSBAI, 2018).

O sistema por transplante de mudas objetiva, principalmente, a obtenção de sementes de alta qualidade. Para se conseguir alta pureza varietal, a prática do “roguing” é facilitada nesse sistema, pelo fato de as mudas serem transplantadas em linhas em solo saturado. O sistema compreende as fases de produção e transplante de mudas. O preparo do solo, o manejo da irrigação e o controle de plantas daninhas, pragas e doenças são idênticos aos recomendados para o sistema pré-germinado. O sistema de transplante de mudas é pouco usado no sul do Brasil e está restrito a áreas de produção de sementes de alta qualidade (SOSBAI, 2018).

O sistema plantio direto fundamenta-se em três princípios básicos: movimentação mínima do solo, manutenção permanente de cobertura do solo e adoção da prática de rotação e sucessão de culturas. Esses fundamentos viabilizam o objetivo principal do sistema em terras altas que é a conservação do solo (SOSBAI, 2018).

No sistema convencional, o preparo da área é feito utilizando-se equipamentos de acordo com o tipo de solo, profundidade desejada de preparo e condição de cobertura do solo. Pode-se realizar operações mais profundas, como o preparo inicial do solo e, posteriormente, o preparo secundário. Este último envolve operações mais superficiais, visando o adequado preparo e o aplainamento da superfície do solo e a eliminação de plantas daninhas no início de seu desenvolvimento, criando, assim, um ambiente favorável à emergência e ao desenvolvimento inicial das plantas de arroz (SOSBAI, 2018).

No sistema de cultivo mínimo, a implantação do arroz é realizada pela semeadura direta em solo previamente preparado, de forma a haver tempo suficiente para a formação de uma cobertura vegetal que é controlada normalmente pelo uso de herbicidas de ação total. Dessa forma, há menor mobilização do solo do que no sistema convencional durante a operação de semeadura (SOSBAI, 2018).

O sistema pré-germinado caracteriza-se pela implantação da cultura com sementes pré-germinadas, distribuídas a lanço, em solo previamente inundado com lâmina de água de cerca de 5 cm. A pré-germinação das sementes consiste em sua hidratação em sacos porosos ou tanques, pela imersão em água durante 24 a 36 h. Após esse período, as sementes são retiradas da água e deixadas à sombra por igual

período, fase conhecida como incubação. Normalmente, o preparo do solo nesse sistema compreende as etapas de incorporação da resteva de arroz e plantas daninhas, formação de lama, nivelamento e alisamento do solo (SOSBAI, 2018).

O Estado do RS já tem tradição em semear arroz irrigado no sistema de cultivo em solo sem revolvimento para a semeadura direta (sistemas de cultivo mínimo e plantio direto). Na safra de 2017/18, 65,8% da área do RS foi cultivada nesse sistema, enquanto que 24,1% foi cultivada no sistema convencional e em torno de 10% no sistema pré-germinado (IRGA, 2018).

No Estado de SC utilizava-se somente o sistema-pré-germinado. A partir da safra de 2010/11, com o advento do sistema Clearfield®, a semeadura no sistema de cultivo mínimo começou a crescer, chegando a índices de, aproximadamente, 25 a 30% da área, na safra de 2017/18 (SOSBAI, 2018).

O Estado de SC é conhecido por predominar a semeadura de arroz irrigado no sistema pré-germinado. Porém, com o avanço de tecnologias está havendo aumento expressivo da área cultivada em solo seco, em linha, ou cultivo mínimo, pois esse sistema proporciona benefícios como menor custo no preparo do solo e plantio. A primeira aplicação de nitrogênio (N) e herbicida fica facilitada por se trabalhar em solo não-inundado, proporcionando o uso mais eficiente da água, pois a entrada de água ocorre aproximadamente 30 dias após o plantio. Por esse motivo, têm surgido dúvidas relacionadas à correção da acidez do solo nesse período em que o solo fica drenado, considerando que neste período ocorre a emergência e o crescimento de plântulas até o estágio V₃-V₄ do desenvolvimento da cultura do arroz.

4.3. Acidez do solo

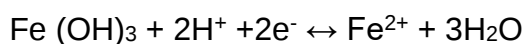
Por causa da fertilidade naturalmente baixa dos solos brasileiros, o manejo adequado da calagem e dos fertilizantes assume grande relevância para o processo produtivo de grãos. Os solos brasileiros, por serem altamente intemperizados, normalmente apresentam problemas relacionados com alta acidez, teores elevados de alumínio (Al) e manganês (Mn) (RAIJ, 2011), e baixos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) (FAGERIA, 2001).

A principal prática utilizada para a correção da acidez do solo na agricultura é a calagem. Os produtos mais usados na correção da acidez do solo são rochas calcárias moídas, as quais possuem carbonatos de cálcio (CaCO₃) e de magnésio (MgCO₃) em sua composição. A calagem proporciona condições favoráveis para o

crescimento radicular favorecendo a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, pelo fato de diminuir a acidez do solo, proporcionar incrementos nos teores trocáveis de Ca e Mg, e diminuir a atividade de elementos potencialmente tóxicos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) às plantas.

4.4. Uso de calcário em áreas de arroz irrigado

Em áreas de arroz irrigado no sistema pré-germinado, ou seja, o sistema de cultivo de arroz no qual a planta fica sob condições de inundação desde o início do ciclo, a calagem não é recomendada para a correção da acidez do solo, e sim para suprir possíveis deficiências de Ca e/ou Mg no solo. A recomendação de calcário no sistema de cultivo de arroz irrigado pré-germinado é feita visando elevar a saturação por bases do solo a 40%, quando o teor de Ca^{2+} trocável for $\leq 40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e o teor de Mg^{2+} trocável for $\leq 10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SBCS-CQFS, 2016; SOSBAI, 2018). Para solos com teores de Ca e Mg trocáveis superiores a esses limites, a calagem não é recomendada. Essa recomendação é decorrente da inundação da área por praticamente o ano todo, a qual ocasiona elevação natural do pH do solo devido ao consumo de prótons na redução de compostos oxidados, fenômeno chamado de “auto calagem” (SOUZA et al., 2009). De acordo com Moraes e Dynia (1992), a inundação provoca aumento no pH e nas concentrações de HCO_3^- , de P e de Mg^{2+} no solo e, consequentemente, aumento nas concentrações de Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ na solução do solo. Segundo Ponnampertuma (1972), isso ocorre porque durante o alagamento do solo o O_2 é consumido pelos microrganismos aeróbios, os quais são substituídos pelos anaeróbios, ocasionando um ambiente de redução e acúmulo de CO_2 . A redução de compostos oxidados eleva o pH pelo consumo de prótons, como pode ser exemplificado para os óxidos de ferro (VAHL e LOPES, 1998):



A solubilização de óxidos de Fe^{2+} para a solução do solo aumenta a sua concentração. Embora os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ não estejam diretamente envolvidos no processo de redução, o maior teor de Fe^{2+} e Mn^{2+} na solução do solo (MORAES e DYNIA, 1992) pode deslocar parte desses cátions que estavam adsorvidos na fase sólida, aumentando a sua disponibilidade para as plantas (VAHL e LOPES, 1998).

O alagamento do solo, de maneira geral, causa aumento no $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ do solo até valores próximos a 6,0 (SILVA e RANNO, 2005) e 7,0 (MORAES e DYNIA, 1992), cujo efeito permanece estável a partir de 4 a 6 semanas (SOSBAI, 2018).

Em áreas de cultivo de arroz irrigado no sistema de semeadura em cultivo mínimo, em que a semeadura é realizada em solo drenado e a entrada de água no sistema ocorre aproximadamente entre 15 e 30 dias após a emergência das plântulas (SOSBAI, 2018), o fenômeno de “auto calagem” não ocorre na mesma proporção que se observa no sistema pré-germinado. Como o aumento e a estabilização de pH ocorrem de 4 a 6 semanas após o alagamento, esse efeito pode coincidir com o estágio de diferenciação da panícula para cultivares de ciclo precoce e médio e, uma simples inundação do solo, pode não ser suficiente para substituir a calagem, pois, para que sejam dadas as condições ideais ao desenvolvimento das planta de arroz, a acidez do solo já deveria estar corrigida no início do desenvolvimento das plantas, quando estas são mais sensíveis aos fatores de acidez do solo.

Segundo Fageria (1982), as plantas de arroz têm o desenvolvimento da parte aérea e da raiz reduzidos quando submetidos a altos níveis de Al^{3+} no solo. Somente após 60 dias da emergência, o efeito tóxico do Al^{3+} não foi mais observado entre os cultivares sensíveis e tolerantes ao Al^{3+} . Sendo assim, a calagem em solos ácidos cultivados com arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo propicia melhores condições às plântulas para o seu desenvolvimento neste período inicial de seu ciclo, quando o potencial de rendimento de grãos é estabelecido (WIELEWICH et al., 1998).

A recomendação de calcário para arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo se justifica quando o pH em água for menor que 5,5 e a saturação por bases menor que 65% (SOSBAI, 2018; SBSCS-CQFS, 2016). A dose de calcário é calculada utilizando-se o método do tampão SMP para elevar o pH em água a 5,5 ou o método da elevação da saturação por bases do solo para 65% (SOSBAI, 2018; SBSCS-CQFS, 2016). Porém, em um estudo realizado por Silva e Ranno (2005), em três diferentes tipos de solo (Gleissolo, Planossolo 1 e Planossolo 2), verificou-se que o efeito da calagem realizada pelo método do tampão SMP foi dependente do tipo de solo estudado. Esses resultados evidenciaram a necessidade de realização de mais estudos em campo para elucidar dúvidas referentes à correção da acidez do solo e a resposta da cultura de arroz irrigado à calagem no sistema de cultivo mínimo, com atenção especial à microrregião de Araranguá, principal produtora de arroz do Estado de SC. Nessa microrregião, tem ocorrido considerável aumento na área de produção pelo sistema de cultivo mínimo com semeadura em solo que antes era utilizada no sistema de cultivo pré-germinado.

A acidez do solo influencia negativamente a produtividade da maioria das culturas por causa do aumento de saturação por Al e diminuição da saturação por bases. Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à pobreza de bases trocáveis do material de origem ou a fatores que favorecem a remoção dos cátions básicos durante sua formação. Por outro lado, a acidez dos solos pode ser aumentada por lixiviação, erosão, remoção de cátions básicos pelos cultivos e por alguns fertilizantes nitrogenados (CAIRES et al., 2015). A acidez pode impedir o pleno crescimento das plantas, além de interferir nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A disponibilidade de nutrientes pode diminuir e a presença de elementos na forma tóxica às plantas pode causar efeitos negativos na produtividade das culturas.

A calagem é considerada como uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos fertilizantes, consequentemente da produtividade e rentabilidade agropecuária (CAIRES e JORIS, 2016), em virtude da melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O calcário é o corretivo de acidez do solo mais utilizado na agricultura, pois é um produto de ocorrência natural, disponível com relativa frequência, abundância e boa distribuição geográfica. É um produto de baixa solubilidade e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e do tempo de reação com o solo.

Os benefícios da calagem têm sido comprovados em vários estudos, realizados em sistema convencional de preparo do solo (AMARAL et al., 2001; FAGERIA, 2001), culturas perenes (CHAVES; PAVAN; IGUE, 1984; PAVAN, 1994; FIDALSKI e TORMENTA, 2005; ARAÚJO et al., 2009), em sistema plantio direto (ALLEONI et al., 2005; CAIRES et al., 2000; 2001a; 2001b; 2003; 2006; 2011; 2015; ZAMBROSI et al., 2008; JORIS et al., 2013; 2016; INAGAKI et al., 2016), em casa de vegetação em vasos (ARAÚJO et al., 2009; FAGERIA, 1984), em colunas de PVC (DE MARIA et al., 1993; AMARAL et al., 2004; FREIRIA et al., 2008) e com incubação em solos de várzea (SILVA e RANNO, 2005),

Os produtos da dissolução do calcário reagem com os colóides do solo ocasionando aumento no pH, nos teores de Ca e Mg e na saturação por bases, bem como redução nos teores de Al e Mn (CAIRES et al., 2001). Além de suprir a necessidade de Ca e Mg para o arroz irrigado, a calagem é considerada uma prática viável para minimizar os problemas de toxicidade de Fe^{2+} no cultivo de arroz em solos inundados (BARBOSA et al., 1983).

Segundo Fageria (2000) e Duarte et al. (1999), o arroz é uma espécie adaptada às condições de acidez do solo. Fageria et al. (1977) verificaram que teores de até 45 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺ não ocasionaram problemas para a produção de massa seca de arroz irrigado. Em 13 experimentos conduzidos em diversas localidades do Vale do Paraíba e Estado de São Paulo, em solos com teores trocáveis de Ca²⁺ + Mg²⁺ variando de 25 a 70 mmol_c dm⁻³ e teores trocáveis de Al³⁺ entre 22 e 45 mmol_c dm⁻³, Leite et al. (1970) não observaram resposta da cultura do arroz à aplicação de calcário sob sistema irrigado em solos orgânicos, argilosos e mistos. Em outro estudo, Schimidt e Gargantini (1970) também não observaram benefícios na produção de grãos de arroz do cultivar Iguape-agulha com a aplicação de calcário na dose de 6 t ha⁻¹ com a finalidade de elevar o pH_{H2O} do solo a aproximadamente 6,5. A produção de massa seca da parte aérea do cultivar EMBRAPA 7 TAIM também não foi influenciada pela calagem parcial ou total recomendada com base no índice SMP para atingir pH em água 5,5 (WIELEWICK et al., 1998). Em solo Gley pouco Húmico, Dynia e Moraes (1998) concluíram que a calagem não influenciou a produção de grãos de arroz irrigado.

Cabe destacar, no entanto, que Fageria (1982), Ferreira et al. (1986), Duarte et al. (1999) e Fageria et al. (2015) encontraram diferenças entre cultivares de arroz quanto às suas respostas ao Al no solo e à calagem. Em cultivo de arroz de terras altas na região do Cerrado, Fageria (2000) trabalhando com três variedades de arroz concluiu que o arroz é bastante tolerante à acidez do solo, mesmo verificando efeito do pH do solo na produção, nos componentes de produção e na acumulação de nutrientes pelas plantas. Fageria et al. (2015) analisando o comportamento de 30 genótipos de arroz de terras altas frente às condições de acidez do solo, classificaram 40%, 43% e 17% dos genótipos como tolerantes, moderadamente tolerantes e sensíveis à acidez do solo, respectivamente.

Quando se trata de cultivo de arroz em terras altas, as respostas à aplicação de calcário são mais consistentes. Barbosa Filho e Silva (1994) verificaram aumento de 14% na produção de grãos de arroz com irrigação por aspersão com a calagem. Duarte et al. (1999) observaram aumento na produção de massa verde da parte aérea de quatro cultivares de arroz em função da aplicação de calcário. Fageria (1984) verificou variação de cultivar para cultivar nas respostas à aplicação de calcário, porém realçando resposta de 23% na produção quando o nível de Ca + Mg no solo foi elevado de 6 para 49 mmol_c dm⁻³ com a utilização de calcário. Soratto et al. (2010)

observaram incremento no número de panículas por m², no número de espiguetas por panícula, na massa de 1000 grãos e na produtividade de grãos de cultivares de arroz de terras altas aplicando calcário em superfície no sistema plantio direto.

4.5. Cálcio, magnésio e enxofre no solo

O avanço de tecnologias na produção do arroz irrigado, como o desenvolvimento de cultivares de alto potencial produtivo, associado com estratégias adequadas de manejo da fertilidade do solo e nutrição das plantas, controle de pragas e doenças proporcionam a obtenção de altas produtividades da cultura do arroz. Consequentemente, são extraídas altas quantidades de nutrientes do solo, mas geralmente são repostos apenas os nutrientes considerados primários (N, P e K) por meio de adubos formulados, ureia e cloreto de potássio. Nutrientes secundários importantes, como Ca, Mg e S, acabam não sendo repostos e esquecidos nas recomendações de manejo.

Os nutrientes Ca e Mg podem ser adicionados no solo com grande eficiência através da calagem. O Ca²⁺ atua como mensageiro secundário na regulação metabólica, constituinte da lamela média das paredes celulares e é requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolípidios, sendo também responsável por estimular o crescimento radicular (TAIZ et al., 2017). O Mg²⁺ é constituinte da molécula de clorofila e requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos (TAIZ et al., 2017). Embora esses nutrientes não estejam diretamente envolvidos no processo de redução quando ocorre a inundação do solo por irrigação, o maior teor de Fe²⁺ e Mn²⁺ na solução do solo ocasionada pela inundação pode deslocar parte desses cátions que estavam adsorvidos na fase sólida aumentando sua disponibilidade para as plantas (MORAES e DYNIA, 1992).

O S, de acordo com sua função bioquímica nas plantas, é classificado como nutriente que faz parte de composto de carbono (C) juntamente com o N. O S é absorvido pelos vegetais principalmente na forma de sulfato (SO₄²⁻) e, depois de ser reduzido a sulfeto (S²⁻), é incorporado em numerosos compostos orgânicos, dentre os quais se destacam os aminoácidos cisteína, cistina e metionina. O S também é constituinte do ácido lipoico, da coenzima A, da tiamina pirofosfato, da glutatona, da biotina, 5'-adenilil-sulfato e 3'-fosfoadenosina que vão integrar as proteínas (CATANI; GLÓRIA; VITTI, 1971; TAIZ et al., 2017).

O S ocorre naturalmente nos solos nas formas orgânica e inorgânica. O S ligado

aos componentes orgânicos do solo constitui-se na maior reserva deste nutriente, podendo chegar a 100% do S total em solos orgânicos ou turfosos. A fração inorgânica do S predomina na forma do íon SO_4^{2-} que pode estar dissolvido na solução do solo ou adsorvido aos colóides do solo, dependendo do teor de umidade (MENDEL e KIRKBY, 1978). As formas mais importantes de S são sulfeto (S^{2-}), tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), sulfito (SO_3^{2-}), sulfato (SO_4^{2-}) e os politionatos, incluindo possivelmente ditionato ($\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$) em termos de reações microbianas oxidativas e redutoras. O sulfato é de longe a forma mais comum de S inorgânico e pode estar presente como SO_4^{2-} facilmente solúvel, SO_4^{2-} adsorvido, SO_4^{2-} insolúvel, ou SO_4^{2-} insolúvel co-precipitado com CaCO_3 (WAINWRIGHT, 1984).

Uma série de processos controlam as transformações de S no solo, tanto bióticos quanto abióticos. A importância relativa de cada processo muda com a profundidade do solo e em função da temperatura do solo, pH, umidade, mineral e oxihidróxido de Fe e Al, teor de argila, conteúdo de C e N, bem como o tipo e estrutura do solo (NORMAN et al., 2002).

Processos como a mineralização do S (conversão de S orgânico para SO_4^{2-}), imobilização (conversão de SO_4^{2-} para S orgânico), redução dissimilatória de SO_4^{2-} , oxidação de H_2S e assimilação de SO_4^{2-} pelas plantas são transformações bióticas. Os processos abióticos incluem adsorção/dessorção de SO_4^{2-} em função do pH, teor de argila, conteúdo de óxido de Fe e Al, e precipitação/dissolução de sulfetos e sulfatos (NORMAN et al., 2002).

Alguns elementos servem como receptores de elétrons na respiração biológica. O O_2 é o principal receptor de elétrons em solos aerados. No cultivo de arroz irrigado, a inundação do solo promove condições de anaerobiose excluindo o O_2 . Assim, outros elementos cumprem essa função, regulada pela afinidade de receber elétrons promovendo sua redução. Em solos alagados, preferencialmente NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , CO_2 e H^+ são utilizados na respiração por organismos anaeróbios facultativos e obrigatórios reduzindo-os, respectivamente, a N_2 , Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , CH_4 e H_2 (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

No caso do arroz irrigado, cultivado em condições de anaerobiose, o SO_4^{2-} é reduzido a S_2 , sendo esta forma predominante em solos sob condições de alagamento ou em sítios anaeróbios de solos bem drenados. A maior parte de S_2 encontra-se na forma de H_2S , um gás altamente volátil com odor extremamente desagradável e com efeito fitotóxico (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). O H_2S reage na presença de Fe,

sendo o S^{2-} precipitado como FeS_2 . De forma inversa, em ambientes oxidantes, o S^{2-} é convertido novamente em SO_4^{2-} . Dessa forma, em solos alagados, o S inorgânico encontra-se em formas mais reduzidas de H_2S , FeS e FeS_2 (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006) e acaba não sendo absorvido pelas plantas pelo fato dessas absorverem S principalmente na forma de SO_4^{2-} (TAIZ et al., 2017).

Como a cultura do arroz, através do aerênquima, transporta O_2 do ar para a camada da rizosfera (GROOT et al., 2005), ele tem a capacidade em oxidar a região da rizosfera (LUXEMOORE et al., 1970) produzindo duas frentes, de redução e oxidação no solo, ou seja, uma zona de oxidação na rizosfera bem próximo da raiz que permite, mesmo em condições de inundação, o desenvolvimento e o metabolismo de microrganismos aeróbios, e uma zona de redução em volta, resultando desse processo, a ocorrência de S em todos os estados de oxidação, desde 6^+ a 2^- (WAINWRIGHT, 1984).

No solo, o S é perdido principalmente por lixiviação, dependendo do grau em que o SO_4^{2-} é perdido por precipitação, capacidade de retenção de SO_4^{2-} do solo, características de drenagem, presença e tipo de vegetação e imobilização na biomassa microbiana. Outras perdas incluem erosão, exportação pelas colheitas, produção de H_2S e compostos orgânicos de S voláteis (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

No sistema irrigado pode ocorrer perdas também devido à constante drenagem de água, assim como durante o nivelamento, cujo processo necessita de cortes do terreno e acaba removendo o S de algumas áreas, pois ele está associado à matéria orgânica do solo e encontra-se nas camadas mais superficiais. A supressão do nutriente do solo durante os processos mencionados reduz sua disponibilidade para as plantas. Solos com baixos teores de matéria orgânica e de argila, e com cultivo intensivo de arroz irrigado, são potencialmente suscetíveis à deficiência de S.

Em avaliações do estado nutricional da folha bandeira na cultura do arroz irrigado em 356 lavouras provenientes de seis regiões arrozeiras do Estado do RS, Guindani, Anghinoni e Nachtigall (2009) obtiveram teores de S variando de 1,0 a 3,6 g kg⁻¹, com média de 1,9 g kg⁻¹. Já, a avaliação nutricional de 100 lavouras oriundas de sete regiões arrozeiras do Estado de SC (SCHMIDT, 2018), observou-se que apenas duas regiões apresentaram concentrações máximas de S dentro da faixa encontrada no estudo do RS; porém, com teores médios mais baixos (0,90 e 0,97 g kg⁻¹); nas outras cinco regiões, as concentrações de S variaram de 0,34 g kg⁻¹

(mínima) a $0,97 \text{ g kg}^{-1}$ (máxima), com média de $0,69 \text{ g kg}^{-1}$. Segundo Sosbai (2018), todas as avaliações nutricionais da folha bandeira realizadas por Schmidt (2018) no estado de SC revelaram nível de deficiência de S ($<1,4 \text{ g kg}^{-1}$).

Resposta positiva em produtividade da cultura do arroz irrigado é esperada, principalmente, quando o teor de S no solo (extraído com solução de fosfato de cálcio, 500 mg L^{-1}) é menor que 10 mg dm^{-3} (teor crítico) (SOSBAI, 2018). Uma fonte que poderia suprir a necessidade de S com potencial de utilização na produção de arroz irrigado é o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

4.6. Gesso agrícola

A composição química média do gesso agrícola é: S (17,7%), CaO (30,9%), F (0,2%) e P_2O_5 (0,7%) (DIAS, 1992). Somente no Brasil são produzidas cerca de 4,5 milhões de toneladas do produto por ano (VITTI, 2000). Do ponto de vista químico, o gesso agrícola ou fosfogesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é oriundo do processo de produção do ácido fosfórico, obtido da reação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada moída (RAIJ, 1988; VITTI et al., 2008). Apresenta cerca de 95% de sulfato de cálcio di-hidratado e baixo teor de impurezas (RAIJ, 1988). Algumas impurezas são importantes, como o fósforo (P) que pode ser aproveitado na nutrição vegetal quando aplicado em doses elevadas (RAIJ, 1988; CAIRES, et al., 2003; 2011; RAMPIM et al., 2013), e o flúor (F) que pode auxiliar na precipitação do Al no solo (RAIJ, 1988).

Além do fornecimento de S, o gesso pode atuar na melhoria das condições químicas no subsolo, por meio do aumento de Ca^{2+} (CAIRES et al., 1999, 2001a, 2001b, 2002, 2002b, 2003, 2011a, 2011b; COSTA e CRUSCIOL, 2016; PAULETTI et al., 2014; RAMPIM, 2011, 2013), da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} (RITCHEY et al., 1980; CAIRES et al., 1999; RAMPIM, 2011, 2013). O gesso também pode aumentar a relação Ca/Mg no solo. Diversos estudos têm demonstrado aumento na produtividade das culturas com a aplicação de gesso (OATES e CALDWELL, 1985; RAIJ, 1988; SHAINBERG et al., 1989; CARVALHO e RAIJ., 1997; CAIRES et al., 2011).

O uso de gesso agrícola na cultura do arroz tem sido estudado em solos drenados. Soratto et al. (2010) obtiveram aumento na produtividade de grãos de arroz com a aplicação de gesso agrícola. Oliveira et al. (2009) também observaram efeito positivo da combinação de calcário e gesso na produtividade e nos teores de Ca, Mg e S nas sementes de arroz cultivado em um Latossolo sob plantio direto sem irrigação.

Os estudos sobre aplicação de gesso na produção de arroz em áreas inundadas são escassos na literatura, provavelmente porque não existe deficiência hídrica durante o período de desenvolvimento das plantas. Porém, visto que o uso de gesso agrícola tem ocasionado aumento na produtividade de várias culturas, principalmente das poáceas, mesmo sem a ocorrência de estresse hídrico (PAULETTI et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015; CAIRES et al., 1999; 2004; 2011b; 2011c; 2016; DALLA NORA e AMADO, 2013; MICHALOVICZ et al., 2014; SOMAVILLA et al., 2016; VICENSI et al., 2016), a sua utilização também pode ocasionar benefícios à produtividade da cultura do arroz em áreas inundadas.

O gesso agrícola é mais efetivo que o calcário na elevação dos teores de Ca e na redução da saturação por Al em subsuperfície, o que favorece o volume de solo explorado pelas raízes e aumenta a eficiência da utilização dos nutrientes aplicados ou originários do solo. O gesso pode ser utilizado em solos com problemas de acidez em subsuperfície como insumo complementar ao calcário, devido à ação limitada da calagem às camadas superficiais, principalmente nos primeiros anos de cultivo (SUMNER et al., 1986; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004). Porém, como o gesso agrícola não substitui o calcário, o uso de gesso deve ser feito de forma complementar à calagem.

O gesso agrícola aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação de água (QUAGGIO et al., 1993; CAIRES et al., 2004). Como consequência, obtém-se aumento no suprimento de Ca e redução da toxicidade de Al no subsolo (ADAMS e LUND, 1966; TOMA et al., 1999; BLUM, CAIRES, ALLEONI, 2013; CAIRES et al., 1999, 2001, 2002, 2004, 2011, 2016; SORATTO e CRUSCIOL, 2008), o que favorece o crescimento radicular e aumenta a eficiência de uso do N (CAIRES et al., 2016). Esses efeitos do gesso foram comprovados em solos com boa drenagem. Muitas dúvidas ainda existem quanto ao uso de gesso agrícola na cultura de arroz irrigado, por essas áreas ficarem alagadas grande parte do ciclo e pela total carência de estudos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados em solos com variadas condições de acidez e de saturação por Al utilizados para a produção de arroz sob inundação em sistema de cultivo mínimo.

5.1. Experimento 1. Aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola na produção de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em solo com baixa saturação por alumínio

5.1.1. Caracterização da área experimental de Arroz Irrigado do IFC – Campus Santa Rosa do Sul

O experimento 1, caracterizado por 'solo com baixa saturação por Al', foi conduzido na área experimental de arroz irrigado do Instituto Federal Catarinense - Campus Santa Rosa do Sul, situado às margens da rodovia SC 445, localidade de Vila Nova, município de Santa Rosa do Sul (SC), no período referente às safras de 2013/14, 2014/15 e 2015/16. As coordenadas geográficas são: latitude 29°06'56" e longitude 49°48'65", estando 9 m acima do nível do mar.

O solo foi caracterizado como um Gleissolo Melânico Tb Distrófico (EMBRAPA, 2006). A área tem como histórico o cultivo de arroz em sistema pré-germinado num período de dez anos e nos últimos três anos em sistema cultivo mínimo com semeadura em solo seco. Antes da instalação do experimento, no dia 01/06/2013, foi coletada uma amostra composta do perfil do solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para caracterização química (TEDESCO et al., 1995) e granulométrica (EMBRAPA, 1997) do solo (Tabela 1). O solo tinha 55% de saturação por bases e 12% de saturação por Al na camada de 0-20 cm. Apesar da baixa saturação por Al, o solo apresentava pH < 5,5, saturação por bases < 65% e saturação por Al > 10%, atendendo os critérios de recomendação de calagem (SOSBAI, 2018; SBSCS-CQFS, 2016). Como não existem critérios de recomendação de gesso para a produção de arroz em solos alagados, partiu-se da premissa de que o solo desse estudo apresentava necessidade de gesso porque os níveis de Al³⁺ trocável eram tóxicos nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm).

Tabela 1: Resultados de análises químicas do perfil do solo antes da instalação do experimento. Santa Rosa do Sul (SC).

Profundidade	pH ¹	Al	Ca	Mg	K	P ²	S-SO ₄ ²⁺	V%	m	M.O.	Argila	Areia	Silte
cm		----- mmol _c dm ⁻³ -----				--- mg dm ⁻³ --		---- % ----		----- g kg ⁻¹ -----			
0 – 20	4,6	6	28	15	1,6	2,0	15,5	55	12	21,7	222	472	306
20 – 40	4,5	12	15	15	0,4	1,5	7,0	51	28	8,3	177	617	206
40 – 60	4,0	15	12	11	0,4	1,7	5,0	46	40	6,3	206	563	231

¹pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, ²Extrator de Melich-1.

O clima da região, segundo a caracterização de Köppen–Geiger (PEEL et al., 2007), é do tipo Cfa, subtropical úmido. A temperatura média é de 19,2°C, com precipitação média anual de 1600 mm e umidade relativa média em torno de 80% (INMET, 2018). Na figura 1 são apresentados os dados de insolação, de precipitação pluvial, e de temperaturas médias máxima e mínima mensal durante o período de execução do experimento.

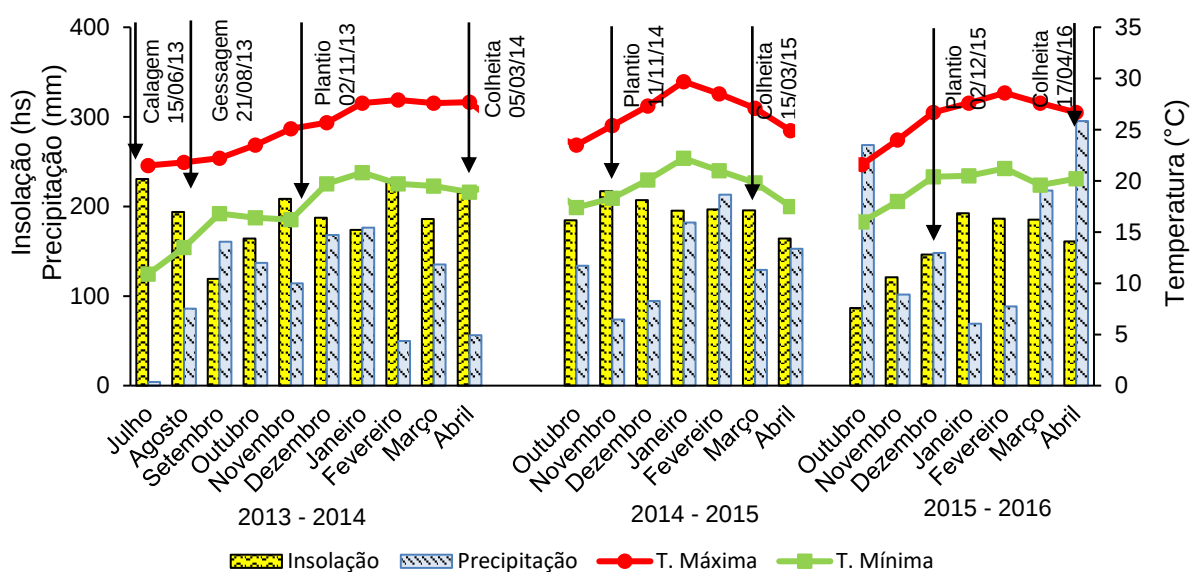


Figura 1: Precipitação pluvial mensal, insolação mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal ocorridas durante o período de desenvolvimento da cultura do arroz no campo. Fonte: Dados disponibilizados pelo INMET (2018) da estação de Torres – RS, a mais próxima do experimento em Santa Rosa do Sul (SC).

5.1.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas (24 × 10 m) foram empregadas quatro doses de calcário dolomítico (PRNT 85%) correspondentes a zero (0), 0,5, 1 e 1,5 vezes a dose recomendada para a cultura do arroz irrigado pelo método do tampão SMP para pH em água 5,5, considerando a camada de 0-20 cm de profundidade (SOSBAI, 2018; SBSCS-CQFS, 2016). As doses de calcário utilizadas

foram 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ com PRNT corrigido para 100%. O calcário foi distribuído manualmente sobre a superfície do solo e, logo em seguida, foi incorporado com enxada rotativa à aproximadamente 20 cm de profundidade. Nas subparcelas (6 × 10 m), foram utilizadas quatro doses de gesso agrícola: 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹. Como não existem critérios para a recomendação de gesso agrícola na cultura do arroz irrigado, as doses de gesso foram baseadas nos teores de Al³⁺ trocável nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm). Como o solo tinha 12 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺ na camada de 20-40 cm, a necessidade de gesso (NG, em t ha⁻¹), calculada com base no teor de Al³⁺ trocável (Al, em mmol_c dm⁻³) dessa camada (NG = 0,25 × Al) seria de 3 t ha⁻¹. As doses de gesso foram, então, definidas dentro de um intervalo equidistante entre 0 e 6 t ha⁻¹, considerando que o teor de Al³⁺ na camada de 40-60 cm também era alto (15 mmol_c dm⁻³). O gesso agrícola foi aplicado de forma manual e sem incorporação, no dia 21/08/2013 (67 dias após a aplicação de calcário).

Aproximadamente 30 dias antes da semeadura do arroz da primeira safra (2013/2014) foi realizada a dessecação da área com produto a base de glifosato (480 g L⁻¹), na dose de 3 L ha⁻¹, e outra aplicação no ponto de agulha do arroz para eliminar plantas invasoras germinadas. Após a colheita do arroz foi feita a incorporação dos restos culturais com grade niveladora e a área foi deixada em pousio até o início da safra seguinte. Na segunda safra (2014/15) também foi feita a dessecação de plantas daninhas com glifosato e realizada a semeadura direta, como na safra anterior. Na terceira safra (2015/16), devido à alta precipitação pluvial e baixa insolação ocorrida nos meses de outubro a novembro (Figura 1), não possível realizar a semeadura em cultivo mínimo e se optou por realizar a semeadura com sementes pré-germinadas no sistema pré-germinado. Nesse caso, formou-se lama com o auxílio de uma grade niveladora, o mais superficial possível (menos de 10 cm), para que não ocorresse movimentação de terra, e realizou-se a semeadura.

5.1.3. Semeadura do arroz

O cultivar de arroz utilizado nas três safras foi o híbrido de arroz Inov CL[®], semeado na densidade de 45 kg ha⁻¹ de sementes. A semeadura foi realizada em cultivo mínimo, em linhas espaçadas de 0,17 m, com auxílio de uma semeadora de plantio direto na primeira e na segunda safra. Na terceira safra, a semente foi pré-germinada e distribuída a lanço na densidade de 50 kg ha⁻¹. A semeadura ocorreu nos dias 02/11/2013, 11/11/2014 e 02/12/2015, no primeiro, segundo e terceiro ano,

respectivamente. Nos três cultivos, as adubações de base foram de 20 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O. As adubações de cobertura foram de 90 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia no estágio de desenvolvimento V₃-V₄ mais 20 kg ha⁻¹ de N dias antes do florescimento, no estágio de desenvolvimento V₈. No sistema de plantio em cultivo mínimo (1^a e 2^a safras) a adubação de base foi realizada junto com a semeadura e incorporada na linha, ao lado e abaixo das sementes. No sistema pré-germinado (3^a Safra), a adubação foi realizada a lanço, logo após a semeadura. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com as necessidades da cultura, conforme as recomendações para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2018).

5.1.4. Controle do nível de água

O controle do nível de água foi realizado periodicamente, sendo que a entrada de água no sistema foi feita por um canal ao lado da quadra de arroz. A água entrava ou saía da quadra por gravidade. Quando o objetivo era realizar a entrada de água na quadra de arroz, elevava-se o nível de água no canal formando uma represa no final do canal de água. Assim que a lâmina de água dentro da quadra atingia a altura desejada, fechava-se a conexão com o canal, bloqueando a entrada de água. Em períodos de alta precipitação pluvial, o manejo acontecia de forma inversa, ou seja, diminuía-se o nível de água no canal e abria-se a conexão da quadra de arroz com o canal para que a água conseguisse sair para o canal e não ocorresse excesso de lâmina de água dentro do experimento.

Como na primeira (2013/14) e na segunda (2014/15) safra a semeadura do arroz foi feita em sistema de cultivo mínimo, nessas duas safras a entrada de água ocorreu aproximadamente 30 dias após a semeadura do arroz, logo após a aplicação de N em cobertura, no estágio de desenvolvimento V₃-V₄. A lâmina de água foi mantida constante (~10 cm) até uma semana antes da colheita, quando foi feita a drenagem para possibilitar a colheita. Na safra de 2015/16, como a semeadura foi feita pelo sistema pré-germinado, a entrada de água ocorreu desde o dia da semeadura, com uma lâmina de água baixa (~5 cm) para realizar a semeadura a lanço de forma manual. Em seguida, o sistema foi drenado para possibilitar o crescimento inicial das plântulas e, 3 dias depois, colocou-se água no sistema e aumentou-se a lâmina de água conforme as plantas foram se desenvolvendo, até alcançar uma lâmina de água de aproximadamente 10 cm. Essa lâmina de água foi, então, mantida

constante até uma semana antes da colheita, quando foi feita a drenagem para possibilitar a colheita.

5.1.5. Amostragem de solo

Amostras de solo foram coletadas logo após a colheita de cada safra por meio de trado holandês. As amostragens foram realizadas aos 11, 21 e 35 meses após a aplicação de calcário, correspondendo a 9, 19 e 33 meses após a aplicação de gesso. Foram coletadas seis subamostras em cada subparcela para constituir uma amostra composta, nas seguintes profundidades: 0-20; 20-40 e 40-60 cm. Em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C, destorroadas, moídas mediante o uso de almofariz e passadas em peneira com malha de 2 mm para posterior análise química.

5.1.6. Análise química do solo

As análises de solo foram realizadas seguindo as seguintes metodologias:

Determinação do pH: o pH foi determinado em solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ (relação 1: 2,5) (TEDESCO et al., 1995).

Determinação de Al, Ca e Mg: A extração de Al, Ca e Mg trocáveis foi realizada com solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram determinados por titulação (TEDESCO et al., 1995).

Determinação de sulfato: A extração de S-SO₄²⁻ foi realizada com solução de fosfato monocalcico 0,01 mol L⁻¹ e a sua determinação foi feita pelo método turbidimétrico (CANTARELLA e PROCHNOW, 2001).

5.1.7. Diagnose foliar

Para realização da diagnose foliar foram coletadas ao acaso 30 de folhas bandeira por subparcela no estágio de florescimento (R₄) da cultura do arroz em cada cultivo. As amostras de folhas, após serem coletadas, foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até obter massa constante. Após a secagem, as amostras de folhas foram moídas e, em seguida, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, de acordo com métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

5.1.8. Produtividade de grãos

A produtividade foi avaliada por meio de colheita manual dos grãos de arroz quando a cultura atingiu o estágio de maturação fisiológica, utilizando-se uma área útil de 6 m² por subparcela. Após a colheita, os grãos foram trilhados em trilhadeira estacionária e, após, foram pesados e determinada a umidade. A produção de grãos foi corrigida para 130 g kg⁻¹ de água. A produção obtida por subparcela foi extrapolada kg ha⁻¹. A produtividade acumulada foi obtida por meio da soma das produtividades dos três cultivos (2013/14, 2014-15 e 2015-16).

5.1.9. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância seguindo o modelo em parcelas subdivididas. Equações de regressão foram ajustadas aos dados obtidos em função das doses de calcário e de gesso. Os ajustes foram realizados por meio dos modelos de regressão linear, quadrático ou Linear Response Plateau descritos em Braga (1983). Na ausência de interação significativa entre as doses de calcário e de gesso, as equações foram ajustadas utilizando-se as médias das observações. Adotou-se como critério para a escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação das regressões significativas a 5%. As análises estatísticas foram realizadas por meio da utilização dos programas SISVAR, para regressão polinomial, e SAEG, para Linear Response Plateau.

5.2. Experimento 2: Aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola na produção de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em solo com alta saturação por alumínio.

5.2.1. Localização, caracterização e condução do experimento na cidade de Praia Grande (SC)

O experimento 2, caracterizado por 'solo com alta saturação por Al', foi conduzido na cidade de Praia Grande, SC, na safra de 2017/18. As coordenadas geográficas são: latitude 29°06'32" e longitude 49°51'14", estando 45 m acima do nível do mar.

O solo foi classificado como Cambissolo flúvico Tb distrófico gleissólico (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade para caracterização química (TEDESCO et al., 1995) e granulométrica (EMBRAPA, 1997). O solo tinha

14% de saturação por bases e 53% de saturação por Al na camada de 0-20 cm (Tabela 2). O solo apresentava pH < 5,5, saturação por bases < 65% e saturação por Al > 10%, atendendo os critérios de recomendação de calagem (SOSBAI, 2018; SBCS-CQFS, 2016). Considerando que não existem critérios de recomendação de gesso para a produção de arroz em solos alagados, partiu-se da premissa de que o solo desse estudo, de forma semelhante àquele do experimento 1, apresentava necessidade de gesso porque os níveis de Al^{3+} trocável eram tóxicos nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm).

Tabela 2: Resultados de análises químicas do perfil do solo antes da instalação do experimento. Praia Grande (SC).

Profundidade	pH ¹	Al	Ca	Mg	K	P ²	S-SO ₄ ²⁺	V%	m	M.O.	Argila	Areia	Silte
cm		----- mmol _c dm ⁻³ -----				--- mg dm ⁻³ --		----- % ----			----- g kg ⁻¹ -----		
0 – 20	4,1	13	8	3	0,7	4,3	13,0	14	53	3,4	136	548	316
20 – 40	4,1	14	7	3	0,7	1,5	8,1	13	57	1,7	141	513	346
40 – 60	4,0	16	6	3	0,6	3,0	24,3	11	62	2,9	207	446	347

¹pH em CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹. ²Extartor Melich-1.

O clima da região, segundo a caracterização de Köppen–Geiger (PEEL et al., 2007), é do tipo Cfa, subtropical úmido. A temperatura média é de 19,2°C, com precipitação média anual de 1600 mm e umidade relativa média em torno de 80% (INMET, 2018). Na figura 2 estão apresentados os dados de insolação mensal, de precipitação pluvial mensal, e de temperaturas médias máxima e mínima mensal durante a execução do experimento.

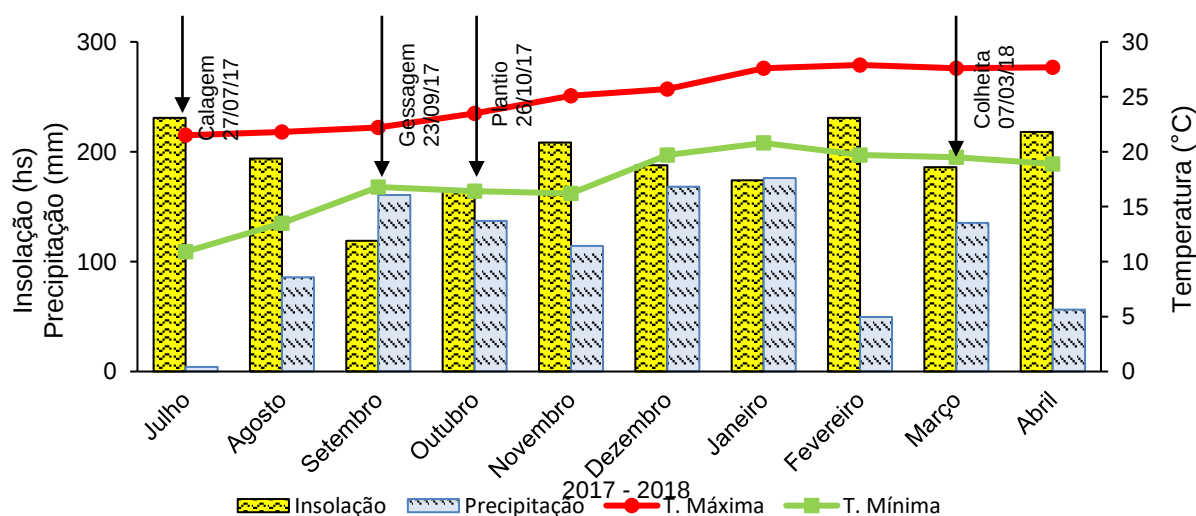


Figura 2: Precipitação pluvial mensal, insolação mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal ocorrida durante o período de desenvolvimento da cultura do arroz no campo. Fonte: Dados disponibilizados pelo INMET (2018) da estação de Torres – RS, a mais próxima do experimento localizado em Praia Grande (SC).

5.2.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas (24 × 10 m) foram empregadas quatro doses de calcário dolomítico (PRNT 75%) correspondentes a zero (0), 0,5, 1 e 1,5 vezes a dose recomendada para a cultura do arroz irrigado pelo método do tampão SMP para pH em água para 5,5, considerando a camada de 0-20 cm (SOSBAI, 2018; SBCS-CQFS, 2016). As doses de calcário aplicadas foram 0, 2,4, 4,8 e 7,2 t ha⁻¹ com PRNT corrigido para 100%. O calcário foi distribuído manualmente sobre a superfície do solo no dia 27/07/2017 e, logo em seguida, foi incorporado com enxada rotativa à aproximadamente 20 cm de profundidade. Nas subparcelas (6 × 10 m), foram utilizadas quatro doses de gesso agrícola: 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹. Como não existem critérios para a recomendação de gesso agrícola na cultura do arroz irrigado, as doses de gesso, a exemplo do que foi feito no experimento 1, foram baseadas nos teores de Al³⁺ trocável nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm). Como o solo tinha 14 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺ na camada de 20-40 cm, a necessidade de gesso (NG, em t ha⁻¹), calculada com base no teor de Al³⁺ trocável (Al, em mmol_c dm⁻³) dessa camada (NG = 0,25 × Al) seria de 3,5 t ha⁻¹. As doses de gesso foram, então, definidas dentro de um intervalo equidistante entre 0 e 6 t ha⁻¹, considerando que o teor de Al³⁺ na camada de 40-60 cm também era alto (16 mmol_c dm⁻³). O gesso agrícola foi aplicado de forma manual e sem incorporação, no dia 23/09/2017 (58 dias após a aplicação de calcário). A figura 3 ilustra as aplicações de calcário e gesso na área experimental.



Figura 3: Distribuição do calcário dolomítico nas parcelas principais (A) e distribuição de gesso agrícola nas subparcelas (B). Safra 2017/18. Praia Grande (SC).

Após a aplicação dos tratamentos de calcário dolomítico e sua incorporação, não houve mais revolvimento do solo e foi realizada a dessecação da área com produto a base de glifosato (480 g L^{-1}), na dose de 3 L ha^{-1} duas semanas antes da semeadura e na fase de “ponto de agulha” do arroz para eliminar plantas invasoras germinadas.

5.2.3. Semeadura do arroz

O cultivar de arroz utilizado foi o híbrido de arroz Titan CL[®], o qual foi semeado em 26/10/2017 na densidade de 40 kg ha^{-1} de sementes. A semeadura foi realizada em sistema de cultivo mínimo, em linhas espaçadas de 0,17 m, com o auxílio de semeadora de plantio direto. A adubação de base foi de 27 kg ha^{-1} de N, 99 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O . A adubação de cobertura foi com 80 kg ha^{-1} de N na forma de ureia no estágio de desenvolvimento V₃-V₄, mais 45 kg ha^{-1} de N na forma de ureia no estágio de desenvolvimento V₇. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com as necessidades da cultura do arroz, em conformidade com as recomendações para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2018).

5.2.4. Manejo da água

A semeadura foi realizada em solo drenado e a entrada de água dentro da quadra de arroz ocorreu no estágio de desenvolvimento V₃-V₄, um dia após a aplicação de N em cobertura, ou seja, 20 dias após a semeadura. Uma lâmina de água constante de aproximadamente 10 cm foi mantida até uma semana antes da colheita dos grãos, quando o solo foi drenado.

5.2.5. Amostragem de solo

A primeira amostragem de solo foi realizada um dia antes da entrada da água no sistema, aos 109 dias após a aplicação de calcário. A segunda amostragem foi realizada logo após a colheita do arroz, 04 de abril de 2018 (251 dias após a aplicação de calcário). Na primeira amostragem, o solo foi coletado com o auxílio de trado calador, tendo-se retirado 10 subamostras por subparcela para constituir uma amostra composta na camada de 0-20 cm de profundidade. Na segunda amostragem, o solo foi coletado com o auxílio do trado holandês, tendo-se retirado seis subamostras por subparcela para constituir uma amostra composta nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Depois da coleta, as amostras de solo foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C, destorroadas, moídas mediante o uso de almofariz e passadas em peneira com malha de 2 mm para posterior análise química.

5.2.6. Análise química do Solo

As análises do solo foram realizadas seguindo as seguintes metodologias:

Determinação do pH: o pH foi determinado em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (relação 1:2,5) (TEDESCO et al., 1995).

Determinação de Al, Ca e Mg: A extração de Al, Ca e Mg trocáveis foi realizada com solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram determinados por titulação (TEDESCO et al., 1995).

Determinação de sulfato: A extração de S-SO₄²⁻ foi realizada utilizando solução de fosfato monocalcico 0,01 mol L⁻¹ e sua determinação foi realizada pelo método turbidimétrico (CANTARELLA e PROCHNOW, 2001).

5.2.7. Diagnose foliar e extração de nutrientes

Para fins de diagnose foliar foram coletadas ao acaso 30 folhas bandeira por subparcela no estágio de florescimento do arroz (R₄). A extração de nutrientes pelas plantas de arroz foi avaliada por meio da coleta da parte aérea das plantas em uma área de 0,25 m² em cada subparcela.

As amostras de folha bandeira e da parte aérea das plantas foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até alcançar massa constante. Após a secagem, as amostras de plantas inteiras foram pesadas para determinação da produção de matéria seca. Em seguida, as amostras de folhas bandeira e planta inteira foram moídas e, após, determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, de acordo com métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

A extração de nutrientes pelas plantas de arroz foi calculada por meio do produto entre a produção de matéria seca da parte aérea e o teor de nutrientes na planta inteira.

5.2.8. Componentes de rendimento

Foram avaliados os seguintes componentes de rendimento:

Número de perfilhos por m²: Foi realizada a contagem de perfilhos de plantas em três linhas de um metro de comprimento por subparcela, a qual foi convertida para número de perfilhos por metro quadrado.

Número de panículas por m²: Em um quadrado de 0,25 m² (0,50 × 0,50 m) foi realizada a coleta de todas as panículas com posterior contagem das panículas na área amostrada. Os dados foram convertidos para número de panículas por m².

Número de grãos por panícula: Realizou-se a contagem de todos os grãos dentro no quadrado (0,25 m²) e dividiu-se o total de grãos pelo número de panículas.

Número e percentagem de grãos cheios por panícula: Do total de grãos no quadrado (0,25 m²), realizou-se a contagem de grãos cheios e de grãos falhados (Figura 4). O total contado foi dividido pelo número de panículas. Os dados foram transformados para percentagem de grãos cheios.

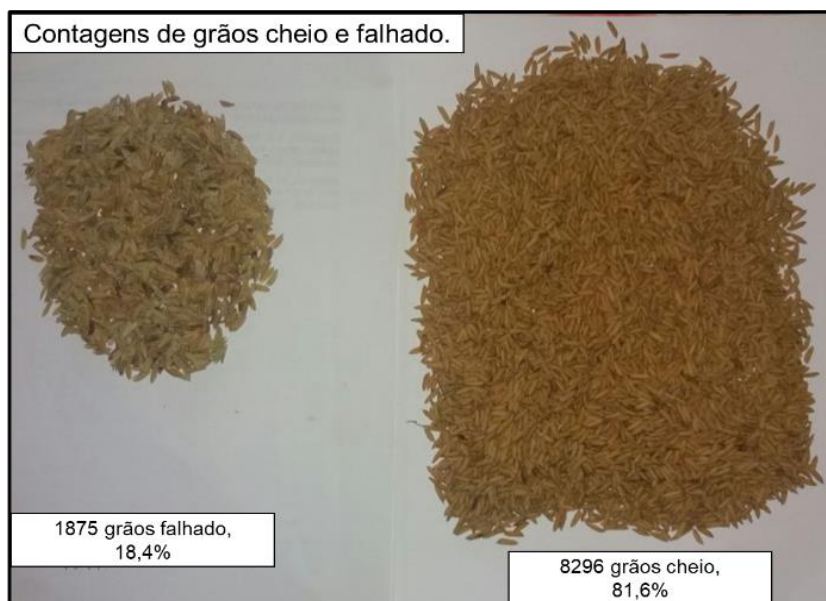


Figura 4: Contagem total de grãos cheios e falhados em uma amostra de grãos de arroz irrigado (0,25 m²) para a contagem de número de grãos por metro quadrado e o cálculo de percentagem de grãos cheios por panícula.

Massa de 1000 grãos: Para se obter a massa de 1000 grãos foi realizada a pesagem dos grãos cheios contados. Conhecendo o número de grãos cheios e a massa da amostra, os dados foram transformados para massa de 1000 grãos (Massa de 1000 grãos = Peso da amostra * 1000 / nº total de grãos).

5.2.9. Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi avaliada por meio de colheita manual em uma área útil de 6 m² por subparcela. Após a colheita, os grãos foram trilhados em trilhadeira estacionária e, após, foram pesados e determinada a umidade. A produção de grãos foi corrigida para 130 g kg⁻¹ de água. A produção obtida por subparcela foi extrapolada para kg ha⁻¹.

5.2.10. Análise química dos grãos e exportação de nutrientes

Uma amostra de grãos de cada subparcela foi retirada para análise química. Os grãos foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até alcançar massa constante. Após a secagem, as amostras de grãos foram moídas com casca e determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, de acordo com métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

A exportação de nutrientes pelos grãos de arroz foi calculada por meio do produto entre a massa de grãos produzida e o teor de nutrientes.

5.2.11. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância seguindo o modelo em parcelas subdivididas. Equações de regressão foram ajustadas aos dados obtidos em função das doses de calcário e de gesso. Os ajustes foram realizados por meio dos modelos de regressão linear, quadrático ou Linear Response Plateau descritos em Braga (1983). Na ausência de interação significativa entre as doses de calcário e de gesso, as equações foram ajustadas utilizando-se as médias das observações. Adotou-se como critério para a escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação das regressões significativas a 5%. As análises estatísticas foram realizadas por meio da utilização dos programas SISVAR, para regressão polinomial, e SAEG, para Linear Response Plateau.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos de solo e planta avaliados nos dois experimentos não foram influenciados significativamente pela interação calcário × gesso. Uma única interação significativa entre as doses de calcário e gesso ocorreu para o teor de Al^{3+} trocável, na camada de 0-20 cm, no solo com alta saturação por Al^{3+} (experimento 2).

6.1. Solo com baixa saturação por alumínio

6.1.1. Efeitos da calagem nos atributos químicos do solo

A calagem foi eficiente em melhorar as condições de acidez do solo em superfície (0-20 cm de profundidade) no decorrer do experimento, sendo que os atributos químicos do solo que apresentaram alterações significativas em função da aplicação de calcário dolomítico foram: pH em CaCl_2 (Figura 5), Al^{3+} trocável (Figura 5), Ca^{2+} trocável (Figura 6), Mg^{2+} trocável (Figura 6) e saturação por bases (Figura 7).

O pH do solo na camada de 0-20 cm de profundidade aumentou de forma linear com o aumento das doses de calcário dolomítico aplicadas, nos três anos avaliados (Figura 5). Em subsuperfície (20-60 cm de profundidade), os valores de pH não foram influenciados pela calagem (Figura 5).

Na camada de solo de 0-20 cm de profundidade, os teores trocáveis de Al^{3+} foram influenciados de forma linear negativa com a aplicação de doses crescentes de calcário, aos 11, 21 e 35 meses após a calagem (Figura 5). Na camada de 20-40 cm, a calagem não influenciou nos teores trocáveis de Al^{3+} aos 11 e 21 meses após a aplicação de calcário, mas houve redução linear no teor de Al^{3+} com as doses de calcário aos 35 meses após a aplicação (Figura 5). Na camada de 40-60 cm, a calagem não influenciou os teores trocáveis de Al^{3+} ao longo dos 35 meses de avaliação (Figura 5).

Houve aumento nos teores trocáveis de Ca^{2+} da camada de solo de 0-20 cm com as doses crescentes de calcário (Figura 6). Nessa camada de solo, o aumento nos teores trocáveis de Ca^{2+} com as doses de calcário foi linear aos 11, 21 e 35 meses após a aplicação. Na camada de solo de 20-40 cm, as doses crescentes de calcário não alteraram os teores de Ca^{2+} aos 11 e 21 meses após a aplicação. Os teores de Ca^{2+} na camada de 20-40 cm foram aumentados, de forma linear, com as doses de

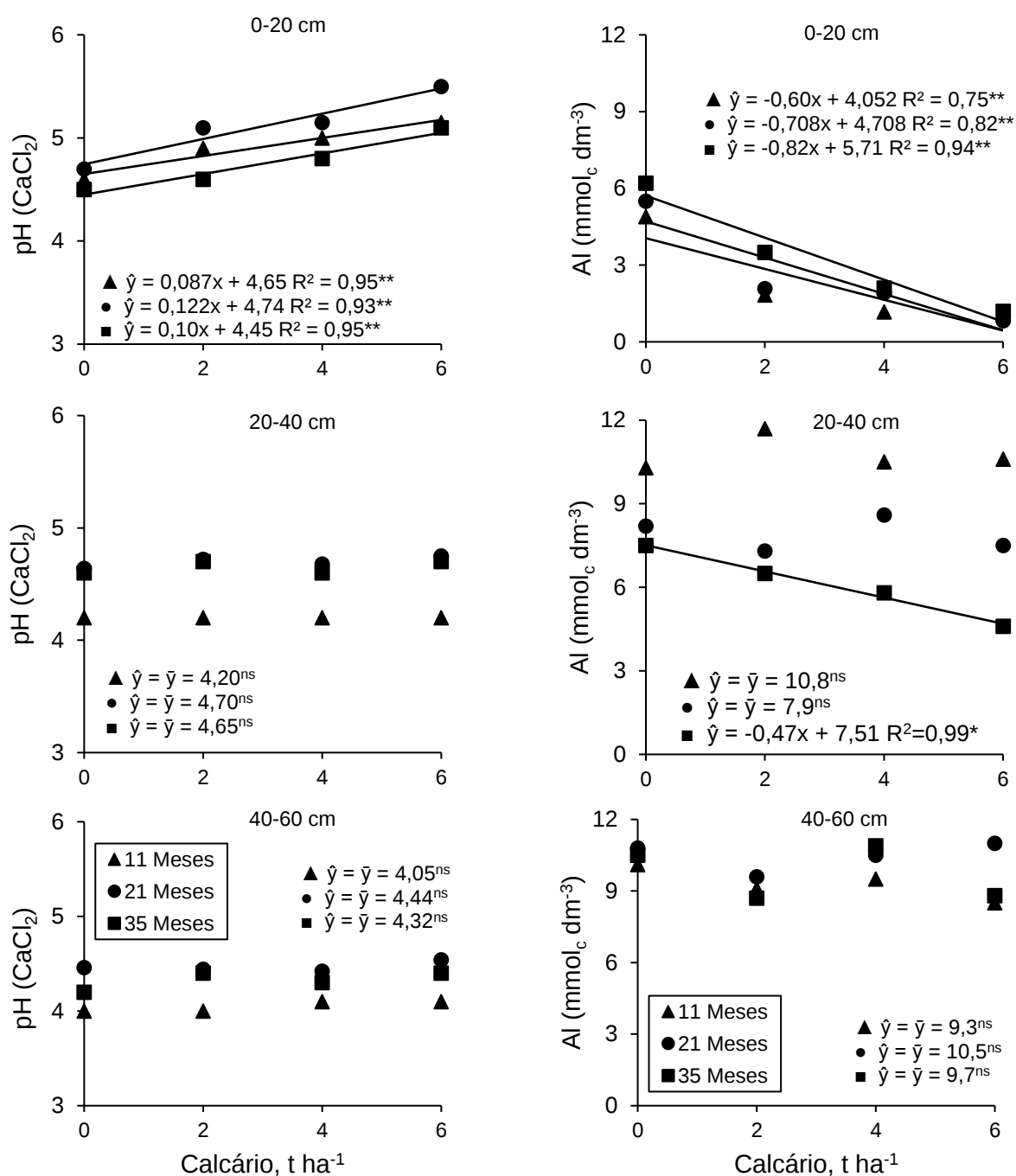


Figura 5: Alterações no pH em CaCl₂ e nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

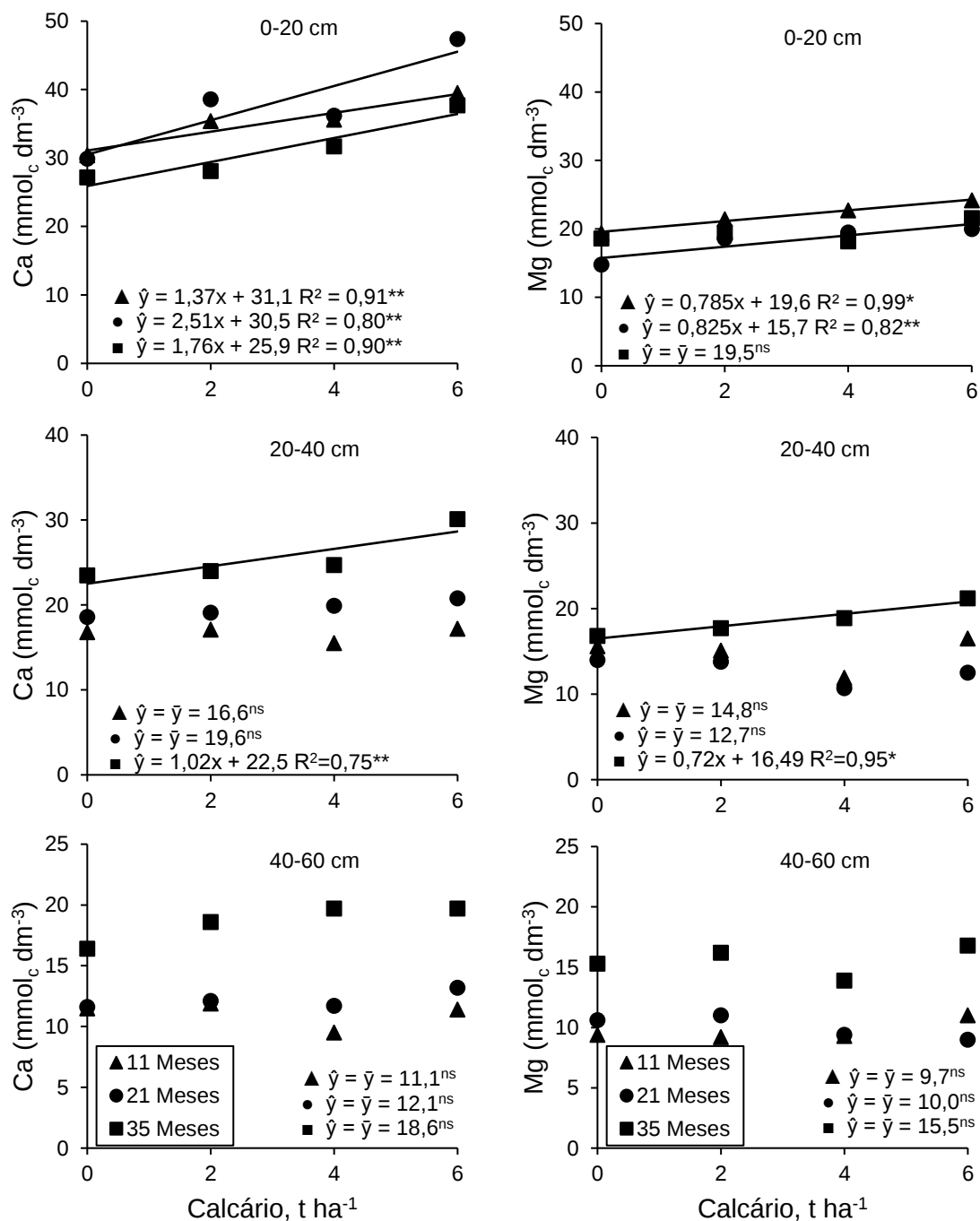


Figura 6: Alterações nos teores trocáveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

calcário, somente aos 35 meses após a aplicação. Nessa época de amostragem, constatou-se um aumento de $1,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} , na camada de 20-40 cm, para cada t ha^{-1} de calcário aplicado. A aplicação de até 6 t ha^{-1} de calcário não proporcionou alterações nos teores de Ca^{2+} na camada de 40-60 cm, mesmo aos 35 meses após a calagem.

As doses de calcário aumentaram os teores trocáveis de Mg^{2+} na camada superficial do solo (0-20 cm), de forma linear, aos 11 e 21 meses após a aplicação (Figura 6). Aos 35 meses após a aplicação, as doses de calcário não alteraram os teores de Mg^{2+} na camada de 0-20 cm. Na camada de 20-40 cm, os teores de Mg^{2+} não foram alterados com a calagem aos 11 e 21 meses após a aplicação, mas foram aumentados com as doses de calcário, de forma linear, aos 35 meses após a aplicação. Na camada do solo de 40-60 cm, a calagem não influenciou os teores de Mg^{2+} aos 11, 21 e 35 meses após a aplicação.

Os teores de S-SO_4^{2-} no perfil do solo estudado (0-60 cm) não foram alterados com as doses de calcário aplicadas ao longo dos 35 meses de avaliação (Figura 7). As doses de calcário proporcionaram incremento linear na saturação por bases (V%) na camada de solo de 0-20 cm aos 11, 21, e 35 meses da aplicação (Figura 7). Na camada do solo de 20-40 cm, as doses de calcário aumentaram linearmente a saturação por bases (v%) somente aos 21 meses após a aplicação. Na camada de 40-60 cm, a calagem não alterou a saturação por bases (V%), nas três épocas de amostragem de solo (Figura 7).

A aplicação de calcário dolomítico em solo inundado com baixa saturação por Al (12%) cultivado com arroz proporcionou melhorias nas condições de acidez do solo semelhantes às relatadas na literatura com a calagem em solos drenados em sistema plantio direto. Caires et al. (2015) observaram aumentos no pH no solo em superfície (0-5, 5-10 e 10-20 cm) já aos dois anos após a calagem, persistindo o efeito residual até 6 anos após a avaliação. O incremento no valor de pH em função da calagem está relacionado com os produtos neutralizantes da dissolução do calcário, ou seja, a correção da acidez pelo calcário agrícola inicia-se com a solubilização dos carbonatos $[\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3]$. Após a solubilização ocorre a formação de bicarbonatos (HCO_3^-) e a liberação de hidroxilas (OH^-) no solo (RHEINHEIMER et al., 2000), as quais inicialmente neutralizam o H^+ em solução e, posteriormente, podem atuar precipitando o Al^{3+} . Como produto final dessa reação tem-se a formação de CO_2 e H_2O .

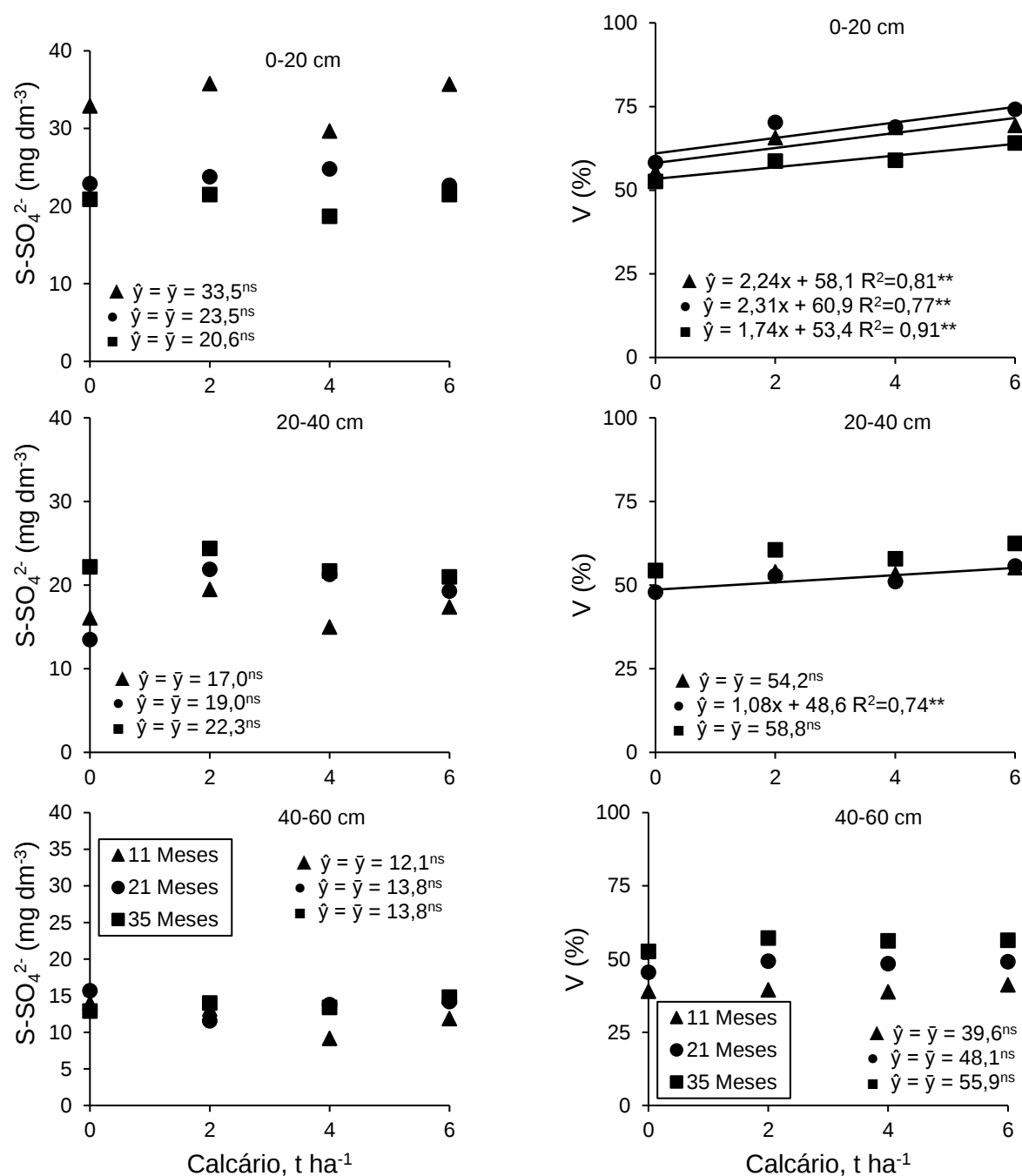


Figura 7: Alterações nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de calcário após 11 meses (▲), 21 meses (●) e 35 meses (■) da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

O efeito da calagem no perfil do solo depende de vários fatores como a dose aplicada, o tempo de reação, a forma e frequência de aplicação, o tipo de solo, as condições de clima, o manejo de fertilizantes acidificantes e o sistema de cultivo (CAIRES et al., 2008; OLIVEIRA e PAVAN, 1996). Após 35 meses da aplicação do calcário houve tempo suficiente para que o efeito da calagem atingisse a camada de 20-40 cm de profundidade, influenciando nas concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} . De acordo com Caires et al. (2000), a aplicação de calcário cria uma frente de correção da superfície em direção ao subsolo, por meio da formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas do solo. Por se tratar de solo em que o perfil fica saturado a maior parte do ano, a inundação ocasiona o fenômeno da “auto calagem” e o pH do solo se eleva e se estabiliza em valores próximos de 6 a 7 (MORAES e DYNIA, 1992). Valores mais elevados de pH favorecem a formação de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. No presente estudo, é possível que o efeito da calagem tenha alcançado a camada de 20-40 cm, após 35 meses da aplicação do calcário, influenciando as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} , por causa da formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ pela percolação de água para as camadas mais profundas do solo.

6.1.2. Efeitos da aplicação de gesso nos atributos químicos do solo

As doses de gesso agrícola não ocasionaram alterações no pH do solo nas três épocas de amostragem, nas camadas de 0-20 e 40-60 cm (Figura 8). Um pequeno incremento no pH do solo com as doses de gesso aplicadas foi observado na camada de 20-40 cm, somente aos 19 meses após a aplicação.

Os teores trocáveis de Al^{3+} na camada superficial do solo (0-20 cm) não foram alterados com as doses crescentes de gesso agrícola aos 9, 19 e 33 meses após a aplicação (Figura 8). Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, os teores de Al^{3+} também não foram influenciados pelas doses de gesso aos 9 e 19 meses após a aplicação. Porém, após 33 meses da aplicação, as doses de gesso reduziram linearmente os teores de Al^{3+} nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm).

As doses de gesso aplicadas aumentaram os teores trocáveis de Ca^{2+} em todo o perfil do solo analisado (0-60 cm) e não alteraram os teores trocáveis de Mg^{2+} (Figura 9). Na camada de 0-20 cm, as doses de gesso proporcionaram acréscimos

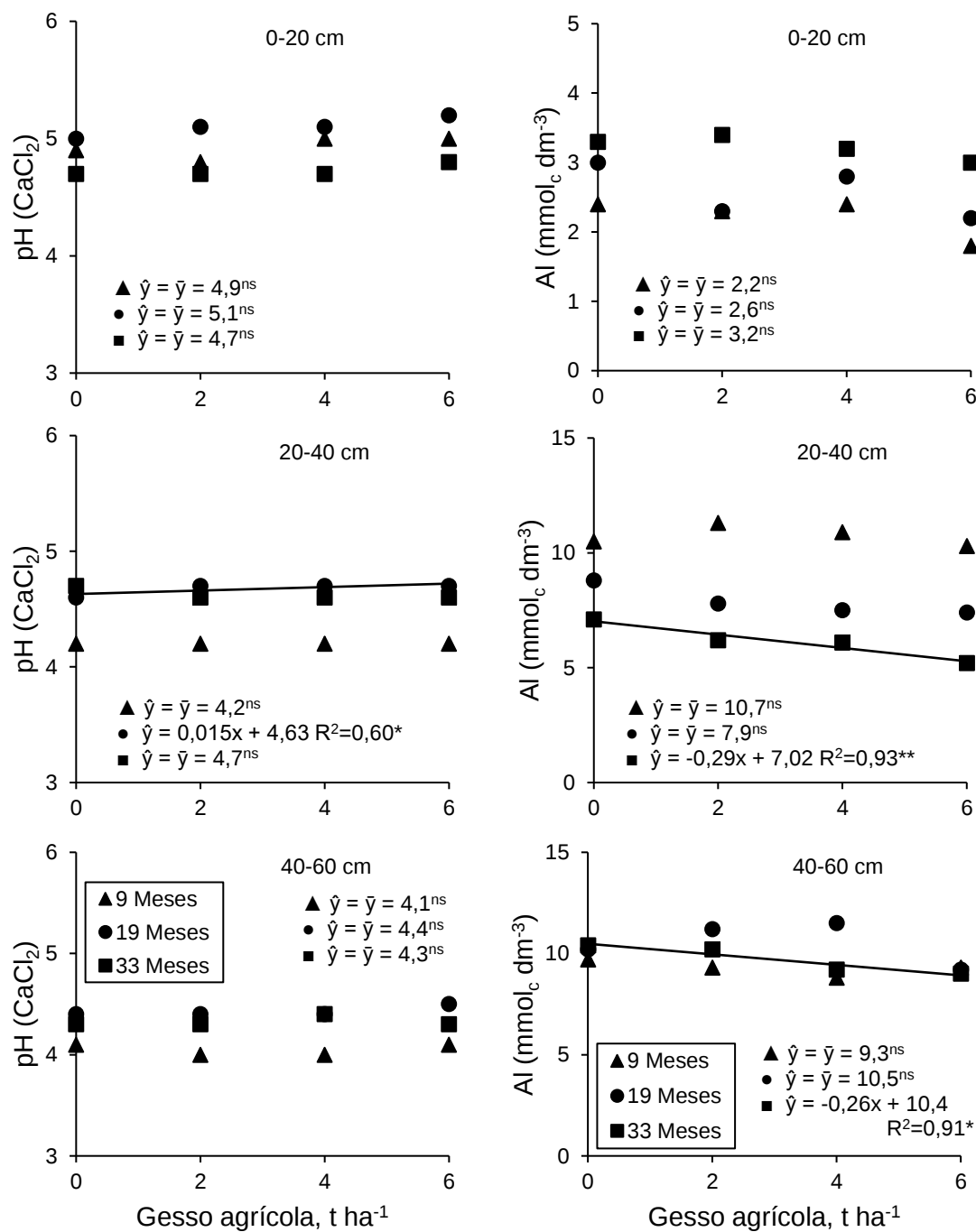


Figura 8: Alterações no pH em CaCl₂ e nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

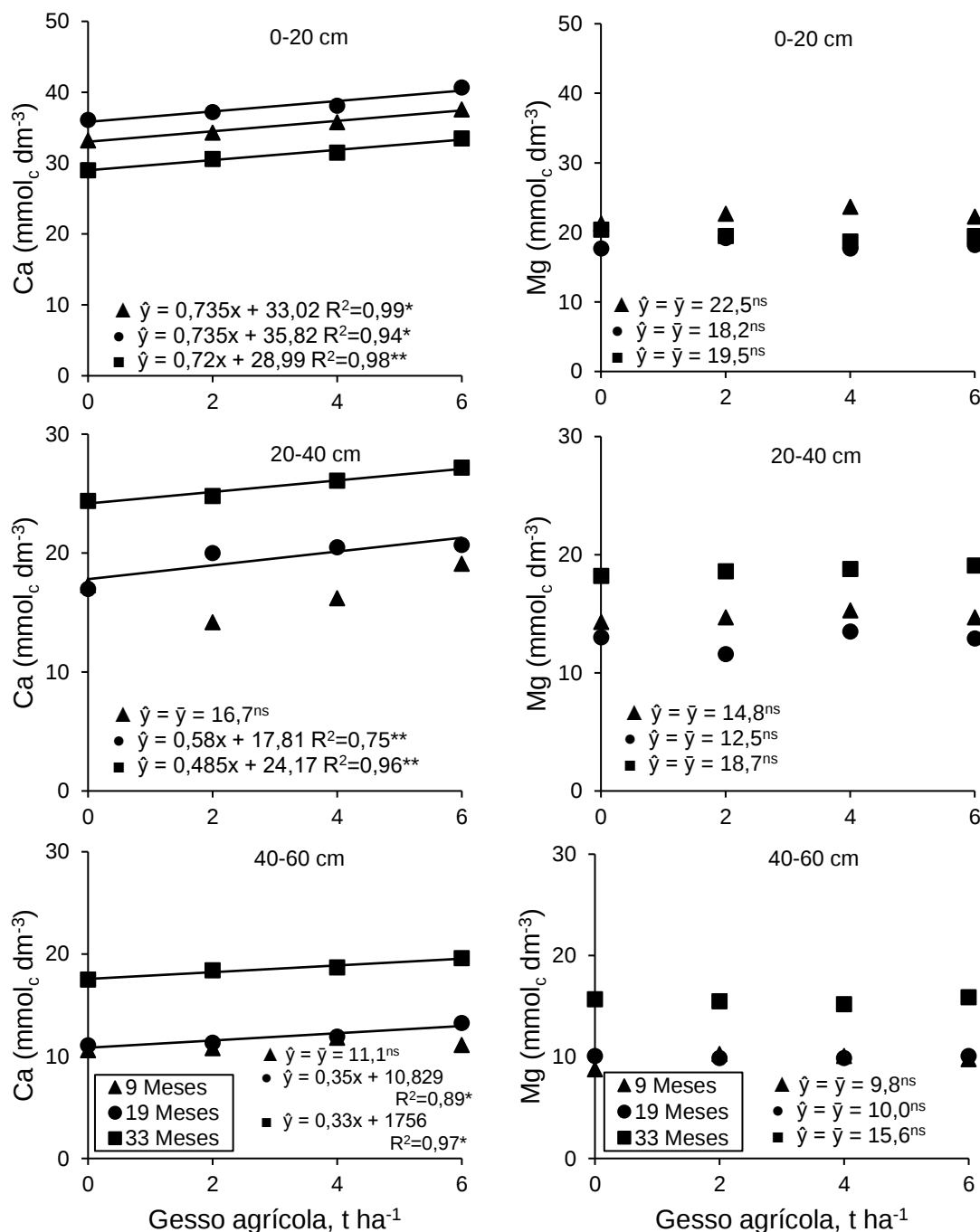


Figura 9: Alterações nos teores trocáveis de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

lineares nos teores de Ca^{2+} aos 9, 19 e 33 meses após a aplicação. Independentemente da época de avaliação, o incremento foi na ordem de $0,7 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Ca^{3+} para cada t ha^{-1} de gesso aplicado.

Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, os teores de Ca^{2+} não foram influenciados pelo uso de gesso, aos 9 meses após a aplicação, porém os teores de Ca^{2+} aumentaram linearmente em função de doses de gesso aos 19 e 33 meses após a aplicação. Os teores de Mg^{2+} trocáveis não foram influenciados pela aplicação de gesso após 9, 19 e 33 meses, em todo o perfil do solo (0-60 cm).

As doses de gesso aumentaram linearmente os teores de S-SO_4^{2-} em todo o perfil do solo (0-60 cm) aos 9, 19 e 33 meses após a aplicação (Figura 10). A saturação por bases do solo (V%), na camada de 0-20 cm, também apresentou um pequeno acréscimo com as doses de gesso, somente após 9 meses da aplicação (Figura 10). O S-SO_4^{2-} do gesso se distribuiu ao longo do perfil do solo com o tempo após a sua aplicação.

Os efeitos da aplicação superficial de gesso agrícola no cultivo de arroz irrigado por inundação em solo com baixa saturação por Al^{3+} (12%) não foram muito diferentes de outros observados em solos drenados (CARVALHO e RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999; 2003; 2004; 2018; COSTA E CRUSCIOL, 2016; CRUSCIOL et al., 2016; INAGAKI et al., 2016; SORATTO e CRUSCIOL, 2008). A maior diferença observada foi referente ao Mg^{2+} trocável. Em vários trabalhos realizados em solos com boa drenagem, houve decréscimos na concentração de Mg^{2+} em superfície em função da aplicação de gesso agrícola (CAIRES et al., 1999; 2004; OLIVEIRA e PAVAN, 1996). O decréscimo na concentração de Mg^{2+} nas camadas mais superficiais do solo com o uso de gesso em solos drenados é explicado pela formação e movimentação do par iônico MgSO_4^0 no perfil do solo. Esse efeito não foi constatado no presente estudo realizado em solo inundado com produção de arroz, nas amostragens realizadas aos 9, 19 e 33 meses após a aplicação de gesso. Tais resultados mostram que a dinâmica de íons no perfil solo, especialmente de Mg^{2+} , é diferente em solo inundado em relação aos solos com boa drenagem.

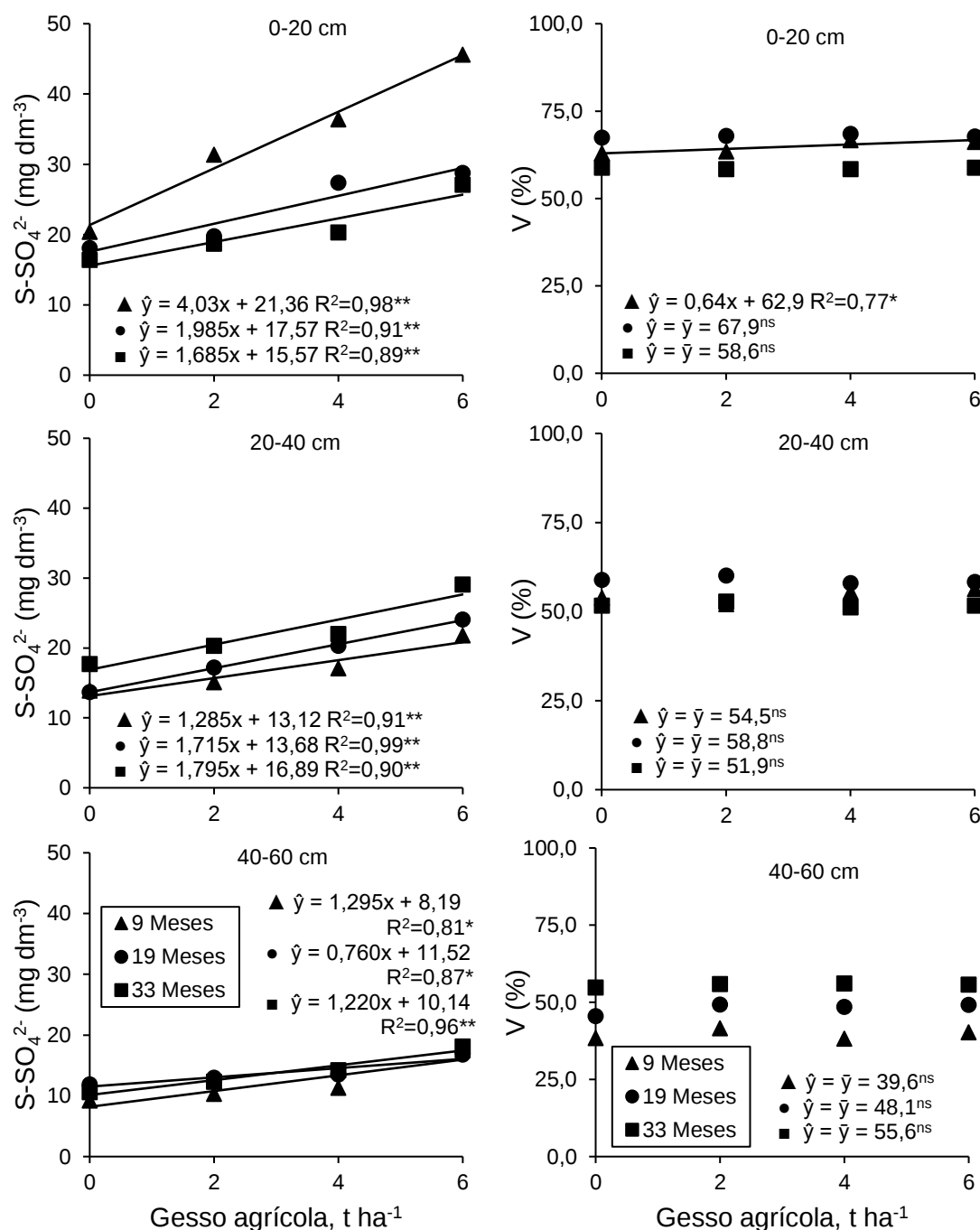


Figura 10: Alterações nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 9 meses (▲), 19 meses (●) e 33 meses (■) da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul – SC.

Como esperado, o gesso agrícola não corrigiu a acidez do solo pelo fato desse produto não possuir características corretivas da acidez. No entanto, um pequeno aumento no valor de pH, de apenas 0,1, foi observado na camada de 20-40 cm aos 11 meses após a aplicação de gesso. Segundo Reeve e Summer (1972), esse pequeno aumento do pH no subsolo com a aplicação de gesso pode ser devido à

reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo envolvendo óxidos hidratados de Fe e Al, com o SO_4^{2-} deslocando OH^- e, assim, promovendo a neutralização parcial da acidez. Pequenos aumentos do pH no subsolo, por meio da aplicação de gesso, também têm sido verificados em outros trabalhos realizados em solos com boa drenagem (CARVALHO e RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999; 2004; 2008; SORATTO e CRUSCIOL, 2008b).

O gesso agrícola aplicado em solo de terras baixas (várzea) utilizado para a produção de arroz funcionou como um condicionador de subsuperfície, aumentando os níveis de Ca^{2+} trocável e reduzindo os teores de Al^{3+} trocável em camadas do subsolo. Como o gesso é bem mais solúvel do que o calcário, a movimentação de Ca^{2+} no perfil é facilitada pela formação de par iônico com o sulfato (CaSO_4^0). Cabe destacar que em solos alagados, a entrada de água no sistema pela inundação aumenta o pH do solo e os teores de P (MORAES e DYNIA, 1992). A elevação no pH pela inundação pode favorecer o deslocamento de SO_4^{2-} para a solução do solo e sua movimentação para as camadas mais profundas. Nesse sistema, também é possível ocorrer maiores perdas de SO_4^{2-} pela água de drenagem.

6.1.3. Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na nutrição do arroz

A calagem não alterou as concentrações de N, P e K na folha bandeira do arroz irrigado (Inov CL), nos três cultivos (2013/14, 2014/15 e 2015/16) (Tabela 3). As doses de gesso aumentaram linearmente os teores foliares de N, apenas na safra de 2013/14. Os teores de P e K na folha bandeira do arroz foram aumentados de forma linear, nos três cultivos, em função das doses de gesso aplicadas.

As concentrações de Ca e Mg na folha bandeira do arroz não foram influenciadas pela calagem nas três safras (2013/14, 2014/15 e 2015/16) (Tabela 4). Já, os teores foliares de S aumentaram linearmente com as doses de calcário, somente na safra de 2013/14. As doses de gesso aumentaram linearmente os teores de Ca e S nas folhas, e não alteraram os teores foliares de Mg, nas três safras de arroz (Tabela 4).

Tabela 3: Concentrações de N, P e K na folha bandeira de arroz irrigado (Inov CL[®]), nas safras de 2013/14 (1º cultivo), 2014/15 (2º cultivo) e 2015/16 (3º cultivo), em função da aplicação de calcário e gesso. Santa Rosa do Sul - SC.

Tratamentos	N			P			K		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
Calcário t ha⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
0	33,8	29,8	28,0	2,02	1,66	2,16	10,4	12,6	11,5
2	34,1	29,1	27,1	1,71	1,68	2,11	9,1	11,5	11,6
4	33,1	29,8	27,7	2,14	1,86	2,21	10,9	11,6	10,7
6	34,1	29,5	27,2	2,17	1,72	2,23	10,6	11,3	11,9
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	5,3	7,7	4,7	16,0	18,7	8,2	15,7	21,8	7,6
Gesso t ha⁻¹									
0	33,6	29,6	27,2	1,77	1,44	1,98	9,0	10,5	10,6
2	33,4	29,1	28,1	1,88	1,65	2,07	9,9	11,7	11,0
4	33,6	29,3	27,2	2,11	1,86	2,29	10,9	12,0	11,7
6	34,6	30,3	27,4	2,28	1,96	2,38	11,2	12,6	12,4
Efeito	L*	ns	ns	L**	L**	L**	L**	L**	L**
C.V. (%)	2,8	5,0	5,6	10,8	11,4	4,8	6,2	11,5	9,6

L: efeito linear por regressão polinomial; ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$.

Tabela 4: Concentrações de Ca, Mg e S na folha bandeira de arroz irrigado (Inov CL[®]), nas safras de 2013/14 (1º cultivo), 2014/15 (2º cultivo) e 2015/16 (3º cultivo), em função da aplicação de calcário e gesso. Santa Rosa do Sul - SC.

Tratamentos	Ca			Mg			S		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
Calcário t ha⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
0	3,76	4,96	4,36	0,90	1,17	1,13	1,53	2,44	1,91
2	2,45	5,13	3,79	0,74	1,20	1,07	1,40	2,39	1,76
4	3,16	5,15	4,12	0,79	1,07	1,03	1,77	2,28	1,50
6	3,36	4,72	4,04	0,91	1,15	1,13	1,97	2,31	1,72
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	L*	ns	ns
C.V. (%)	14,7	17,6	8,3	18,0	11,9	7,1	24,9	12,8	21,4
Gesso t ha⁻¹									
0	2,64	4,52	3,54	0,87	1,15	1,11	1,37	2,02	1,47
2	2,83	5,06	3,94	0,73	1,14	1,03	1,59	2,29	1,61
4	3,50	5,26	4,38	0,87	1,16	1,11	1,76	2,47	1,82
6	3,77	5,14	4,45	0,86	1,13	1,10	1,94	2,64	1,99
Efeito	L**	L**	L**	ns	ns	ns	L**	L**	L**
C.V. (%)	15,2	10,2	8,4	12,8	14,5	10,0	12,2	10,0	7,3

L: efeito linear por regressão polinomial; ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$.

Apesar da aplicação de calcário dolomítico proporcionar melhoria na fertilidade do solo ao longo do tempo, aumentando o pH, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e a saturação por bases (V%), e reduzindo os teores de Al^{3+} , as concentrações de nutrientes na folha bandeira do arroz não foram influenciadas pelas doses de calcário. Esses resultados mostram que o híbrido de arroz Inov CL[®] é tolerante à acidez do solo e que, mesmo em solo sem correção da acidez, ele foi capaz de absorver nutrientes em níveis adequados para a cultura (SOSBAI, 2018).

Wielewicki et al., (1998), testando três doses de calcário e duas épocas de início da irrigação, não observaram influência da calagem na absorção de nutrientes pela cultura do arroz irrigado e que a antecipação do início da irrigação, de 35 dias para 15 dias após a emergência, proporcionou maior absorção de nutrientes no decorrer do desenvolvimento da cultura. Possivelmente, esse resultado está relacionado ao fato de a inundação proporcionar aumento no pH e, conseqüentemente, na disponibilidade de nutrientes na solução do solo, considerando que a inundação tende a estabilizar o pH em valores próximos de 6 a 7 (MORAES e DYNIA, 1992). Dessa forma, o efeito da calagem na correção da acidez pode ter sido inibido após o início da irrigação, fato que possivelmente ocorreu no presente estudo. Como o arroz é considerado uma espécie adaptada à acidez do solo (FAGERIA, 2000), a diminuição da acidez no início do desenvolvimento da cultura pela calagem não foi suficiente para alterar as concentrações de nutrientes nas folhas.

O uso de gesso agrícola proporcionou melhoria de fertilidade no perfil do solo até 60 cm de profundidade ao longo dos 33 meses de sua aplicação, ocasionando incremento nas concentrações de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} , e decréscimo no teor de Al^{3+} em profundidade. Com isso, a planta de arroz pode ter ampliado seu sistema radicular, como observado em outros estudos com outras culturas em solos drenados (CAIRES e ROSOLEM, 1993; ROSOLEM et al., 1994; CAIRES et al., 2001). Com uma área radicular maior, a eficiência de aproveitamento dos nutrientes no solo é favorecida, como observado nesse estudo em que houve aumento nas concentrações foliares de N no primeiro cultivo, e de Ca, S e P nos três cultivos. Por apresentar Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} em sua composição, o gesso agrícola demonstrou ser uma fonte importante de S para suprir as deficiências de S nas lavouras arrozeiras do Estado de SC (SCHMIDT, 2018).

6.1.4. Efeitos da calagem na produtividade de arroz

As doses de calcário ocasionaram redução linear na produtividade de arroz na primeira safra (2013/14) e não ocasionaram alterações significativas no rendimento de grãos nas demais safras (2014/15 e 2015/16) (Figura 11). Na primeira safra (2013/14), a redução na produtividade de grãos com a calagem ocorreu a partir da dose de calcário estimada pelo método do tampão SMP para pH em água 5,5, mostrando que tal dose já foi excessiva.

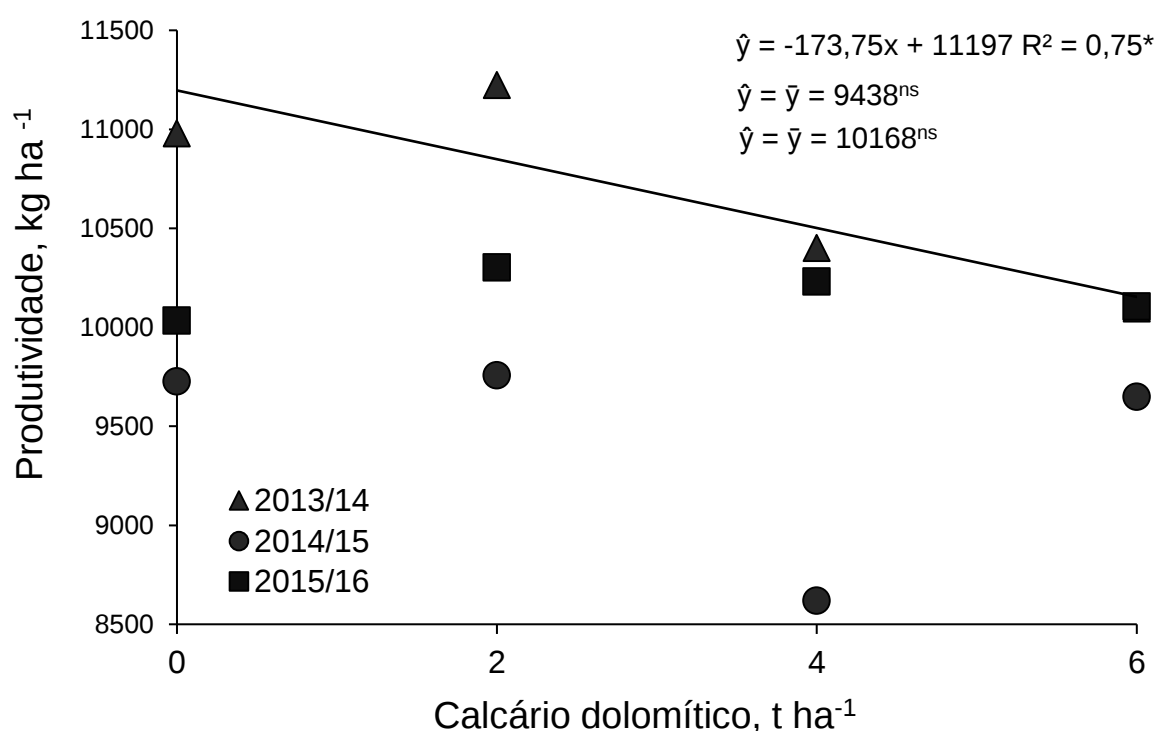


Figura 11: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de calcário dolomítico. Safras 2013/14 (▲), 2014/15 (●) e 2015/16 (■). *: $p < 0,05$, ns: não significativo. Santa Rosa do Sul-SC.

As produtividades médias de arroz irrigado, no presente estudo, foram elevadas, pois estiveram acima de 10000 kg ha^{-1} , nas três safras avaliadas. As médias obtidas nos estados do RS e SC, que são os estados com maior produtividade de arroz do Brasil, encontram-se pouco acima de 7000 kg ha^{-1} (CONAB, 2019).

A produtividade acumulada dos três cultivos de arroz (2013/14, 2014/15 e 2015/16) em solo com baixa saturação por Al (12%) não foi influenciada pela calagem (Figura 12). A produtividade média acumulada de arroz, nas três safras, foi de 30281 kg ha^{-1} .

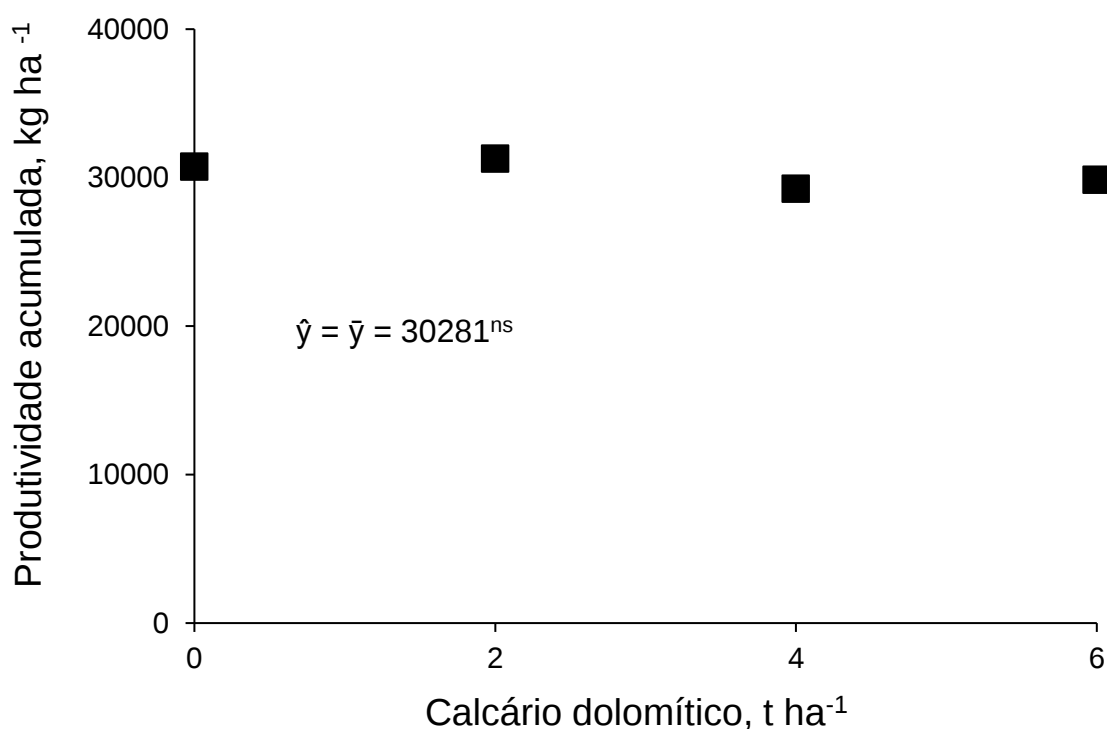


Figura 12: Produtividade acumulada de grãos de arroz irrigado (Inov CL[®]) em função da aplicação de doses de calcário dolomítico. Soma das produtividades obtidas nas safras de 2013/14, 2014/15 e 2015/16. ns: não significativo. Santa Rosa do Sul-SC.

A ausência de resposta positiva do híbrido Inov CL[®] à aplicação de calcário corrobora com a conclusão de Dynia e Moraes (1998) de que a calagem não influencia a produção de arroz irrigado no solo Gley. Destaca-se que, apesar da acidez, o solo do presente estudo apresentava baixa saturação por Al (12%) e teores suficientes de Ca e Mg. A redução na produtividade de grãos com as maiores doses de calcário no primeiro cultivo (Figura 11), pode ter sido ocasionada pelo aumento demasiado no pH e, principalmente, pelo acúmulo de carbonatos que podem ter favorecido a precipitação de Fe, Mn e Zn na solução do solo (MORAES e DYNIA, 1992). Segundo Summer et al. (1978), o decréscimo na produção de muitas culturas, quando submetidas à calagem, tem sido associada com a diminuição na disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn no solo. Em outros estudos realizados com arroz irrigado também não foram observados benefícios na produção de grãos com a calagem (BRANCHER et al., 1998; LEITE et al., 1970; SCHMIDT e GARGANTINI, 1970).

O híbrido de arroz irrigado Inov CL[®] se mostrou relativamente tolerante à acidez do solo, podendo ser cultivado em sistema cultivo mínimo, sem necessidade de aplicação de calcário, em solo com baixa saturação por Al. Embora a cultura do arroz seja tolerante à acidez (FAGERIA, 2000; MORAES e DYNIA, 1998), deve-se

considerar que existem diferentes níveis de tolerância à acidez entre cultivares de arroz (FAGERIA, 2015).

Em cultivos de arroz de sequeiro, respostas positivas à aplicação de calcário têm sido reportadas (OLIVEIRA et al., 2009; SORATTO et al., 2010; CRUSCIOL et al. 2016). Entretanto, Fageria (2001) não observou resposta na produtividade da cultura do arroz de sequeiro com a calagem.

6.1.5. Efeitos da aplicação de gesso na produtividade de arroz

As doses de gesso agrícola aumentaram a produtividade de arroz irrigado (Inov CL[®]) nos três anos de avaliação (Figura 13) e a produtividade acumulada nesse período (Figura 14).

Nas primeira (2013/14) e na segunda (2014/15) safra após a aplicação de gesso, houve aumento linear na produtividade de grãos com as doses de gesso (Figura 13). De acordo com as equações de regressão ajustadas, houve incremento em torno de 140 e 260 kg de grãos de arroz, respectivamente no primeiro e no segundo cultivo, para cada tonelada gesso agrícola aplicada. Somando-se o ganho acumulado nas duas primeiras safras, o ganho acumulado foi de 400 kg de grãos de arroz para cada tonelada de gesso aplicada.

Na terceira safra (2015/16), a produtividade de arroz aumentou com as doses de gesso, conforme o modelo quadrático (Figura 13). De acordo com a equação de regressão ajustada, a máxima produtividade de grãos (10590 kg ha⁻¹) seria alcançada com a dose de 4 t ha⁻¹ de gesso, ou seja, houve um ganho de 1135 kg ha⁻¹ de grãos em relação ao tratamento controle.

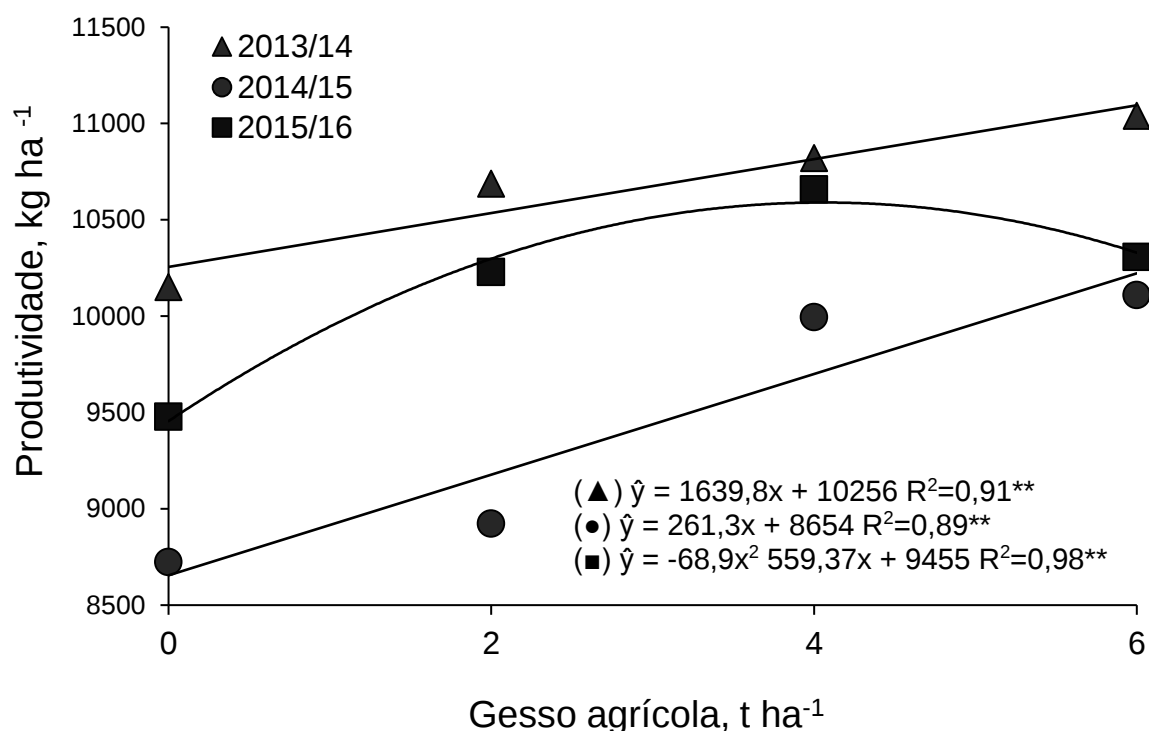


Figura 13: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Inov CL[®]) em função da aplicação de doses de gesso agrícola. Safra 2013/14 (▲), Safra 2014/15 (●) e Safra 2015/2016 (■). **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul-SC.

A produtividade de arroz acumulada nas três safras (2013/14, 2014/15 e 2015/16) aumentou com as doses de gesso aplicadas, conforme o modelo *Linear Response Plateau* (Figura 14). De acordo com a equação de regressão ajustada, a produtividade acumulada seria aumentada linearmente em 743 kg de grãos por tonelada de gesso aplicada até a dose de 4,2 t ha⁻¹ e, a partir dessa dose, a produtividade acumulada seria estabilizada em 31465 kg ha⁻¹ de grãos. O incremento no rendimento acumulado de grãos com a aplicação de gesso até a estabilização da produtividade foi da ordem de 3120 kg ha⁻¹ (62 sacas de 50 kg ha⁻¹).

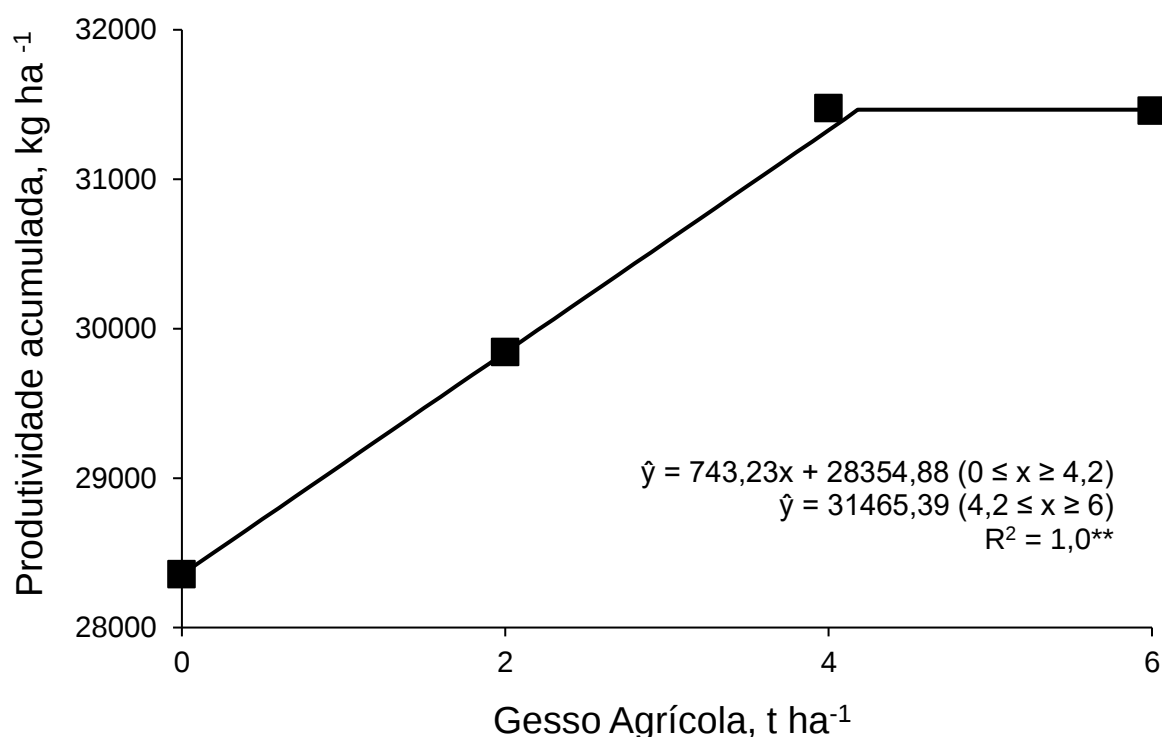


Figura 14: Produtividade acumulada de grãos de arroz irrigado (Inov CL®) em função da aplicação de doses de gesso agrícola. Soma das produtividades obtidas nas safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Safra 2017/18, Praia Grande - SC. **: $p < 0,01$. Santa Rosa do Sul-SC.

Vale salientar que o gesso agrícola foi aplicado em dose única, antes da primeira safra, ou seja, observou-se residual ao longo dos anos. Esses resultados revelam potencialidade do uso de gesso agrícola em lavouras de arroz irrigado por elevar o potencial de produção de grãos de um híbrido de arroz de alto potencial produtivo, mesmo em solo com teor de $S-SO_4^{2-}$ acima do nível considerado crítico por Sosbai (2018) e Carmona et al. (2009). Isso demonstra que o uso de gesso merece maior atenção e deve ser estudado para outros genótipos e em regiões produtoras de arroz irrigado.

O uso de gesso agrícola é amplamente citado na literatura por proporcionar incrementos de produtividade de soja (COSTA e CRUSCIOL, 2016), milho (CAIRES et al., 1999; 2004; 2016), cevada (CAIRES et al., 2001a), trigo (RAMPIM et al., 2013; CAIRES et al., 2002) e arroz de sequeiro (SORATTO et al., 2010). Quando combinado com a calagem, Oliveira et al. (2009) também observaram efeito positivo do gesso na produtividade de arroz.

O ganho em produtividade de grãos de arroz irrigado em função do uso de doses de gesso indica ser em função da melhoria da fertilidade do solo sem interferir no valor de pH, principalmente, no incremento dos teores Ca^{2+} no perfil do solo e

diminuição nos teores de Al^{3+} , o que vem a favorecer e estimular o crescimento radicular das plantas (RITCHEY et al., 1980; CARVALHO e RAIJ, 1997; CAIRES et al., 2016). Com uma área radicular mais desenvolvida, a cultura do arroz consegue aumentar no solo a zona de oxidação na rizosfera pelo transporte de O_2 da atmosfera até a raiz pelo aerênquima e aumentar a eficiência do uso de nutrientes, principalmente os que apresentam redução com a alagamento e, consequente diminuição do O_2 , como o N e o S.

Além do mais, o uso de doses crescentes de gesso proporcionou aumento nos teores de S-SO_4^{2-} no perfil do solo, em amostras de solo previamente secas. Sabe-se que em condições de campo, a inundação reduz o SO_4^{2-} a S_2 formando H_2S , o que pode gerar perdas por volatilização e causar deficiência de S, pois a planta absorve S na forma de SO_4^{2-} (TAIZ et al, 2017). Com o incremento de S na forma de SO_4^{2-} no solo, possivelmente há mais S disponível para planta na zona da rizosfera.

Carmona et al. (2009) realizaram trabalho em solos de várzea na região da Depressão Central do RS em 12 locais, nas safras de 2004/2005 e 2005/2006, e observaram incremento na produtividade de arroz irrigado em função de doses de S na forma de sulfato de amônio. No entanto, os resultados foram positivos apenas em solos que apresentavam teor inicial de S-SO_4^{2-} abaixo nível crítico ($< 10 \text{ mg dm}^{-3}$). No presente estudo, o solo tinha teor inicial de $15,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de S-SO_4^{2-} (0-20 cm).

Fageria et al. (2010), trabalhando com doses de N utilizando duas fontes (ureia e sulfato de amônio) na cultura de arroz irrigado, em um solo com os teores de Ca^{2+} + Mg^{2+} e Al^{3+} semelhantes ao do presente estudo, observaram respostas positivas na produtividade grãos de arroz com as duas fontes utilizadas, mas o emprego de sulfato de amônio aumentou a eficiência no uso do N pela cultura.

Mesmo na ausência de gesso, os teores S na folha bandeira, no presente estudo, se encontraram dentro da faixa considerada adequada para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2018). Porém, com o incremento de doses de gesso no solo, a concentração de S na folha bandeira foi aumentada, mas não ultrapassou a faixa considerada adequada para a cultura. Schmidt (2018) mostrou que as lavouras de arroz de sete regiões arrozeiras do Estado de SC estavam com concentrações de S na folha bandeira abaixo da faixa considerada adequada para a cultura na safra 2015/16. Como a aplicação de gesso agrícola melhorou a fertilidade do perfil do solo, aumentou a eficiência do uso dos nutrientes do solo e incrementou a produtividade de grãos de arroz irrigado, a sua utilização se torna de grande importância como fonte de

Ca e S-SO_4^{2-} visando incrementar a produtividade de grãos de arroz em curto e médio prazos.

6.2. Solo com alta saturação por alumínio

6.2.1. Alterações químicas do solo antes da entrada de água no sistema

Os atributos químicos do solo avaliados na camada de 0-20 cm antes da entrada de água na lavoura, momento no qual o solo ainda não tinha sido inundado, revelaram que as doses de calcário elevaram o pH em CaCl_2 e reduziram os teores de Al^{3+} trocável, aumentaram os teores de Ca e Mg trocáveis, e não alteraram os teores de S-SO_4^{2-} e aumentaram a saturação por bases (V%) (Figura 15).

As doses de gesso não ocasionaram alterações no pH em CaCl_2 e reduziram os teores de Al^{3+} trocável, aumentaram os teores de Ca^{2+} e não alteraram os teores de Mg^{2+} , e aumentaram os teores de S-SO_4^{2-} e a saturação por bases (V%) (Figura 16). Nota-se que tanto a calagem como a aplicação de gesso melhoraram a fertilidade do solo no momento em que a cultura do arroz se encontrava em estágio inicial de desenvolvimento (V_3).

O teor de Al^{3+} trocável foi influenciado significativamente pela interação entre as doses de calcário e de gesso (Tabela 5). O desdobramento da interação revelou que as doses de gesso agrícola reduziram os teores de Al^{3+} trocável somente no tratamento sem calcário. As doses de calcário reduziram os teores de Al^{3+} no solo independentemente das doses de gesso aplicadas, sendo que a partir da dose de calcário recomendada para o arroz ($4,8 \text{ t ha}^{-1}$), os teores de Al^{3+} chegaram a zero.

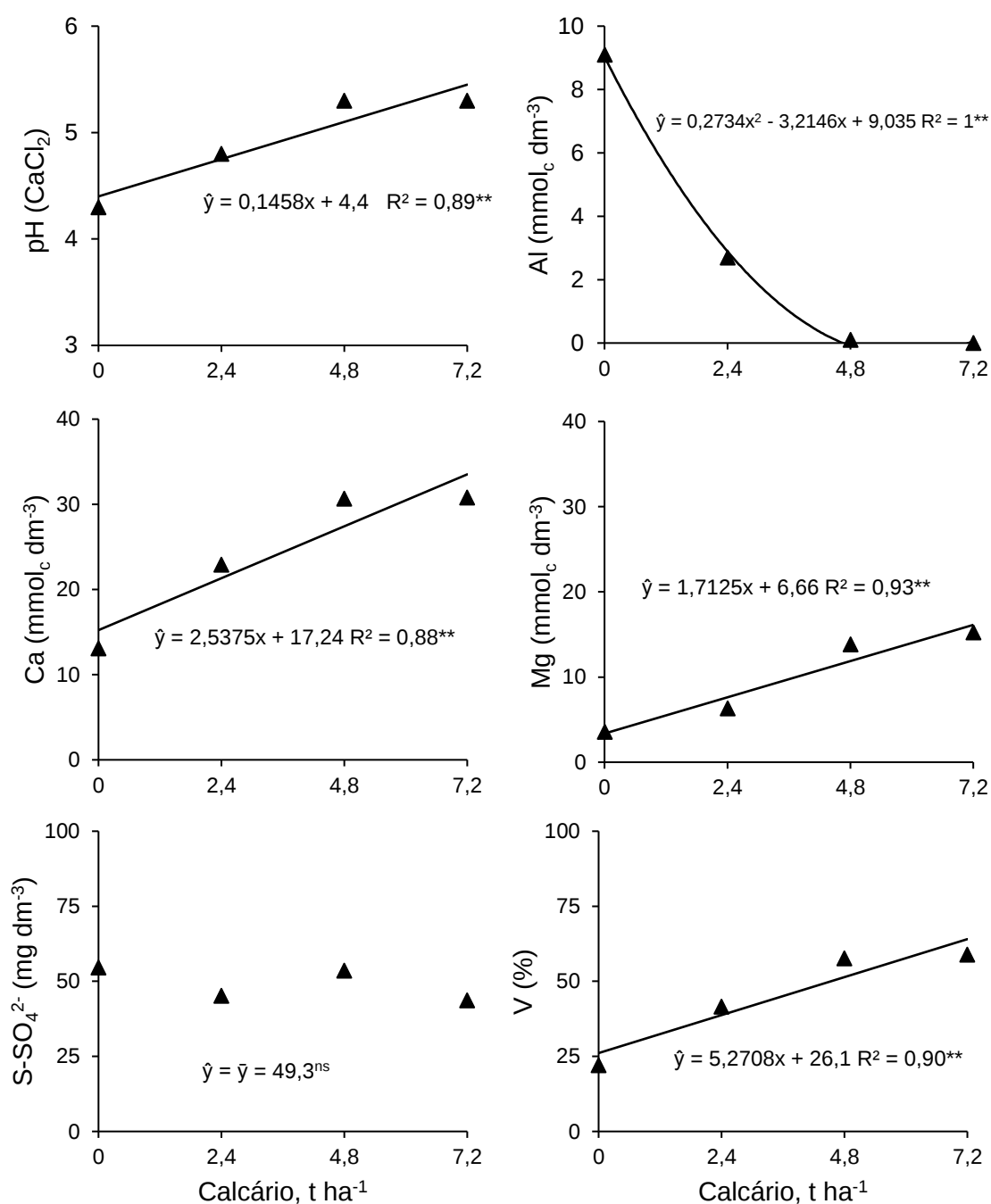


Figura 15: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de calcário após 109 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

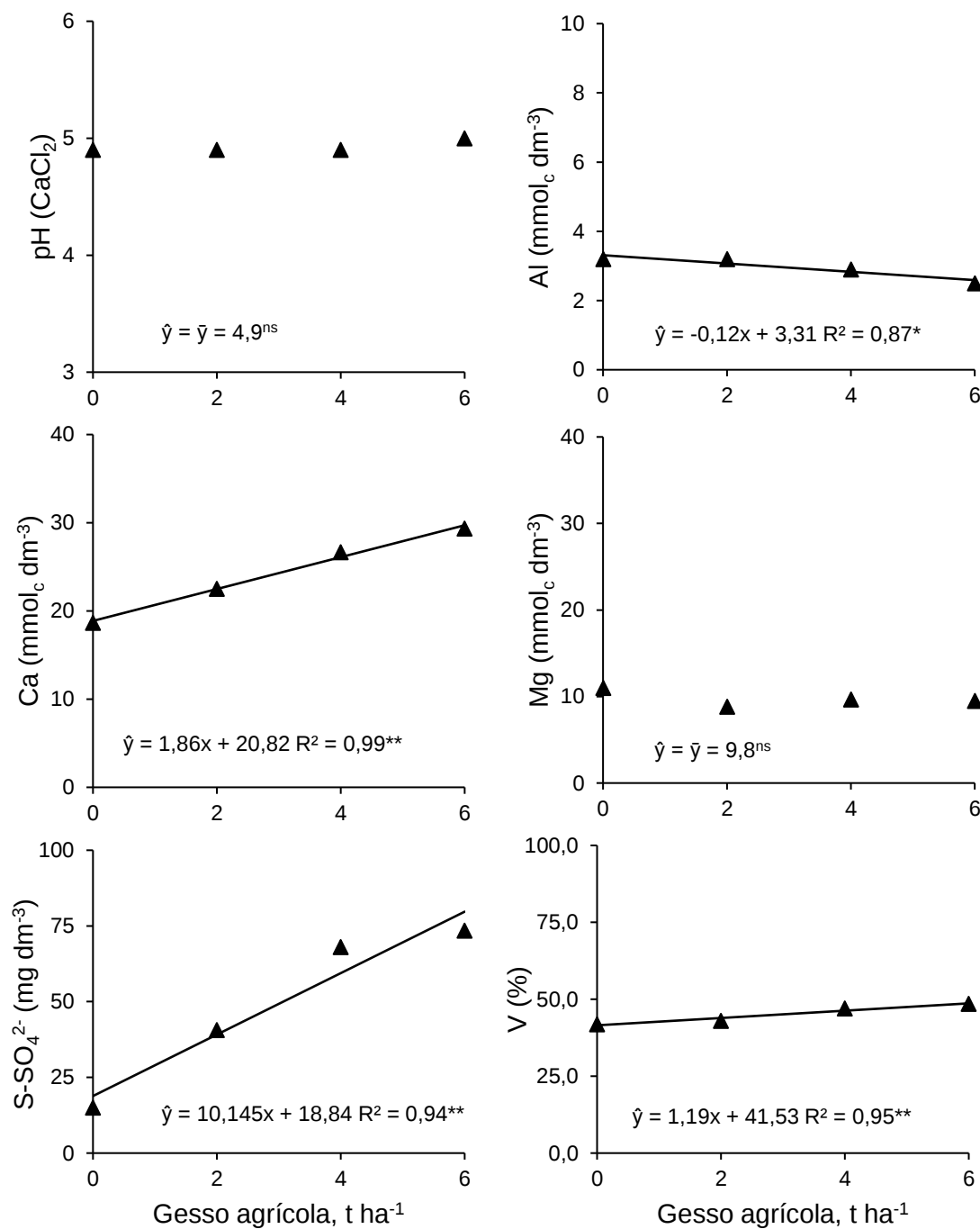


Figura 16: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de gesso agrícola após 51 dias da aplicação. ns: não significativo, *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

Tabela 5: Desdobramento da interação entre as doses de calcário e gesso para o teor de Al^{3+} trocável no solo (0-20 cm), antes da entrada de água no sistema. Praia Grande - SC.

Tratamentos	Gesso t ha^{-1}				Efeito
	0	2	4	6	
Calcário t ha^{-1}	----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al -----				
0	10,7	9,3	8,7	7,7	L**
2,4	2,0	3,0	3,0	2,7	ns
4,8	0,0	0,1	0,0	0,0	ns
7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	ns
Efeito	Q**	Q**	Q**	Q**	

L = efeito linear por regressão polinomial, Q = efeito quadrático por regressão polinomial; **: $p < 0,01$, ns: não significativo.

6.2.2. Alterações químicas do solo após a colheita do arroz

As doses de calcário dolomítico ocasionaram melhorias nos atributos químicos do solo, principalmente na camada de 0-20 cm (Figura 17). Com as doses de calcário aplicadas, houve aumento no pH em CaCl_2 , redução nos teores de Al^{3+} trocável, aumento nos teores de Ca^{2+} trocável, aumento nos teores de Mg^{2+} trocável e aumento na saturação por bases (V%) na camada de 0-20 cm (Figura 17). Destaca-se que os teores de Al^{3+} trocável foram reduzidos a zero a partir dose de calcário recomendada para a cultura do arroz em sistema de cultivo mínimo ($4,8 \text{ t ha}^{-1}$). Os teores de S-SO_4^{2-} foram reduzidos com as doses de calcário na camada de 0-20 cm (Figura 17). Segundo Catani, Glória e Vitti (1971) o pH do solo exerce efeito importante na adsorção de S-SO_4^{2-} , ou seja, com o aumento do pH do solo a adsorção de S-SO_4^{2-} é diminuída, pois com o aumento do pH ocorre aumento de cargas negativas no solo, reduzindo a adsorção dos ânions. No presente estudo, a redução nas concentrações de S-SO_4^{2-} no solo (0-20 cm) com as doses de calcário deve ter sido ocasionada pelo aumento do pH com a calagem.

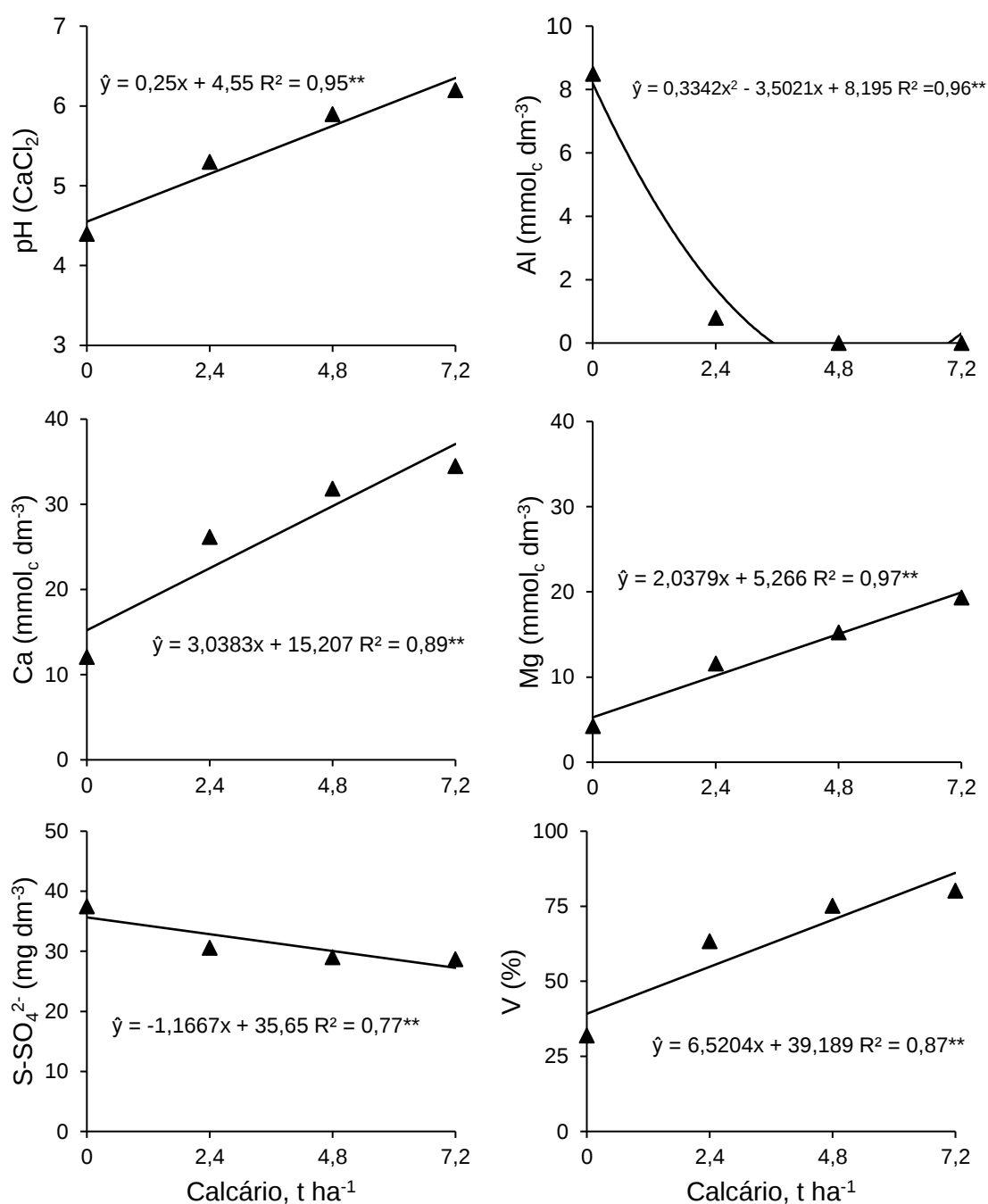


Figura 17: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

Na camada de 20-40 cm, apenas os teores trocáveis de Mg²⁺ aumentaram com a calagem (Figura 18). O pH em CaCl₂, teores trocáveis de Al³⁺ e Ca²⁺, teores de S-SO₄²⁻ e Saturação por bases (V%) não foram alterados com a aplicação de calcário na camada de 20-40 cm (Figura 18).

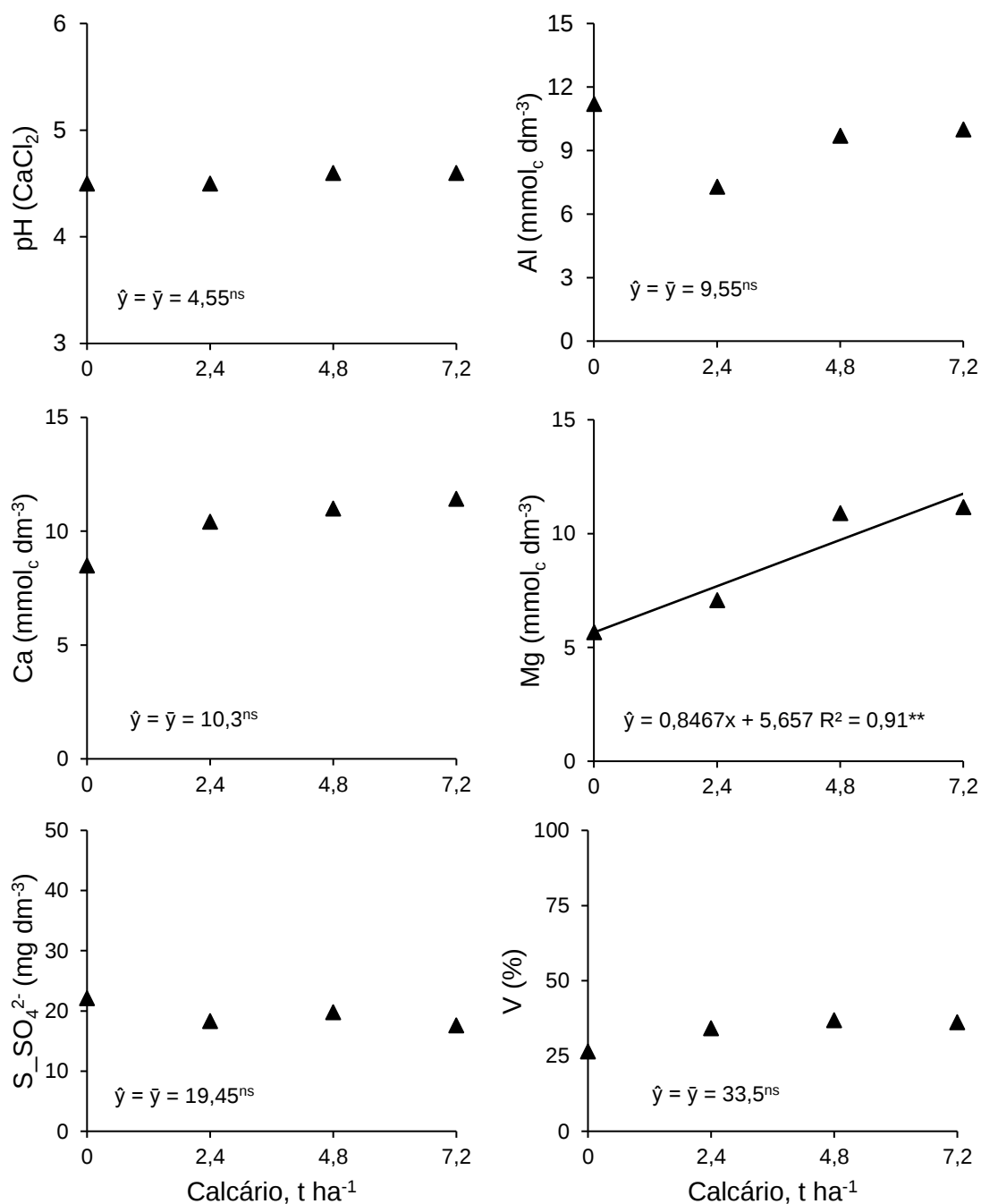


Figura 18: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 20-40 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. ns: não significativo e **: significativo $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

A aplicação de calcário não alterou significativamente os atributos químicos do solo na camada do solo de 40-60 cm (Figura 19).

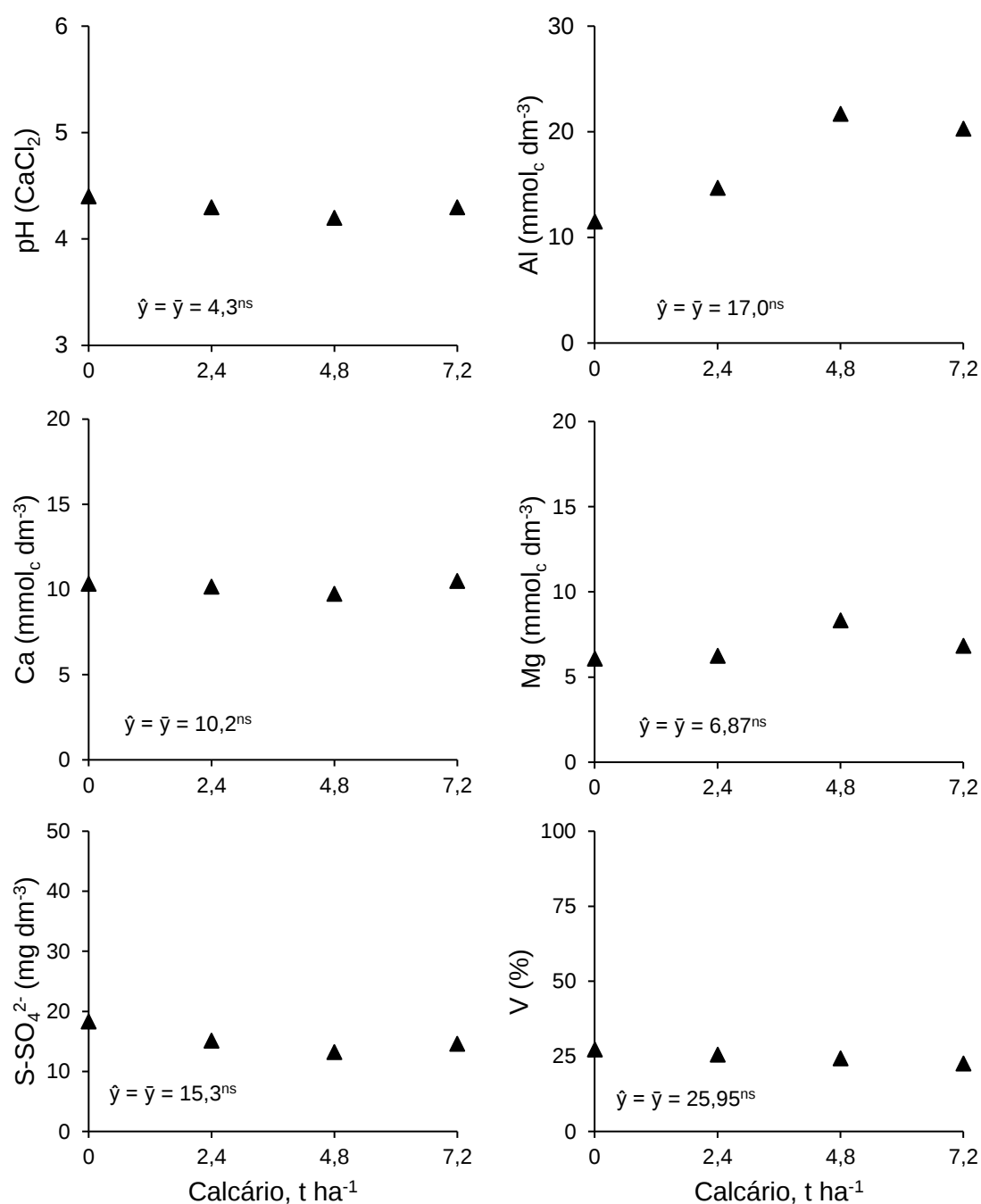


Figura 19: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 40-60 cm, em função de doses de calcário após 251 dias da aplicação. ns: não significativo. Praia Grande – SC.

Os efeitos da aplicação de calcário dolomítico na correção da acidez do solo com consequente aumento nos teores trocáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} , diminuição nos teores de Al^{3+} e elevação na saturação por bases já se encontram bem relatados na literatura para diferentes sistemas de manejo do solo (ALLEONI et al., 2005; AMARAL et al., 2001; 2004; ARAÚJO et al., 2009; CAIRES et al., 2000; 2001; 2003; 2004; 2006; 2011; 2015; CHAVES, PAVAN, IGUE, 1984; De MARIA et al., 1993; FAGERIA, 1984; 2001; FIDALSKI e TORMENTA, 2005; FREIRIA et al., 2008; INAGAKI et al., 2016; JORIS et al., 2013; 2016; PAVAN, 1994; SILVA e RANNO, 2005; ZAMBROSI et al., 2008).

No presente estudo, mesmo com o elevado valor de pH do solo obtido com a calagem na camada de 0-20 cm (6,2), não foi observada a ocorrência da frente de correção da superfície em direção às camadas mais profundas. Isso, provavelmente, se deve à alta acidez presente no solo aliada ao fato de o solo permanecer saturado após a entrada de água no sistema. O solo ficou drenado por um curto período de tempo, do início do experimento até a entrada de água no sistema (109 dias). De qualquer forma, a calagem realizada para a produção de arroz em sistema de cultivo mínimo foi eficiente na correção da acidez na camada de incorporação do calcário.

As doses de gesso não ocasionaram alterações no pH em CaCl_2 , nos teores de Al^{3+} trocável e Mg^{2+} trocável no perfil do solo analisado (0-60 cm) (Figuras 20, 21 e 22). Aumentaram os teores de Ca^{2+} trocável e os teores de S-SO_4^{2-} em todo o perfil do solo (0-60 cm) (Figuras 20, 21 e 22) e aumentaram a saturação por bases (V%) na camada de 0-20 cm (Figura 20).

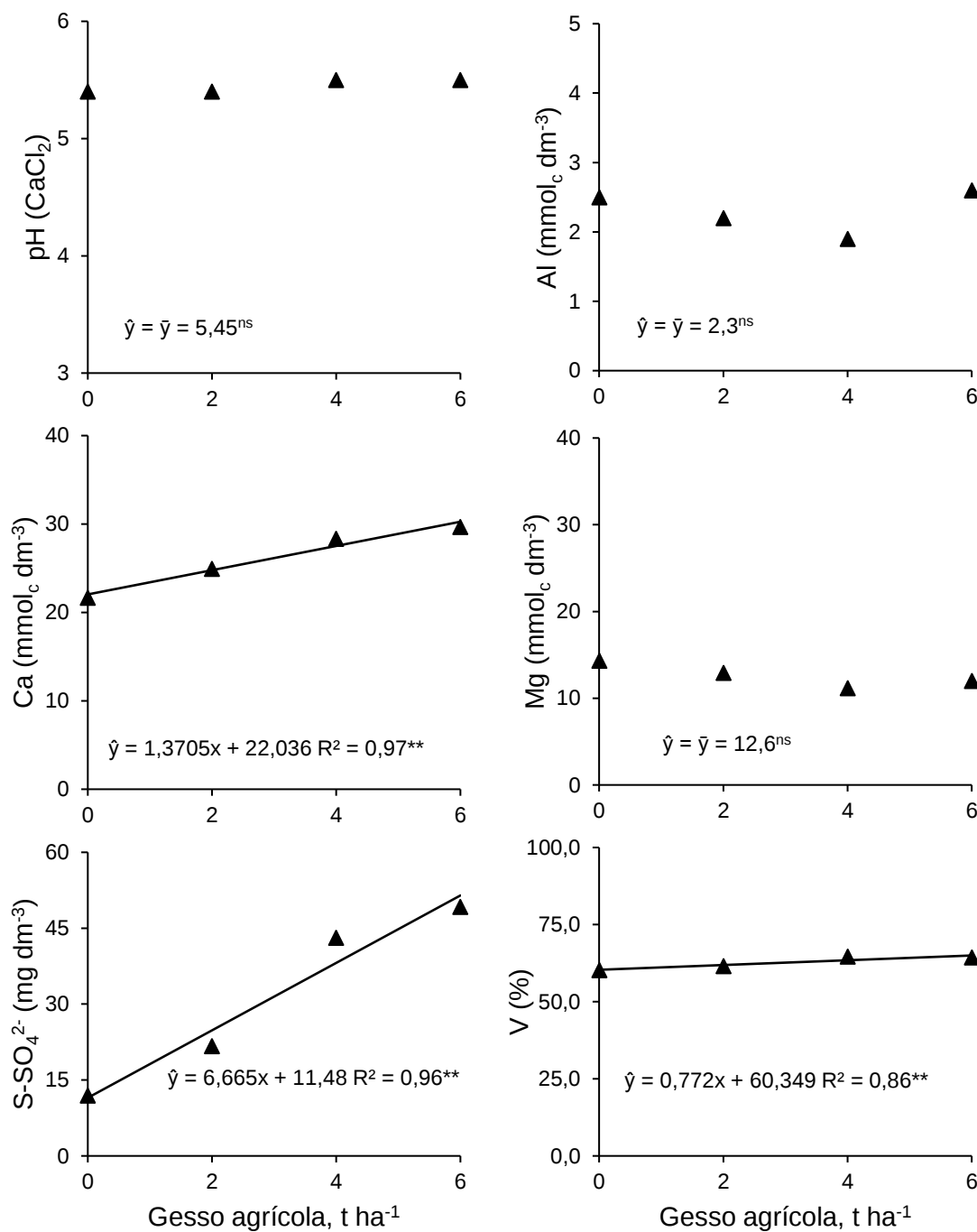


Figura 20: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 0-20 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: significativo $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

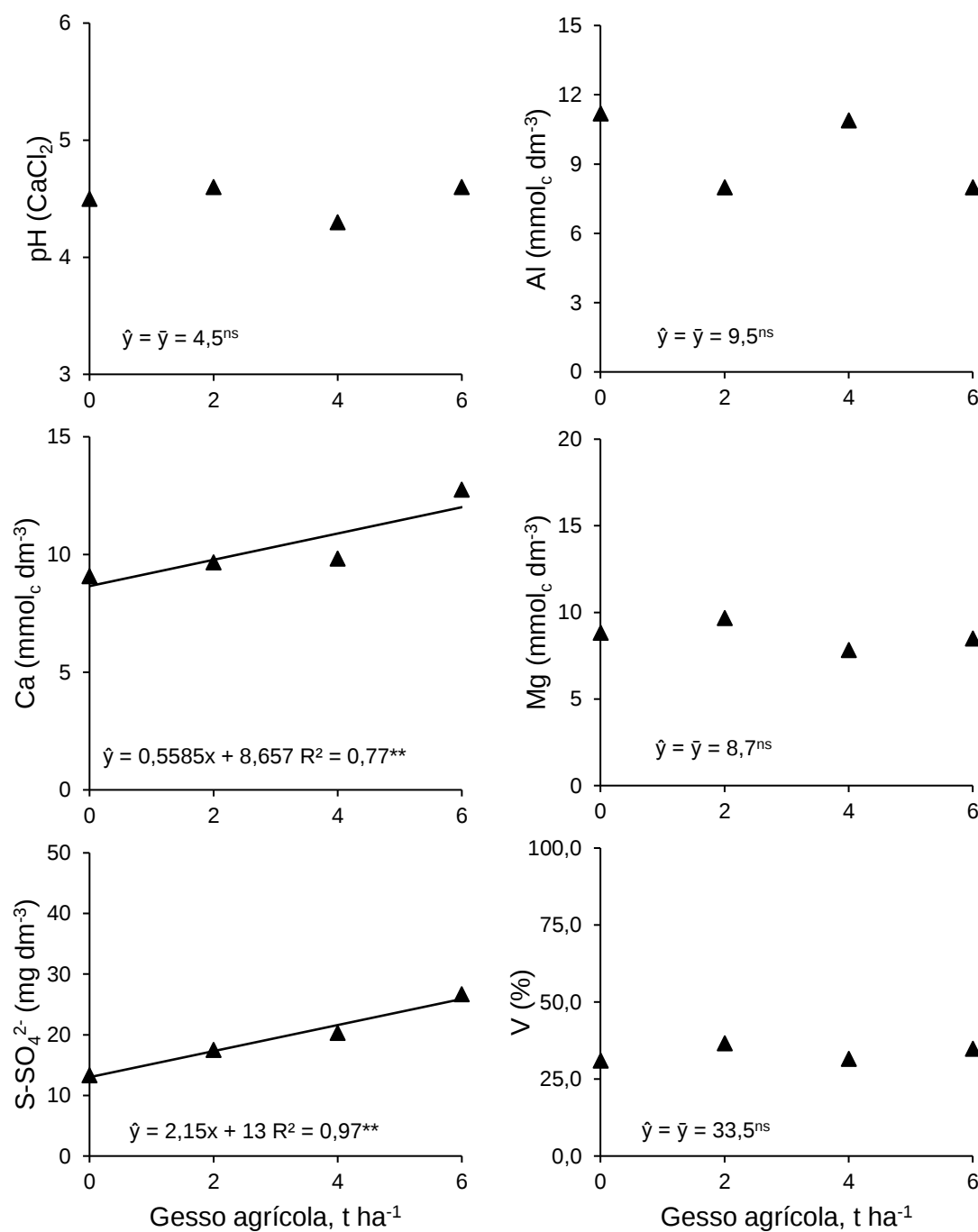


Figura 21: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 20-40 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

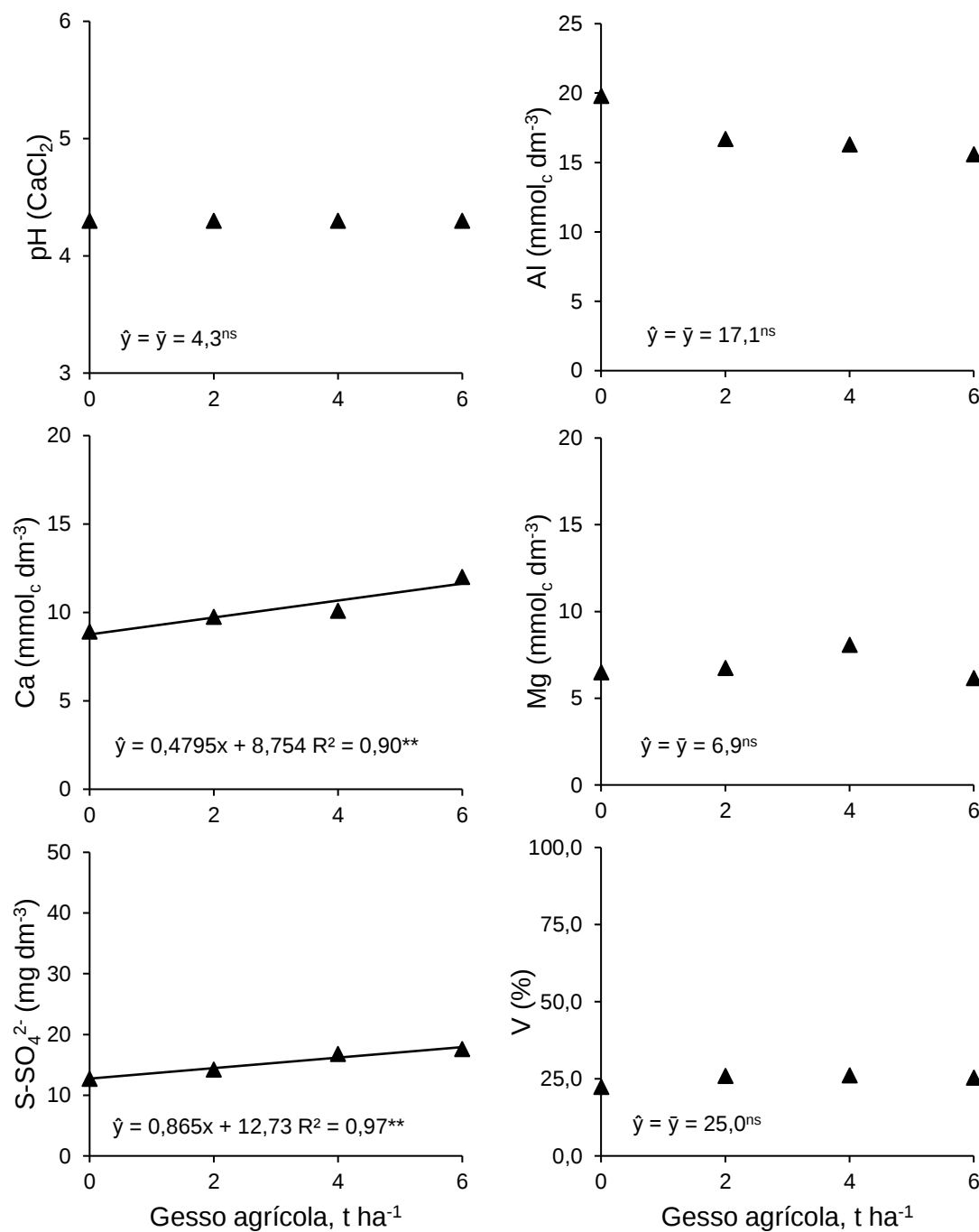


Figura 22: Alterações no pH em CaCl₂, nos teores trocáveis de alumínio (Al³⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), nos teores de enxofre (S-SO₄²⁻) e na saturação por bases (V%) no solo, na camada de 40-60 cm, em função de doses de gesso agrícola após 193 dias da aplicação. ns: não significativo e **: $p < 0,01$. Praia Grande – SC.

Os efeitos do uso de gesso agrícola no perfil do solo têm sido amplamente discutidos na literatura. A dissolução do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no solo gera Ca^{2+} e SO_4^{2-} como produtos da reação, aumentando os teores desses nutrientes na camada superficial do solo. Também ocorre formação de pares iônicos (CaSO_4^0 , MgSO_4^0 e KSO_4), aumentando movimentação de íons no perfil do solo. Como em subsuperfície os teores de Al^{3+} são mais elevados e pelo fato de o Al^{3+} ter maior força iônica que o Ca^{2+} , ele desloca o Ca^{2+} e ocorre a formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e aumento nos teores de Ca^{2+} em profundidade (CAIRES et al., 1999; 2001a; 2001b; 2002; 2004; 2016; DALLA NORA e AMADO, 2013; MICHALOVICZ et al., 2014; RAIJ et al., 1998; RAMPIM et al., 2011). Esse efeito resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (CARVALHO e RAIJ, 1997; CAIRES et al., 2016).

Em áreas de solos de terras baixas (várzea) com a cultura do arroz irrigado por inundação não há na literatura estudos em periódicos científicos relevantes com experimentos conduzidos com o uso de gesso agrícola na melhoria do perfil do solo e na resposta da cultura. Esse estudo mostrou que os efeitos do gesso em solo cultivado com arroz irrigado por inundação foram semelhantes aos relatados para outros sistemas em solos com boa drenagem. Antes da entrada de água no sistema houve diminuição na concentração de Al^{3+} em superfície apenas no tratamento sem calcário, possivelmente pela precipitação do Al que estava em mais alta concentração. Logo após a colheita dos grãos do arroz, depois que houve a entrada e a saída de água do sistema, esse efeito não foi mais observado, mas o aumento no teor de Ca em subsuperfície contribuiu para a redução na saturação por Al no subsolo. O uso de gesso proporcionou melhoria na fertilidade do solo, demonstrando potencial de uso em sistemas de produção de arroz irrigado sob inundação.

6.2.3. Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na nutrição do arroz

As doses de calcário aumentaram linearmente os teores de N e Mg, e reduziram, também de forma linear, os teores de Ca e S. Os teores de P e K nas folhas não foram influenciados pela calagem (Tabela 6). As doses de gesso somente aumentaram, de modo linear, os teores de S no tecido foliar do arroz. Os demais nutrientes não foram influenciados pela aplicação de gesso.

Tabela 6: Concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na folha bandeira do arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário t ha⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----					
0	32,1	2,56	18,9	4,8	0,96	2,76
2,4	32,0	2,66	18,5	4,3	1,29	2,44
4,8	31,8	2,66	18,4	4,5	1,28	2,39
7,2	33,4	2,59	18,3	4,4	1,36	2,46
Efeito	L*	ns	ns	L*	L**	L*
C.V. (%)	2,7	13,0	5,9	6,7	12,7	11,3
Gesso t ha⁻¹						
0	31,8	2,62	18,5	4,5	1,24	2,42
2	32,2	2,68	18,6	4,5	1,24	2,46
4	32,5	2,54	18,3	4,5	1,21	2,54
6	32,7	2,63	18,7	4,6	1,20	2,62
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	L**
C.V. (%)	7,5	13,2	4,7	5,8	6,0	6,6

L: efeito linear por regressão polinomial; **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: não significativo.

Nesse estudo, conduzido em solo com alta saturação por Al^{3+} (53%) e baixos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (11 mmolc dm⁻³), o híbrido de arroz irrigado Titan CL[®] revelou concentrações de nutrientes na folha bandeira dentro da faixa considerada adequada para a cultura do arroz (SOSBAI, 2018).

A calagem proporcionou melhoria na fertilidade do solo por meio da correção da acidez, redução do Al^{3+} trocável e aumento dos níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis na camada de 0-20 cm. Entretanto, na diagnose da folha bandeira do arroz, os benefícios da calagem foram observados apenas nas concentrações de N e Mg, tendo ocorrido diminuição nas concentrações foliares de Ca. Esse efeito não era esperado e, talvez, possa ter corrido pela competição na absorção de cátions pelas plantas.

Na camada de 0-20 cm, a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ passou de 2,8, na ausência de calcário, para 1,8, na maior dose de calcário (7,2 t ha⁻¹); no subsolo (20-40 cm), a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ passou de 1,5, no tratamento sem calcário, para 1,0, quando a maior dose de calcário foi aplicada (7,2 t ha⁻¹). Assim, a redução ocorrida na relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo pode ter favorecido o aumento na concentração de Mg e a redução no teor de Ca na folha bandeira. Como a redução na concentração de Ca nas folhas com a calagem foi de pequena magnitude, é possível que também tenha ocorrido efeito de diluição do nutriente nos tecidos em função de maior crescimento das plantas com a calagem.

A diminuição na concentração de S na folha bandeira em função da calagem está relacionado a menor disponibilidade desse nutriente no solo na camada superficial (0-20 cm) proporcionada pela calagem.

O uso de gesso agrícola proporcionou incremento na concentração de S na folha bandeira do arroz Titan CL[®] pelo fato de aumentar a disponibilidade desse nutriente no perfil do solo analisado. Apesar da gessagem proporcionar incremento nos teores de Ca^{2+} no perfil do solo, não foi observado aumento significativo desse nutriente na diagnose da folha bandeira, possivelmente tenha ocorrido efeito de diluição do nutriente nos tecidos em função de maior crescimento das plantas com a gessagem.

6.2.4. Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na extração de nutrientes pela cultura do arroz

A aplicação de calcário dolomítico na cultura do arroz irrigado, em solo com alta saturação por Al^{3+} (53%), influenciou a extração de K, Mg e S (Tabela 7). A extração de K e S foi linearmente reduzida em função das doses de calcário aplicadas. Já, a extração de Mg pelas plantas aumentou, também de forma linear, com as doses de calcário. A extração de N, P e Ca pelas plantas não foi influenciada pela calagem.

A extração de Ca pela cultura do arroz não foi aumentada com as doses de calcário aplicadas, possivelmente devido ao solo disponibilizar Ca^{2+} na solução em quantidades suficientes para o adequado desenvolvimento das plantas com o alagamento (PONNAMPERUMA, 1972). O fato de a calagem não ter influenciado a extração de Ca pelas plantas (Tabela 7) e ter reduzido a concentração de Ca na folha bandeira (Tabela 6) demonstra que deve ter ocorrido efeito de diluição do nutriente nos tecidos da planta por ocasião da avaliação de seu teor nas folhas.

As doses de calcário aumentaram a extração de Mg pelas plantas de arroz, bem como também já havia sido observado aumento na concentração de Mg^{2+} trocável no solo e no tecido foliar com a calagem. Cabe destacar que, no presente estudo, o solo tinha níveis baixos de Mg trocável em todo o perfil ($3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Assim, a aplicação de calcário dolomítico, aumentando os teores de Mg^{2+} trocável no solo, elevou o teor de Mg nas folhas e a extração de Mg pelas plantas. Possivelmente, o aumento na extração de Mg com as doses de calcário aplicadas inibiu a extração de K pelas plantas de arroz.

As doses de gesso agrícola aumentaram linearmente a extração de P e S pelas plantas (Tabela 7). A extração de N, K, Ca e Mg não foi influenciada pela aplicação de gesso.

O aumento nos teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo ocasionado pela aplicação de gesso proporcionou maior extração de S pela cultura do arroz irrigado. O aumento na extração de P pela cultura do arroz com a aplicação de gesso pode ter sido decorrente de maior exploração do volume de solo em razão de maior crescimento radicular das plantas, e pelo fato de o gesso conter resíduo de P em sua composição.

Tabela 7: Extração dos N, P, K, Ca, Mg e S pela cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL®, em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário t ha⁻¹						
	----- kg ha ⁻¹ -----					
0	139,9	80,6	232,7	29,6	16,7	24,7
2,4	160,9	84,8	236,3	28,1	20,4	20,0
4,8	137,4	71,9	206,2	22,4	19,0	17,4
7,2	144,4	74,7	211,2	26,4	21,6	17,6
Efeito	ns	ns	L**	ns	L*	L**
C.V. (%)	23,8	26,5	5,9	24,4	16,3	13,0
Gesso t ha⁻¹						
0	140,2	70,6	216,2	26,9	20,0	17,7
2	145,2	76,5	220,5	24,2	18,0	18,7
4	146,5	79,1	222,6	27,3	20,3	20,9
6	150,6	85,9	227,1	28,0	19,6	22,2
Efeito	ns	L**	ns	ns	ns	L**
C.V. (%)	12,8	16,9	12,9	24,9	21,6	13,21

L: efeito linear por regressão polinomial; **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: não significativo.

6.2.5. Efeitos da calagem e da aplicação de gesso na exportação de nutrientes pela cultura do arroz

Os teores de Ca nos grãos de arroz irrigado foram aumentados, conforme o modelo quadrático, com as doses calcário aplicadas (Tabela 8). Os teores de N, P, K, Mg e S nos grãos de arroz não foram influenciados pelo uso de calcário dolomítico (Tabela 8).

Os teores de P, K e Ca nos grãos de arroz aumentaram, de acordo com o modelo quadrático, em função das doses de gesso (Tabela 8). Os teores de S nos grãos foram linearmente aumentados com as doses de gesso. Os teores de N e Mg nos grãos não foram influenciados pelo uso de gesso (Tabela 8).

Tabela 8: Teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de arroz irrigado, híbrido Titan CL®, em função da aplicação de calcário dolomítico e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário t ha⁻¹						
	----- g kg ⁻¹ -----					
0	13,0	4,9	2,62	0,23	0,93	0,34
2,4	12,8	4,5	1,82	0,37	0,79	0,34
4,8	11,5	4,2	1,98	0,27	0,73	0,31
7,2	12,6	6,8	3,42	0,22	1,09	0,30
Efeito	ns	ns	ns	Q**	ns	ns
C.V. (%)	15,5	22,8	18,7	19,6	22,7	17,2
Gesso t ha⁻¹						
0	12,3	4,2	1,98	0,26	0,79	0,27
2	12,8	6,1	2,83	0,31	1,06	0,33
4	12,6	5,1	2,56	0,28	0,84	0,32
6	12,4	5,0	2,48	0,24	0,84	0,37
Efeito	ns	Q**	Q**	Q**	ns	L**
C.V. (%)	10,2	19,3	20,1	9,2	27,5	17,5

Q: efeito quadrático por regressão polinomial; L: efeito linear por regressão polinomial; **: $p < 0,01$ e ns: não significativo.

Considerando a exportação dos nutrientes pela colheita dos grãos de arroz, as doses de calcário não influenciaram a exportação de N, P, K e Mg, aumentaram a exportação de Ca de forma quadrática e diminuíram linearmente a exportação de S (Tabela 9).

As doses de gesso aumentaram a exportação de K, Ca e Mg, conforme o modelo quadrático, e a de S, de forma linear (Tabela 9). A exportação de N e P não foi influenciada pelo uso de gesso (Tabela 9).

As alterações observadas na exportação de nutrientes pela cultura do arroz irrigado foram ocasionadas em resposta às alterações no solo proporcionadas pela calagem e aplicação de gesso. O incremento de Ca^{2+} no solo com as aplicações de calcário e gesso aumentou a concentração de Ca nos grãos e sua exportação pela colheita. O decréscimo na exportação de S com a calagem e o aumento na exportação de S com a aplicação de gesso também estão ligados ao fato de a calagem diminuir, e o gesso aumentar, a disponibilidade de S-SO_4^{2-} no solo.

Tabela 9: Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pela cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL®, em função da aplicação de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Calcário t ha⁻¹						
	----- kg ha ⁻¹ -----					
0	89,3	33,4	17,9	1,55	6,3	2,3
2,4	95,4	34,6	13,6	2,74	5,8	2,5
4,8	75,1	29,1	13,1	1,72	4,8	2,0
7,2	88,7	43,0	23,9	1,46	7,6	2,1
Efeito	ns	ns	ns	Q**	ns	L*
C.V. (%)	19,7	34,0	21,9	24,1	20,7	14,9
Gesso t ha⁻¹						
0	80,5	28,3	13,1	1,69	5,3	1,7
2	87,6	39,8	19,4	2,12	7,2	2,2
4	91,3	36,7	18,3	1,93	6,0	2,3
6	89,1	35,2	17,7	1,74	6,0	2,7
Efeito	ns	ns	Q**	Q**	Q*	L**
C.V. (%)	14,0	34,2	22,5	12,5	27,9	21,3

L: efeito linear por regressão polinomial; Q: efeito quadrático por regressão polinomial; **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: não significativo.

O uso do gesso agrícola melhorou a eficiência do uso de nutrientes pela cultura do arroz, possivelmente pelo efeito de melhoria nas concentrações de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} no perfil do solo, causando aumento na área radicular e, conseqüentemente, na zona de oxidação de nutrientes da rizosfera, favorecendo a absorção de nutrientes.

Cabe destacar que, mesmo o solo apresentando teor de S-SO_4^{2-} (13 mg dm⁻³) acima do nível crítico para a cultura do arroz irrigado (10 mg dm⁻³) (SOSBAI, 2018), houve resposta positiva da aplicação de gesso na nutrição de S das plantas.

6.2.6. Efeitos da calagem no rendimento de matéria seca da parte aérea e na produtividade do arroz

O rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado não foi influenciado pela aplicação de calcário (Figura 23). O rendimento médio de matéria seca da parte aérea foi de 16556 kg ha⁻¹.

As doses de calcário também não influenciaram a produtividade de grãos de arroz irrigado (Figura 24). A produtividade média alcançada no experimento foi de 6931 kg ha⁻¹. Essa produtividade esteve próxima e um pouco abaixo da média encontrada no Estado de Santa Catarina nessa safra (7850 kg ha⁻¹) (CONAB, 2019).

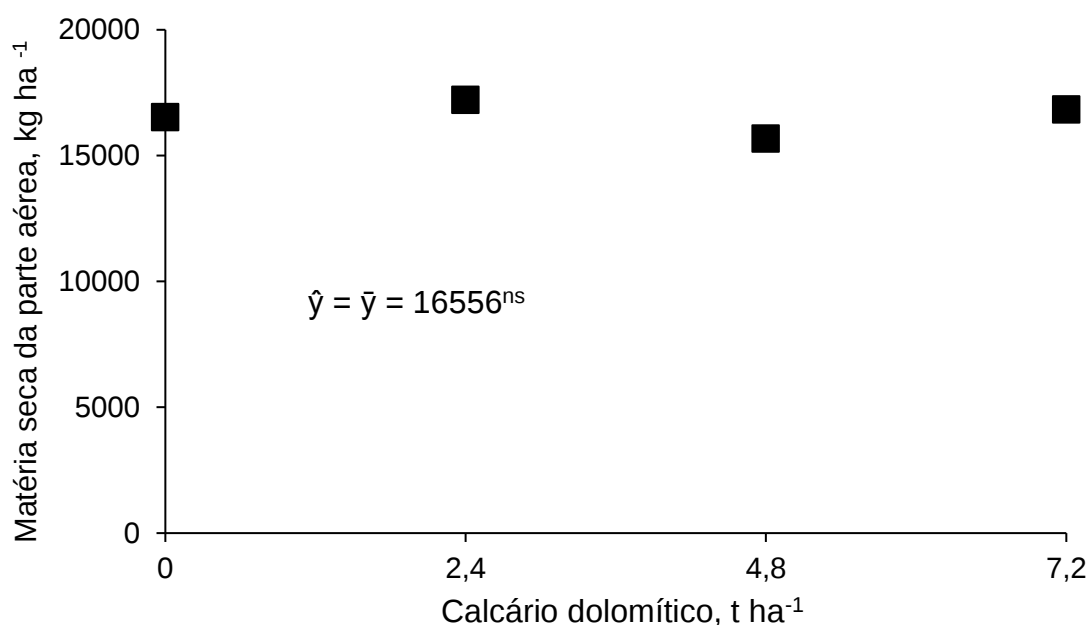


Figura 23: Rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de doses de calcário. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

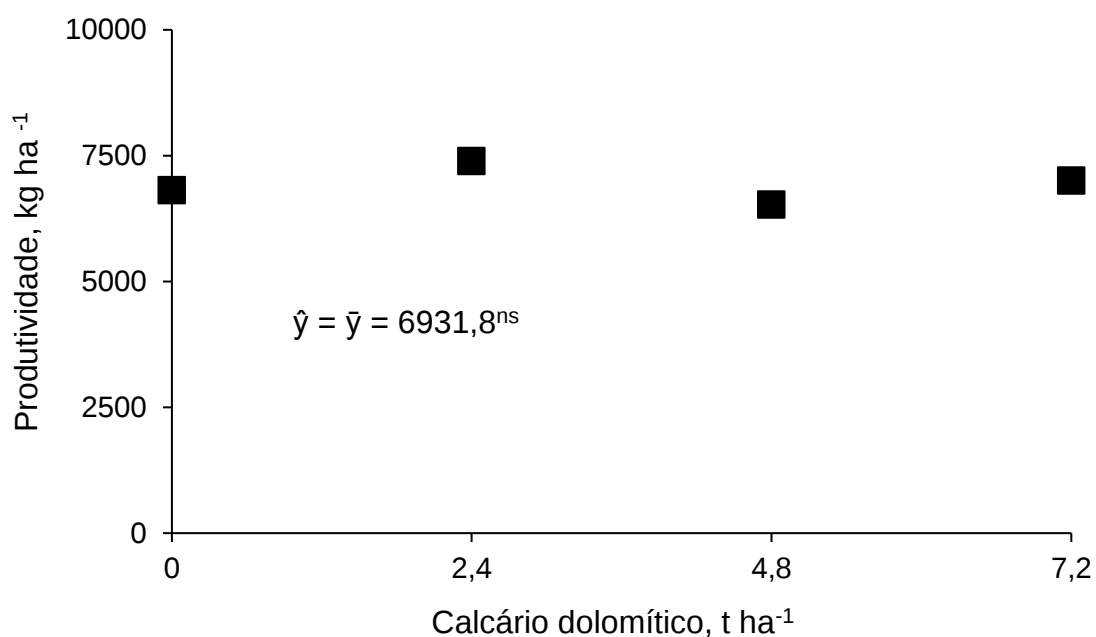


Figura 24: Produtividade de grãos de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de doses de calcário. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Ausência de resposta da calagem no rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado também foi relatada por Schmidt e Gragantini (1970), Wielewicky et al. (1998) e Brancher et al. (1998).

No presente estudo, esperava-se resposta positiva na produtividade de grãos do arroz irrigado Titan CL[®] com a aplicação de calcário dolomítico para a correção da acidez do solo, devido ao fato de o solo apresentar alta saturação por Al^{3+} e baixos níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis. No entanto, isso não ocorreu. Apesar da calagem corrigir a acidez e disponibilizar Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, o rendimento de matéria seca da parte aérea e a produtividade de grãos não foram influenciados pela aplicação de calcário. A ausência de resposta da cultura do arroz irrigado à calagem, mesmo com baixos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ($11 \text{ mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$) pode ser atribuída ao aumento na disponibilidade destes nutrientes após o alagamento (PONNAMPERUMA, 1972).

Outros estudos com aplicação de calcário na cultura do arroz irrigado também mostraram o mesmo comportamento de a cultura não responder em produtividade de grãos à calagem (LEITE et al., 1970; SCHMIDT e GARGANTINI, 1970; MANZATTO, 1990; BRANCHER et al., 1998), em razão da tolerância do arroz à acidez do solo (FAGERIA, 2000; 2015). Moraes e Dynia (1992) também concluíram que a calagem não influenciou a produtividade do arroz irrigado em solo Gley Pouco Húmico.

Por outro lado a calagem mostrou ser eficiente na correção da acidez do solo e na melhoria de fertilidade já nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Sendo assim, não é descartada a necessidade de calagem em arroz irrigado, principalmente quando forem utilizadas cultivares mais sensíveis à acidez do solo, visto que existem níveis de tolerância de acidez diferentes entre cultivares de arroz (FAGERIA, 1984; 2000; 2015).

6.2.7. Efeitos da aplicação de gesso no rendimento de matéria seca da parte aérea e na produtividade do arroz

A aplicação de gesso agrícola não alterou o rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado (Figura 25). O rendimento médio de matéria seca da parte aérea foi de 16556 kg ha^{-1} .

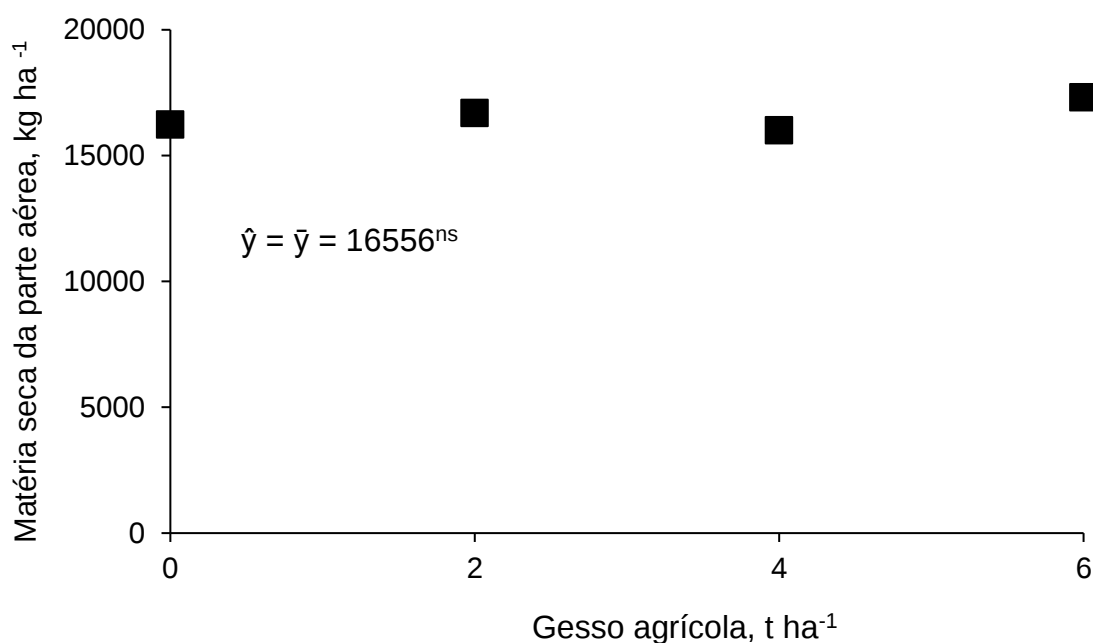


Figura 25: Rendimento de matéria seca da parte aérea da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL[®], em função da aplicação de gesso agrícola. ns: não significativo. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

As doses de gesso agrícola aplicadas em superfície e sem incorporação aumentaram a produtividade de grãos de arroz irrigado, conforme o modelo *Linear Response Plateau* (Figura 26). De acordo com a equação de regressão ajustada, a produtividade de grãos de arroz irrigado aumentou linearmente em 168,36 kg de grãos por tonelada de gesso aplicada até a dose de 3,7 t ha⁻¹ e, a partir dessa dose, a produtividade de arroz estabilizou-se em 7151 kg ha⁻¹ de grãos (*“Plateau”*). Assim, o uso de gesso agrícola apresentou incremento na produtividade em torno de 630 kg ha⁻¹ de grãos de arroz quando foram aplicadas 3,7 t ha⁻¹ de gesso, ou seja, um ganho de cerca de 13 sacos de 50 kg de grãos de arroz por hectare.

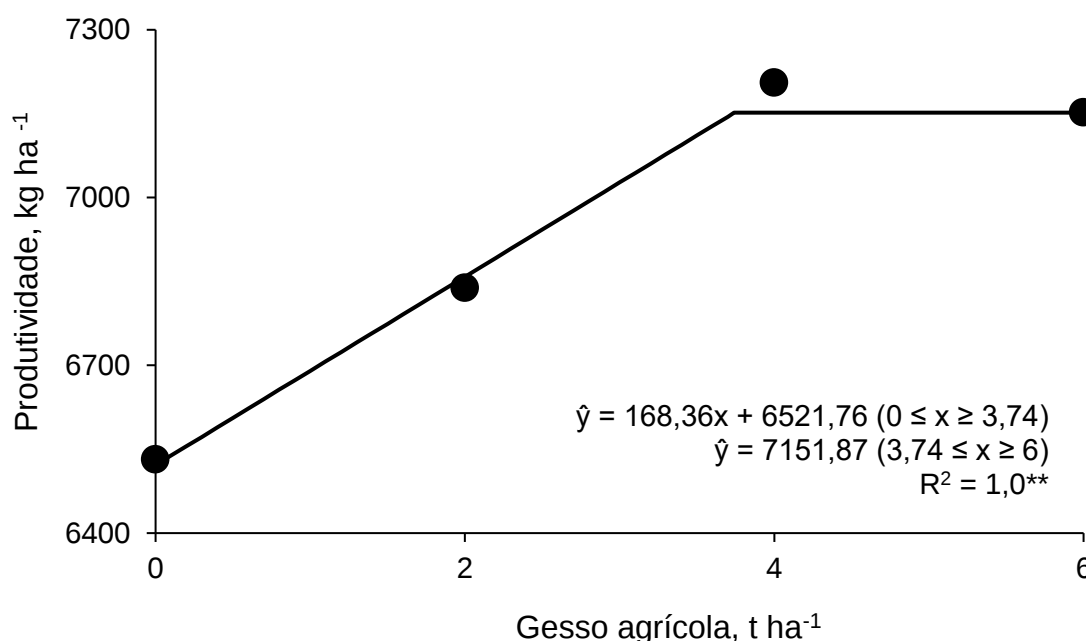


Figura 26: Produtividade de grãos de arroz irrigado (Titan CL[®]) em função da aplicação de gesso agrícola. Safra 2017/18. **: $p < 0,01$. Praia Grande - SC.

Visto que o arroz é uma cultura tolerante à acidez do solo (FAGERIA, 2000), o uso de gesso agrícola mostrou ser uma técnica eficiente em proporcionar aumento na produtividade de grãos de arroz irrigado por inundação, mesmo em solo com alta saturação por Al^{3+} (53%).

O que aparenta estar envolvido no aumento de produtividade de grãos de arroz com o uso de gesso são os aumentos nos níveis de Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo. A melhoria na disponibilidade de Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ ocorreu já nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Porém, os benefícios do uso de gesso no cultivo de arroz irrigado foram mais amplos, ocasionando aumentos nas concentrações de S na folha bandeira e nos grãos, nas concentrações de Ca e K nos grãos, na extração de P pelas plantas e na concentração de P nos grãos. O solo desse estudo, com baixa concentração por Ca^{2+} e Mg^{2+} e alta saturação por Al^{3+} , foi beneficiado quimicamente em todo o perfil com o uso de gesso, resultando em resposta positiva na nutrição das plantas e na produtividade de grãos. Esses resultados mostraram que o gesso agrícola tem grande potencial de utilização na produção de arroz irrigado no Estado de SC.

6.2.8. Efeitos da calagem e da aplicação de gesso nos componentes de rendimento da cultura de arroz

O número de Perfilhos e panículas por m², o peso de 1000 grãos (PMG), o número de grãos por panícula (G/P), o número de grãos cheios por panícula (GC/P) e peso por panícula não foram influenciados pela aplicação de calcário (Tabela 10). Os resultados desse estudo em relação à ausência de resposta dos componentes de rendimento à aplicação de calcário dolomítico estão de acordo com os observados por Leite et al. (1970), os quais não observaram nenhum efeito da calagem no número de panículas na cultura do arroz irrigado, em experimento realizado em 13 localidades.

As doses de gesso aumentaram linearmente o número de panículas por m² e o PMG e, de forma quadrática, a G/P, GC/P e o peso por panícula (Tabela 10). A aplicação de gesso não influenciou o número de perfilhos por metro quadrado. De acordo com Fornasieri Filho e Fornasieri (1993), a produção da cultura de arroz é determinada por quatro componentes: número de panículas por m², número de espiguetas por panícula, porcentagem de espiguetas férteis e peso de 1000 grãos.

Tabela 10: Componentes de rendimento da cultura de arroz irrigado, híbrido Titan CL®, em função da aplicação de doses de calcário e gesso. Safra 2017/18, Praia Grande - SC.

Tratamentos	Perfilhos	Panículas	PMG ¹	G/P ²	GC/P ³	Peso/P ⁴
Calcário t ha⁻¹	nº m ⁻²	nº m ⁻²	g	Un.	Un.	g
0	475,7	303	27,8	135	112	3,1
2,4	470,5	293	27,8	135	112	3,1
4,8	450,0	283	27,8	141	117	3,3
7,2	435,2	292	27,4	144	117	3,2
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	13,0	6,9	2,2	9,2	9,5	9,2
Gesso t ha⁻¹						
0	461,4	275	27,4	138	111	3,0
2	461,0	285	27,7	145	120	3,3
4	470,5	292	27,8	142	118	3,3
6	438,6	319	27,9	129	108	3,0
Efeito	ns	L**	L*	Q*	Q**	Q**
C.V. (%)	18,2	9,5	2,2	10,2	8,7	9,3

¹Peso de 1000 grãos; ²Número de grãos por panícula; ³Número de grãos cheios por panícula;

⁴Peso por panícula. L: efeito linear por regressão polinomial; Q: efeito quadrático por regressão polinomial; **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: não significativo.

Os resultados obtidos de componentes de rendimento ajudam a explicar a resposta positiva do arroz irrigado à aplicação de gesso agrícola, pois o uso de gesso aumentou o número de panículas por m², o peso por panícula, o número de grãos

cheios por panícula e o peso de 1000 grãos. Zaffaroni et al. (1998) correlacionaram o rendimento de grãos com os componentes de rendimento de nove genótipos de arroz irrigado e verificaram que o número de grãos férteis por panícula e o peso de 1000 grãos foram os componentes de rendimento que mais afetaram a produtividade de grãos. Soratto et al. (2010) também verificaram aumento no número de panículas por m² do cultivar de arroz de sequeiro Caiapó com a aplicação de gesso e atribuíram esse resultado ao maior crescimento radicular das plantas. Já, no estudo de Durigon et al. (2009), a produtividade de grãos esteve correlacionada positivamente com o número de panículas por m².

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dois híbridos de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo tiveram comportamentos semelhantes em função da aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola, em dois solos com características químicas diferentes em relação à acidez. O solo do primeiro estudo tinha altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e baixa saturação por Al^{3+} , enquanto que o solo do segundo estudo tinha baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e alta saturação por Al^{3+} .

No sistema de cultivo mínimo, o arroz é semeado em solo drenado e a inundação ocorre aproximadamente 30 dias após a emergência das plântulas. Os híbridos de arroz utilizados nesse estudo não responderam positivamente à correção de acidez do solo por meio da aplicação de calcário dolomítico, mostrando que a calagem em arroz irrigado é uma prática desnecessária, independentemente das condições de acidez do solo. Por outro lado, a calagem foi eficiente em corrigir a acidez do solo e disponibilizar Ca^{2+} e Mg^{2+} já no início do desenvolvimento da cultura. Como existem diferenças entre cultivares de arroz em relação à sua tolerância à acidez do solo (FAGERIA, 2015), a calagem pode ter comportamento de resposta diferente quando forem utilizados cultivares arroz irrigado mais sensíveis à acidez do solo.

O uso de gesso agrícola mostrou potencial de uso na produção de arroz irrigado, independentemente do solo utilizado, proporcionando melhoria na fertilidade em todo o perfil do solo, aumentando a eficiência de uso dos nutrientes e o rendimento de grãos já no primeiro ano de cultivo após a aplicação do gesso. No primeiro experimento, com maior tempo de avaliação (três cultivos consecutivos de arroz), foi possível observar que o efeito residual do gesso continuou proporcionando incremento na produtividade de grãos de arroz.

Como todo o Estado de Santa Catarina apresentou concentração de S na folha bandeira da cultura do arroz irrigado em nível de deficiência (SCMIDT, 2018), o gesso agrícola demonstrou ser uma fonte de S com grande potencial de uso na cultura do arroz irrigado, independentemente do nível de acidez do solo.

O aumento na produtividade de grãos de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo em resposta ao uso de gesso parece estar relacionado com os aumentos de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} no perfil do solo.

8. CONCLUSÕES

1. Os efeitos da calagem e da aplicação de gesso nos atributos químicos do solo, na nutrição das plantas, nos componentes de rendimento e na produtividade de grãos de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo foram independentes, em solo com baixa ou alta saturação por Al^{3+} .
2. A aplicação de calcário dolomítico foi eficiente em corrigir a acidez do solo, aumentar os teores trocáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} e diminuir a concentração de Al^{3+} na camada de incorporação, mas não ocasionou benefícios na produtividade de grãos de arroz, independentemente das condições de acidez do solo e de saturação por Al^{3+} .
3. No cultivo de arroz irrigado em sistema cultivo mínimo com híbridos de alto potencial produtivo, a correção da acidez do solo por meio da aplicação de calcário dolomítico mostrou ser desnecessária, independentemente do nível de acidez e de saturação por Al^{3+} .
4. A aplicação de gesso agrícola aumentou os teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} no perfil do solo (0-60 cm), proporcionou melhor aproveitamento dos nutrientes e aumentou a produtividade de grãos de arroz, tanto em solo com baixa saturação por Al^{3+} como em solo com alta saturação por Al^{3+} na camada superficial (0-20 cm).
5. O número de panículas por m^2 , o peso de 1000 grãos, o número de grãos por panícula, o número de grãos cheios por panícula e o peso por panícula foram aumentados com a aplicação de gesso agrícola.
6. O uso de gesso agrícola mostrou ser uma prática com grande potencial para aumentar a produtividade de grãos de arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo.

9. REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; LUND, Z.F. Effects of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, v.101, p.193-198, 1966.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos do solo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 29:928-935, 2005.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 36:695-702, 2001.
- AMARAL A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS R.; BERTOL I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:359-367, 2004
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2014.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, p.104, 2017
- ARAÚJO, F.S.; SALVIANO, A.A.C.; COELHO FILHO, A. D. Alteração nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo pela calagem superficial em área sob cultivo de manga. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 753-760, out./dez. 2009.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxidade de ferro em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 18:903-910, 1983.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Aspectos Agro-econômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v9, n.11, p.1657-1667, nov. 1994.
- BLUM, C. S.; CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 279-300, 2013.
- Braga, J.M. Avaliação da fertilidade do solo: ensaios de campo. Viçosa: Editora da UFV, 1983.
- BRANCHER, A.; CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.S. Adubação orgânica e mineral e calagem influenciando o rendimento do arroz irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.33, n.4, p.397-403, abril, 1998.
- CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.193-202, 1993.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, v.59, p. 213-220, 2000.

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, 2001a.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1029-1040, 2001b.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia agrícola**, v. 59, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

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.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.63, n.5, p.502-509, 2006.

CAIRES, E.F.; PEREIRA FILHO, P.R.S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use Management**. V. 24, p. 302–320, 2008.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1804–1814, 2011a.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil and Use Management**, Oxford, v. 27, p. 45-53, 2011b.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.G.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A.W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 209-216, 2011c;

CAIRES, E.F.; HALISKI, A.; BINI, A.R.; SCHARR, D.A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**. V.66, p. 41-53, 2015.

CAIRES, E.F.; FILHO, R.Z.; BARTH, G.; JORIS, H.A.W. Optimizing Nitrogen Use Efficiency for No-Till Corn Production by Improving Root Growth and Capturing NO₃-N in Subsoil. **PEDOSPHERE**, v. 26, p. 474-485, 2016.

CAIRES, E.T.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **Informações Agronômicas**, Nº154 – junho/2016.

CAMARGO, F.A.O., SANTOS, G.A., ROSSIELLO, R.O.P., et al. Produção de ácidos orgânicos voláteis pela planta de arroz sob condições anaeróbias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 337-342, 1993.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: Rail, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (Eds.) Análise química para avaliações da fertilidade de solos tropicais. **Campinas: Instituto Agrônomo**, P. 225 – 230, 2001.

CARMONA, F.C.; CONTE, O.; FRAGA, T.I.; BARROS, T.; PULVER, E.; ANGHINONI, I.; Disponibilidade no solo, estado nutricional e recomendação de enxofre para o arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 33:345-355, 2009.

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, 192:37-48, 1997.

CATANI, R.A.; GLÓRIA, N.A.; VITTI, G.C. Adsorção De Sulfato Pelo Solo. **Anais da E.S.A. “Luiz de Queiroz”**, volume XXVIII, 1971.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 573-582, 1984.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 394 p.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas**. 2019.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119–132, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p. 87–99, 2016.

DALLA NORA, D. D.; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v.105, p.1393-1403, 2013.

DE MARIA, I.C.; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia agrícola**, Piracicaba, 50(1):87-98, 1993.

DIAZ, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. **Comunicado técnico**, ISSN 0103-9407, N°7, p. 1-6, maio, 1992.

DUARTE, A.P.; QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; FURLANI, P.R.; KANTHACK, R.A.D. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro à calagem. **Bragantia**, Campinas, v.58, p.353-361, 1999.

DURIGON, R.; SCHLOSSER, J.F.; RUSSINI, A.; DORNELLES, M.E.C.; PINHEIRO, E.D. Correlação entre atributos químicos do solo e atributos da cultura e da produtividade de arroz irrigado determinadas com técnicas de manejo localizado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2629-2633, dez, 2009,

DYNIA, J.F.; MORAES, J.F. Calagem, adubação com micronutrientes e produção de arroz irrigado e feijoeiro em solo de várzea. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v.33, n.6, p.831-838, jun. 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P.; LOPES, A.M. Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósforo, zinco e calcário. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1:72-76, 1977.

FAGERIA, N.K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.1-9, 1982.

FAGERIA, N.K. Resposta de cultivares de Arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 19 (7): 883-889, jul. 1984.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2303-2307, 2000.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 11, p. 1419- 1424, nov. 2001.

FAGERIA, N.K.; DOS SANTOS A.B.; Moraes M.F. Influence of Urea and Ammonium Sulfate on Soil Acidity Indices in Lowland Rice Production, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 41:13, 1565-1575, 2010.

FAGERIA, N.K.; MORAIS, O.P.; CARVALHO, M.C.S.; COLOMBARI FILHO, J.M. Upland Rice Genotype Evaluations for Acidity Tolerance. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 2015

FERREIRA, R.P.; SALGADO, L.T.; JORGE, H.D. Tolerância de cultivares de arroz ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.1257-1260, 1986.

FIDALSKI, J.; TORMENTA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 235-247, 2005.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. 220p.

FREIRIA, A.C.; MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; DA CRUZ, C.P.; YAGI R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Science**. Agron. Maringá, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.

GIEHL, A.L.; PADRÃO, G.; ELIAS, H.T.; ALVES, J.R.; GUGEL, J.T.; JUNIOR, R.G.; MARCONDES, T. **BOLETIM AGROPECUÁRIO Nº 64**, Epagri, setembro, 2018.

GROOT, T.T.; BODEGOM, P.M.; MEIJER, H.A.J.; HARREN, F.J.M. Gas transport through the root-shoot transition zone of rice tillers. **Plant and Soil**, 277:107-116, 2005.

GUINDANI, R.H.P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G.R.; DRIS NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:109-118, 2009.

INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 231, p. 156–165, 2016.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Dados históricos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/index>. Acesso em: 10 dezembro 2018, 18:05.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Boletim técnico da lavoura de arroz safra 2017/18**. Porto Alegre, julho, 2018.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISKI, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant and Soil**, v. 365, p. 409–424, 2013.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; SCHARR, D. A.; BINI, A. R.; HALISKI, A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 162, p. 68–77, 2016.

JOSH, R.; KUMAR, P. Lysigenous aerenchyma formation involves non-apoptotic programmed cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. **Physiol Mol Biol Plants**, 18(1):1-9, 2012.

LEITE, N.; GARGANTINI, H.; HUNGRIA, L.S.; IGUE, T. Efeito do nitrogênio, fósforo, calcário e micronutrientes em cultura de arroz irrigada no vale d Paraíba. **Bragantia**, Campinas, v.29, n.25, 1970.

LUXMOORE, R.J., STOLZY, L., LETEY, J. Oxygen diffusion in the soil plant system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 317-322, 1970.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MANZATTO, H.R.H., SANTOS, G.A., VELLOSO, A.C.X., et al. Influência da mistura de material de horizontes de glei pouco húmico no EH e no pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 21-25, 1994.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern, Suíça: **International Potash Institute**, 1978. 593p.

MICHALOVICZ, L.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R.; KRAMER, L.F.M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1496-1505, 2014.

MORAES, J.F.; DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo gley pouco húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 27(2):223-235, fev, 1992.

MORAES, J.F.; DYNIA, J.F. Adubação, calagem, disponibilidade de nutrientes e produção de arroz e feijão em solo nivelado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.33, n.9, p.1443-1449, set. 1998,

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, ed.2, 2006.

NORMAN, A.L.; GIESEMAN, A.; KROUSE, H.R.; JAGER, H.J. Sulphur isotope fractionation during Sulphur mineralization: results of an incubation-extraction with a Black Forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, p.1425-1438, 2002.

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p. 915-918, 1985.

OLIVEIRA, S.A.; CAVARIANI, C.; SILVA, E.C.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Efeito da calagem e gessagem superficiais na produção e qualidade de sementes de arroz em sistema de plantio direto. **Cultura Agrônômica**, v.18, nov., 2009.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research, Amsterdam**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495–505, 2014.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**, v.46, p.993-997, 1982.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, p. 86-91, 1994.

PEEL, M. C. et al. Update world map of the Köppen– Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, p.1633-1644, 2007.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advanced Agronomy**. Agron. 24, 29–96, 1972.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Resposta da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.375-383, 1993.

RAIJ, B.Van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no solo. São Paulo, **Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas**, 1988, 111p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba-SP, 2011. 420p.

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, Oct. 2011.

RAMPIM, L. et al. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. Semina: **Ciências Agrárias**, v.34, p.1623-1638, 2013.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, Pretoria, v. 4, p. 1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 797-805, 2000.

RITCHEY, K.D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, 72:40-44, 1980.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI-FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.491-497, 1994.

SAUTER M. Rice in deep water: “How to take heed against a sea of troubles?” **Naturwissenschaften**, 87:289–303, 2000.

SCMIDT, F. Avaliação do estado nutricional para o arroz irrigado em Sistema de cultivo pré-germinado. **XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo**, Xanxerê, abril, 2018.

SCHMIDT, N.C.; GARGANTINI, H. Efeito da aplicação de calcário, matéria orgânica e adubos minerais em cultura de arroz, em solo de várzea irrigada. **Bragantia**, v.29, n.27, 970.

SHAINBERG, I; SUMNER, E.; MILLER, W. E.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils: A review. **Advances in Soil Science**, v.9, 1989, 111p.

SILVA, F. S.; RANNO, S. K.; Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.5, p.1054-1061, set-out, 2005.

SOMAVILLA, L.; PINTO, M.A.B.; BASSO, C.J.; DA ROS, C.O.; SILVA, V.R.; BRUN, T.; SANTI, A.L. Response of soybean and corn to soil mechanical intervention and agricultural gypsum application to the soil surface. **Semina: Ciências Agrárias.**, v. 37, p. 95-102, 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 261-270, 2008.

SORATTO, R.P., CRUSCIOL, C.A.C., Chemical soil attributes as affected by lime and phosphogypsum surface application in a recently established no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32, 675–688. 2008b.

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**, Campinas, v. 69, n. 4, p.965-974, 2010.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, Farroupilha, RS. 2018. 205 p., II.

SOUZA, R.O.; VAHL, L.C.; OTERO, X.L. Química de solos alagados. p. 485-528. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo - Parte II: Aplicações**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais, 2009.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface application of gypsum. **Soil Science Society American Journal**, v.50, p.1254-1278, 1986.

TAIZ, Lincoln et al (Ed.). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de Solo, plantas e outros materiais. **Boletim Técnico**, 2 ed, Porto Alegre, 1995, 174p.

THOOMSON, C.J.; GREENWAY, H. Metabolic evidence for stelar anoxia im maize roots exposed to low O₂ concentrations. **Plant Physiol**, p.1294-1301, 1991.

TOMA, M., SUMNE, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.891-895, 1999.

VAHL, L.C.; LOPES, S.I.G. Nutrição de plantas. In: PESQUE, S.T. et al. (Eds). **Produção de arroz irrigado**, Pelotas, p.149-206, 1998.

VICENSI, M.; MÜLLER, M.M.L.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R.; MICHALOVICZ, L.; LOPES, C. Do rates and splitting of phosphogypsum applications influence the soil

and annual crops in a no-tillage system? **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p. 1-17, 2016.

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

VITTI, G.C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 30p.

WAINWRIGHT, M. **Sulfur oxidation in soils**. Advanced in Agronomy, v.37, 1984.

WIELEWICK, A.P.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início de irrigação. **Ciência Rural**. Santa Maria, V.28, n.1, p.17-21, 1998.

ZAFFARONI, E.; TERRES, A.; BEVILAQUA, G.A.P.; ROBAINA, A.D.; DE LIMA, D.; DA SILVA FILHO, P.M.; LOPES, R. Análise de caminho nos componentes de rendimento de genótipos de arroz no solo no Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.43-48, 1998.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Liming and ionic speciation an oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, v.65, n.2, p.190-203, March/April 2008.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 128–137, 2015.