

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

MICHAEL BATISTA JEDE

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES
FONTES E DOSES DE CORRETIVOS DE SOLO**

Santa Maria, RS
2023

Michael Bastista Jede

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES E
DOSES DE CORRETIVOS DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agricultura de Precisão, do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS
2023

Iede, Michael Batista

PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES
E DOSES DE CORRETIVOS DE SOLO / Michael Batista Iede.-
2023.

52 f.; 30 cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. Agricultura de precisão 2. Corretivo de solo 3.
Nutrição 4. Aplicação em superfície I. Zucuni Pes, Luciano
II. Título.

Michael Bastista Jede

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES E
DOSES DE CORRETIVOS DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agricultura de Precisão, do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 30 de junho de 2023

Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ivan Carlos Maldaner, Dr. (UFSM)
(Examinador)

Adilson Jauner, Dr. (Cultiva Soluções Agropecuárias)
(Examinador)

Santa Maria, RS
2023

DEDICATÓRIA

*Dedico à conclusão desta Dissertação
Aos meus Pais,
Os quais sempre me ajudaram e apoiaram muito.
Dedico ao laboratório e grupo de pesquisa Advanced Farm 360, os membros da banca
deste trabalho.
Dedico a empresa TMF Fertilizantes, que disponibilizou os insumos para montagem do
experimento deste trabalho.*

Meu muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Dedico à conclusão desta Dissertação

Aos meus Pais, amigos, Grupo do laboratório da Equipe Luciano Pes, Advanced Farm 360, Veronica Fuzer Guarienti, Luiz Felipe Pavão e demais integrantes os quais sempre me ajudaram e apoiaram muito. Agradeço ao formando em agronomia Mayferson Rotta Schlickmann que auxiliou na colheita. Dedico este trabalho ao meu amigo Marton Matana (In Memoriam), que, sempre me incentivou e torceu para o sucesso do nosso grupo de amizades. Sem muitas palavras, dedico a banca desta dissertação meu agradecimento por fazer parte desta etapa de minha vida acadêmica profissional. Obrigado pela vida e pela escolha na área agrônômica que segui, do qual fiz minha profissão, com muito orgulho e dedicação.

Muito Obrigado!

*O saber a gente aprende com os mestres
e os livros. A sabedoria se aprende é
com a vida e com os humildes.*

(Cora Coralina)

RESUMO

PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE CORRETIVOS DE SOLO

AUTOR: Michael Batista Jede
ORIENTADOR: Luciano Zucuni Pes

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação em superfície de doses de corretivos em diferentes CTC pH 7. O ensaio foi conduzido no ano agrícola 2021 - 2022, na Área Nova da Universidade Federal de Santa Maria, localizada no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos e três repetições. O trabalho consistiu nos seguintes tratamentos: T1 (Calcário 3000 kg ha⁻¹), T2 (Testemunha absoluta), T3 (200 kg ha⁻¹ de Calsite), T4 (400 kg ha⁻¹ de Calsite), T5 (800 kg ha⁻¹ de Calsite), T6 (1600 kg ha⁻¹ de Calsite), aplicados em duas áreas com diferentes valores de CTC a pH 7, uma considerada alta e outra baixa. Para entender os efeitos dos tratamentos na soja a produtividade de grãos. Os dados foram analisados utilizando-se o Software R (ver. 4.0.4) com a biblioteca easyanova (ver. 7.0) e submetidos à análise de variância, sendo aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para comparação entre tratamentos. A produtividade média na área com CTCpH7 alta foi de 3240,3 kg ha⁻¹ e na área com CTCpH7 baixa foi de 1608,7 kg ha⁻¹. O tratamento T6 (Calsite, 1600 kg ha⁻¹), apresentou maior média na produtividade de grãos na área com CTC pH 7 alta, no entanto, essa não diferiu dos demais tratamentos, ainda que tenha sido observada uma diferença de 8,44 sc ha⁻¹ a mais que os demais. Na área com CTC pH 7 baixa houve diferença significativa, sendo a maior produtividade observada no T4 (Calsite, 400 kg ha⁻¹). Todos os tratamentos apresentaram bons incrementos em relação à testemunha na produtividade de grãos. Esses resultados demonstram que a nutrição com cálcio é primordial para a obtenção de incrementos produtivos na soja. A aplicação de Calsite se mostrou mais eficiente que a de calcário. O manejo de construção de fertilidade do solo e elevação da CTC pH 7 é primordial para altas produtividades de soja, além da melhorar a reposta da cultura a efeitos de estresse hídrico.

Palavras-chave: Corretivo de solo. Nutrição. Aplicação em superfície.

ABSTRACT

SOYBEAN PRODUCTIVITY AS A FUNCTION OF DIFFERENT SOURCES AND DOSES OF SOIL IMPROVEMENTS

AUTHOR: Michael Batista Jede

ADVISOR: Luciano Zucuni Pes

The objective of this work was to evaluate the surface application of corrective doses at different CTCpH7. The test was carried out in the agricultural year 2021 -2022, at the New Area at the Federal University of Santa Maria, located in the municipality of Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS). A randomized block design was used, with six treatments and three replications. The work consisted of the following treatments: T1 (Limestone 3000 kg ha⁻¹), T2 (Absolute control), T3 (200 kg ha⁻¹ of Calsite), T4 (400 kg ha⁻¹ of Calsite), T5 (800 kg ha⁻¹ of Calsite), T6 (1600 kg ha⁻¹ of Calsite), applied in two areas with different values at CTCpH7, one considered high and the other low. To understand the effects of treatments on soybean grain yield. Data were analyzed using the R Software (ver. 4.0.4) with the easyanova library (ver. 7.0) and submitted to analysis of variance, applying the Tukey test at 5% probability of error for comparison between treatments. The average productivity in the area with high CTCpH7 was 3240.3 kg ha⁻¹ and in the area with low CTCpH7, it was 1608.7 kg ha⁻¹. The T6 treatment (Calsite, 1600 kg ha⁻¹), showed the highest average grain yield in the area with high CTCpH7, however, this did not differ from the other treatments, although a difference of 8.44 sc ha⁻¹ was observed among these. In the area with low CTCpH7, there was a difference, with the highest productivity observed in T4 (Calsite, 400 kg ha⁻¹). All treatments showed good increases in grain yield compared to the control. These results demonstrate that nutrition with calcium is essential to obtain productive increases in soybeans. Calsite application proved to be more efficient than limestone. The management of building soil fertility and raising the CTCpH7 is essential for high soybean yields, in addition to a better response of the crop to the effects of water stress.

Keywords: Soil corrective. Nutrition. Soil Science.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Visão geral da área de instalação dos ensaios. A direita, área de campo nativo com CTCpH7 alta (CN A) e a esquerda, área de campo nativo com baixa CTCpH7 (CN B). Santa Maria (RS), 2023. | 24 |
| FIGURA 2 - Visão geral do ensaio durante a condução. Santa Maria (RS), 2023. | 27 |
| FIGURA 3 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento. Precipitação, temperatura média diária e umidade média do ar. Santa Maria (RS), 2023. Fonte: adaptado de INMET. | 31 |
| FIGURA 4 - Produtividade de soja em sacas por hectare em função de doses de Calsite (0, 200, 400, 800, 1600 kg ha ⁻¹) na área de campo nativo com CTCpH7 alta – CN A. Santa Maria (RS), 2023. | 35 |
| FIGURA 5 - Produtividade de soja em sacas por hectare em função de doses de Calsite (0, 200, 400, 800, 1600 kg ha ⁻¹) na área de campo nativo com CTCpH7 baixo – CN B. Santa Maria (RS), 2023 | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria (RS), 2023. | 25 |
| TABELA 2 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria (RS), 2023. | 25 |
| TABELA 3 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria (RS), 2023. | 25 |
| TABELA 4 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria (RS), 2023. | 26 |
| TABELA 5 - Descrição dos tratamentos, doses e produtos comerciais utilizados. Santa Maria (RS), 2023. | 26 |
| TABELA 6 - Produtividade de soja da cultivar BMX Cromo para os tratamentos, nas condições de campo nativo com alta CTCpH7 (CN A) e campo nativo com baixa CTCpH7 (CN B). Santa Maria (RS), 2023. | 28 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo geral..... | 16 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.3 | HIPÓTESE | 17 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | CULTURA DA SOJA | 17 |
| 2.2 | MANEJOS PARA SOLOS ÁCIDOS: CORRETIVOS | 19 |
| 2.3 | CTC – CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS | 21 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL | 23 |
| 3.2 | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS | 26 |
| 3.3 | INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO ENSAIO | 26 |
| 3.4 | AVALIAÇÕES E ANÁLISE ESTATÍSTICA | 27 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 5 | CONCLUSÕES | 37 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |
| | APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DA VARIÁVEL REPOSTA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA DA CULTIVAR BMX CROMO SANTA MARIA, RS, 2023 | 48 |
| | APÊNDICE B - VALORES DA ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO PARA OS DADOS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA DA CULTIVAR BMX CROMO NA ÁREA CAMPO NATIVO COM CTC PH7 ALTA (CN A), SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023 | 49 |
| | APÊNDICE C - ANOVA, SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023 | 50 |
| | APÊNDICE D – ANÁLISES ESTTATÍSTICAS DOS DADOS | 51 |
| | APÊNDICE E - VISÃO GERAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E CALSITE NAS PARCELAS, SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023 | 52 |
| | APÊNDICE F - VISÃO DA ÁREA ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO. SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023 | 53 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de commodities e produtos agrícolas do mundo (USDA, 2023). Um conjunto de fatores vem tornando o Brasil uma potência do agronegócio mundial, entre eles as condições climáticas e de solo adequadas para as atividades agrícolas, e que oferecem uma série de vantagens ao país. Além disso, o constante desenvolvimento de tecnologias de produção, promovido pelos setores público e privado, tem resultado em ganhos significativos de produtividade (PEREIRA et al., 2012).

A demanda crescente por alimentos resultou em mudanças no uso e cobertura do solo, e o Brasil, por ter extensão continental, tem grande potencial de expansão de terras aráveis e campos nativos (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018; NABINGER et al., 2009). Assim, a agricultura brasileira vem crescendo com abertura de novas áreas, e conseqüentemente uma grande extensão de áreas de campo nativo está sendo convertidas em lavouras para as culturas de grãos. Assim, a conversão dessas áreas torna cada vez mais importante a utilização do sistema de plantio direto, bem como a agricultura de precisão.

No Bioma Pampa a área plantada com soja aumentou 188,5% no período de 2000 a 2015 (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018). Em 1970, a área total de campos nativos no sul do Brasil era de 18 milhões ha (NABINGER et al., 2009), e segundo Pillar et al. (2009) ocorreu um decréscimo de 25% da área total dos campos nativos nos últimos 30 anos, devido a uma forte expansão das atividades agrícolas nas culturas de grãos como milho, soja, trigo e arroz. Na década de 70, quando se iniciou o plantio direto no Brasil, o manejo adequado do campo (CALEGARI et al., 2014; TELLES; DECHEN; GUIMARAES, 2013), direcionado à manutenção da cobertura vegetal e, conseqüentemente, à proteção do solo contra a erosão hídrica e eólica, poderia impedir problemas de degradação no futuro, aliado a conversão destas áreas para o sistema de plantio direto (DAY et al., 2020; FUENTES-LLANILLO et al., 2021; KAN et al., 2020), e conseqüentemente, aumentando os rendimentos agrícolas (PAGE et al., 2019).

Com a consolidação do plantio direto, houve um grande avanço para agricultura, devido a diminuição das perdas de matéria orgânica e da lixiviação de nutrientes, devido aos processos erosivos. Este marco na agricultura trouxe muitos benefícios como a preservação da estrutura física do solo e redução de custos operacionais (FUENTES-LLANILLO et al., 2021; LOPES et al., 2020).

Juntamente com a melhoria do manejo do solo via sistema plantio direto, surge a agricultura de precisão (AP), que se refere ao manejo específico do solo e das culturas, otimizando os insumos agrícolas e minimizando os impactos ambientais dentro de um determinado objetivo de manejo (FIORIN; SILVA, 2013). Dessa forma, na tentativa de atender à expectativa recente do setor agrícola, alguns pesquisadores afirmaram que estamos vivendo a quarta revolução agrícola, mais conhecida como Agricultura 4.0 (KLERKX; ROSE, 2020).

Alguns fatores limitantes têm sido observados quando se trata de cultivos agrícolas, sendo um deles a acidez do solo, que é definida como a queda drástica do pH pela liberação de íons de hidrogênio (H^+) na solução do solo (CAIRES; JORIS, 2016). Esta modificação pode ser natural, ou ocasionada pelos manejos dos cultivos, além disso, em solos tropicais existe a problemática do alumínio (Al^{3+}), um cátion que compete fortemente pela capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. A presença desse componente no solo, torna-se um limitante para as culturas, devido ao seu efeito direto de toxidez, que causam danos severos, principalmente no crescimento das raízes e até mesmo, pelos danos indiretos, indisponibilizando outros nutrientes, como por exemplo o fósforo (CASTRO et al., 2016; CUSTÓDIO et al., 2002). A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0) é calculada pela soma dos teores de Ca^{++} , Mg^+ , K^+ , Al^{+++} e H^+ determinados na análise de solo e mensurada em $cmol_c/dm^3$. Esta representa a quantidade máxima de cargas negativas que o solo possui e que poderiam permitir a troca por cátions. A CTC a pH 7,0 é, portanto, um valor calculado a partir dos valores individuais dos cátions. Para redução dos efeitos negativos causados pelo baixo pH, tem-se encontrado alternativas, sendo uma delas o uso de corretivos de solo (COSTA et al., 2016; HOLZSCHUUC, 2007). A correção da acidez é necessária para melhorar o aproveitamento dos fertilizantes, e conseqüentemente atingir maiores produtividades das culturas exploradas, visto que a elevação do pH do solo promove aumento da disponibilidade de alguns nutrientes como o cálcio (Ca) e de magnésio (Mg). Além de que, ocasiona a insolubilização de outros, considerados tóxicos para as plantas, como Al^{3+} e manganês (Mn).

A aplicação de corretivos no solo, é comumente denominada calagem, e destaca-se como a prática mais eficiente para correção da acidez do solo, elevando a saturação de bases, o pH e os teores de Ca, e redução dos teores de Al^{3+} (CAIRES et al., 2004). Por sua vez, a eficácia da aplicação de um corretivo está relacionada ao uso da dose adequada e das características do corretivo. Como os diversos tipos de corretivos apresentam

características diferentes, torna-se importante conhecê-las, para a escolha do mais adequado em cada situação agrícola. Dessa forma, é de extrema importância conhecer a resposta das culturas em relação as aplicações de diferentes métodos de correção e tipos de corretivos, para que as plantas possam expressar seu potencial produtivo. Para isto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação em superfície de diferentes doses e corretivos de solo, em áreas com diferentes valores de CTC pH 7.

A diversidade de solo do Rio Grande do Sul afeta a relação entre o pH em água e a saturação por bases (FIORIN; SILVA, 2013). Além disso, a separação dos solos por classes de CTC melhora o entendimento da relação entre o pH em água e a saturação por bases, permitindo a utilização alternativamente dos valores de saturação por bases na tomada de decisão sobre a necessidade e na estimativa da dose de corretivos a ser aplicada bases (FIORIN; SILVA, 2013).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicação em superfície de diferentes doses e corretivos de solo, em áreas com diferentes valores de CTC pH 7.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar o impacto de doses e diferentes tipos de corretivos na produtividade de grãos da soja;
- ✓ Determinar a máxima eficiência agrônômica do uso do corretivo Calsite;
- ✓ Avaliar o efeito de doses de Calsite na produtividade da soja;
- ✓ Determinar a resposta do Calsite em diferentes CTC pH 7;
- ✓ Verificar o custo-benefício da utilização de corretivos do solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Espera-se, a partir dos resultados desse experimento determinar estratégias de manejo como: iniciar o sistema de plantio direto em áreas de campo nativo, com aplicações a lanço; reduzindo custos de incorporação e diminuindo os riscos de erosões;

através da pesquisa, extrair dados que suporte e fomente uma estratégia eficiente e com menor impacto.

1.3 HIPÓTESE

A produtividade de grãos de soja pode variar com a aplicação em superfície de diferentes doses e tipos de corretivos para solos com diferentes valores de CTC a pH7.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

Atualmente, a soja (*Glycine max* (L.) (Merrill) é a principal oleaginosa cultivada no mundo (USDA, 2023). A safra de 2022-23 no Brasil, apresentou área de semeadura 4,5% superior a safra anterior (40.950,6 mil ha) (CONAB, 2022). Contudo, a produção obtida corresponde à 124.047,8 mil toneladas, valor 2,2% inferior a safra anterior, resultando em produtividade média de 3.029 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Esta queda de produtividade, deve-se em parte ao déficit hídrico que ocorreu em determinadas regiões durante o ciclo de cultivo. Todavia, estimou-se aumento nas exportações do óleo de soja, passando de 1,8 para 2,1 milhões de toneladas, acarretando aumento no esmagamento de grãos. Estas estimativas de elevação são motivadas pelas fortes exportações do óleo de soja no período de janeiro a julho de 2022 (CONAB, 2022).

O cultivo de soja, no Brasil, ocorre em todas as regiões (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte), com destaque para os estados do Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por aproximadamente 70% da produção nacional. O estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro de soja, com quase 41 milhões de toneladas, em uma área plantada de mais de 11 milhões de hectares. Em seguida, destacam-se os estados de Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, que no ano de 2022 produziram 17,4, 12,3 e 9,1 milhões de toneladas de soja, respectivamente (CONAB, 2022).

No Rio Grande do Sul, a área cultivada com soja na safra 21/22 cresceu 1% em relação à safra anterior, atingindo 6,36 milhões de hectares, com produtividade média de 1.430 kg ha⁻¹, bem inferior à safra anterior, que foi de 3.430 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Essa perda em produção foi decorrente da estiagem e das altas temperaturas em todas as regiões gaúchas (CONAB, 2022).

A soja apresenta múltiplos usos no mercado interno e externo, seja in natura, como farelo e óleo para nutrição animal (para monogástricos – aves e suínos) e humana, além da produção de biocombustíveis (biodiesel). É rica fonte de proteína e óleo com alta qualidade e baixo custo, possuindo em sua composição cerca de 40% de proteína, 34% de carboidratos, 20% de lipídeos e 5% de minerais (ISLAM et al., 2022), torna-se uma importante commodity agrícola, devido à grande variabilidade de uso e valor nutritivo (SILVA; SARTORI; WOLLMANN, 2014).

No entanto, a produtividade da soja é afetada por diversos estresses abióticos, como temperaturas extremas, salinidade, acidez do solo, metais pesados, alagamento e ocorrência de períodos de seca (DONG et al., 2019; KUNERT; VORSTER, 2020). Sob o ponto de vista de manejo do solo, é necessário dispor de estratégias que visem minimizar as perdas de produtividade da soja frente à seca.

Altas produtividades são obtidas com condições de clima favoráveis em todo o ciclo da planta, interagindo com o manejo adequado, e a correção de solo para ocorrer maior acúmulo de matéria seca nos grãos (MARTINS et al., 1999). Neste contexto, a agricultura de precisão (AP) surgiu para agregar as atividades agrícolas mais precisas, automatizadas e independentes, favorecendo a aplicação racional de insumos, melhorando eficiência, e aumentando a produtividade (PINELLI, 2015).

Neste viés, a construção do perfil do solo proporciona condições adequadas às plantas, para que desenvolvam um sistema radicular mais profundo, permitindo que as raízes possam explorar melhor o ambiente. Assim, o reservatório de água não se limita à camada superficial do solo (0 a 20 cm). E nesse viés é preponderante a neutralização da acidez e a presença de Ca e Mg em níveis adequados no perfil do solo.

O Ca tem ação direta na formação das paredes celulares, germinação do grão de pólen, desenvolvimento dos tubos polínicos, crescimento das raízes, respiração, resistência ao estresse hídrico e a toxicidade (LIMA et al., 2018; MARSCHNER, 2012; PRIMAVESI, 2018). O Mg é responsável pela produção de energia e glicose, considerado o maior ativador enzimático, sendo importante para absorção do fósforo (P) pela planta, e participação no processo de formação da adenosina-trifosfato (ATP) durante a fotossíntese (LIMA et al., 2018; PRIMAVESI, 2018). O potássio (K) tem função de abertura e fechamento dos estômatos, respiração e fotossíntese, além de ser regulador osmótico e transportador de carboidratos, proporcionando resistência ao acamamento e danos causados por insetos, sendo que a cultura da soja responde de forma rápida a sua disponibilidade (CAVALCANTE et al., 2018; GABRIEL; BUENO; SANTOS, 2016;

TAIZ et al., 2017). A disponibilidade de nutrientes é fundamental para o sucesso no desenvolvimento das culturas, obtido através do uso de corretivos de solo. Para tanto deve-se levar em consideração o tempo, a dose, a cultura, o clima, forma de aplicação, tipo do solo e histórico de manejo da área. Quando a semeadura é realizada sob a palhada, o corretivo é aplicado em superfície sem que ocorra o revolvimento do solo, o que acarretará efeitos restritos às camadas superficiais em curto prazo de ação (CAIRES et al., 2015; RHEINHEIMER et al., 2018).

2.2 MANEJOS PARA SOLOS ÁCIDOS: CORRETIVOS

O Brasil apresenta grande extensão de solos com diferentes formações, sendo que cerca de 70% são considerados ácidos ou que possuem problemas com acidez e baixa disponibilidade de nutrientes (FERRARI NETO et al., 2021; SANTOS, 2018). O manejo inadequado dos recursos naturais, dos sistemas agrícolas e da adubação do solo podem resultar em impactos negativos na produção, pois interferem diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MELLO; BRUM, 2013). A presença de hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{3+}) na solução do solo são responsáveis pela acidez do mesmo, o que pode ocasionar reduções de até 40% na produtividade, em especial nas regiões tropicais e subtropicais (QUAGGIO, 2000), sendo um dos principais limitantes da produtividade agrícola (FAGÉRIA; NASCENTE, 2014; MENG et al., 2019).

A acidez pode ser gerada tanto pelo material de origem, como também pelo clima, intemperismo e organismos, além da atividade agrícola responsável pela extração dos nutrientes, que devido ao manejo empregado, os nutrientes essenciais não são repostos em quantidade correta (NATALE et al., 2012). A acidez pode influenciar em diferentes reações e processos químicos no solo, o que interfere na disponibilidade dos macronutrientes e micronutrientes, além de influenciar a atividade biológica do solo, devido às alterações na dinâmica da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) liberando ácidos orgânicos e inorgânicos (OLIVEIRA et al., 2005; FONTOURA et al., 2019).

Para reduzir os efeitos negativos causados pelo baixo pH, tem-se encontrado alternativas, sendo uma delas o uso de calcário como corretivo de solo. A calagem é comumente utilizada para manter o solo mais adequado e que melhor proporcione a disponibilidade dos nutrientes para a planta. Essa técnica reduz rapidamente os efeitos ácidos na superfície, entretanto pode levar mais tempo para que os benefícios possam

atingir maiores profundidades, tendo em vista a baixa mobilidade no solo (COSTA et al., 2016).

Os solos brasileiros são em geral, designados como solos de baixa fertilidade natural, haja vista seu alto grau de intemperismo. Como consequência, estes solos são caracterizados pela acidez e baixa saturação de bases, ou seja, altos teores de H^+ e Al^{3+} , associado a baixos teores de bases trocáveis como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) na CTC do solo (CASTRO et al., 2016). Segundo Tamás et. al (2006), temos a presença de Al^{3+} e ausência de Ca e Mg ao longo do perfil de solos, impactando no bom desenvolvimento e crescimento do sistema radicular em profundidade. No Brasil, grande parte dos solos cultiváveis é caracterizada pela acidez, ou seja, baixos valores de pH ($pH < 5,5$), elevados teores de Al^{3+} trocável e deficiência de bases trocáveis como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (MEDA et al., 2002; OSMAN, 2018; SOTI et al., 2015).

A utilização de corretivos e condicionadores em solos ácidos são estratégias para obtenção de ambientes propícios ao crescimento e desenvolvimento das plantas, possibilitando atingir altas produtividades. No entanto, mesmo que a calagem possa elevar o pH do solo e contribuir para superar problemas de toxicidade, especialmente de Al^{3+} nas camadas superficiais, a subsuperfície geralmente permanece inalterada, uma vez que a incorporação profunda do calcário é tecnicamente difícil e onerosa (YANG; RAO; HORST, 2013).

A aplicação do calcário ($CaCO_3$ e $MgCO_3$), tem se mostrado eficaz na recuperação dos solos ácidos, o que proporciona melhorias nos teores de Ca, Mg, elevação do pH, da saturação por bases (V%), com conseqüente aumento na disponibilidade de nutrientes, além de reduzir a ação tóxica do Al^{3+} e Mn, criando um ambiente favorável para o desenvolvimento do sistema radicular (HOLLAND et al., 2018). Estes benefícios têm reflexo na melhoria da capacidade de retenção de água, diminuição da susceptibilidade a compactação e erosão do solo, proporcionando maior tolerância ao estresse hídrico (SHI; LI; NI, 2019). Pauletti et al. (2014), trabalhando com aplicação superficial de calcário, em doses de 0 e 3,42 ton. ha^{-1} , constataram aumento do pH na camada de 0-10cm nos primeiros 36 meses após a aplicação. Além disso, esse aumento também foi verificado na camada de 10-20cm após 72 meses de aplicação, efeito esse que pode estar relacionado a baixa solubilidade do corretivo e da lenta movimentação em profundidade do Ca e Mg nas camadas do solo (CAIRES et al., 2006; RHEINHEIMER et al., 2000).

Culturas com sistemas radiculares concentrados em superfície estão sujeitas a impactos negativos em períodos de déficit hídrico, visto que a maior parte das raízes estão

na camada superficial do solo, afetando o seu crescimento e desenvolvimento. Desse modo, a correção da acidez, equilíbrio de bases na CTC visando melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CASTRO et al., 2016) é importante para permitir melhores condições de crescimento e desenvolvimento das plantas. Um solo equilibrado deve apresentar saturação de bases entre 50 à 70% de Ca, 12 a 15% de Mg e de 3 a 5% de K na CTC do solo (DEMATTE, 2011).

Biazatti e colaboradores (2020), ao trabalharem com doses de 3 e 6 ton. ha⁻¹ de calcário dolomítico, constataram melhorias na disponibilidade de Mg e P, e ao utilizarem doses acima de 7 ton. ha⁻¹ verificaram ação negativa na relação Ca:Mg. Os autores observaram acréscimo de Mg até a dose de 8,8 t ha⁻¹, no qual a partir desta dose, o Mg passou a ser menos solúvel devido à alta concentração de Ca na CTC do solo, interferindo a agregação do K e do Mg aos coloides do solo, que passam a ser lixiviados facilmente (LOPES; GUILHERME, 2004).

Para alcançar resultado promissor com uso da calagem, é necessário conhecer as características do tipo de corretivo utilizado, a dose necessária, além de realizar a aplicação no momento e de forma ideal, sempre levando em consideração a cultura a ser implantada e o tipo do solo. Desta forma, as plantas possuem condições de expressar seu máximo potencial produtivo, através do melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis, sem o risco da ocorrência de toxidez (MARASCHIN; SCARAMUZZA; VIEIRA, 2020).

A aplicação de calcário em superfície no plantio direto apresenta algumas limitações em função das características deste corretivo, entre elas destaca-se a baixa solubilidade em água e a limitada mobilidade do Ca no perfil do solo. Sendo assim sua reação e maior efeito ocorre próxima ao local de sua aplicação, restringindo o efeito corretivo nas camadas mais superficiais do solo (CAIRES et al., 2015; SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Ou seja, a movimentação no perfil do solo das partículas do calcário é altamente dependente do tempo, frequência de aplicação, tipo de solo, clima e manejo de cultivos adotados na área (AULER et al., 2019; BOSSOLANI et al., 2020; RHEINHEIMER et al., 2018).

2.3 CTC – CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS

A capacidade de troca de cátions (CTC) é a quantidade de cátions (íons carregados positivamente) que o solo é capaz de reter por unidade de peso. A CTC está relacionada

com a fertilidade do solo, e pode variar conforme o pH do solo. Os solos, do Rio Grande do Sul e Santa Catarina em sua maioria são considerados ácidos, portanto, irão apresentar CTC Efetiva menor que a Potencial. Em decorrência do processo de formação dos solos, estes apresentam cargas elétricas, que variam em função do tamanho da fração mineral, argila, e das estruturas orgânicas (matéria orgânica), havendo um desequilíbrio das cargas elétricas em função do tipo de material de formação do solo. As cargas elétricas, estão concentradas, principalmente, na fração de tamanho argila e desempenham papel fundamental no ecossistema, pois são responsáveis pela adsorção (retenção) de nutrientes que serão utilizados pelas plantas para seu crescimento e desenvolvimento. Não havendo cargas elétricas os nutrientes seriam levados pela água que infiltra no perfil de solos. Geralmente, existe um predomínio de cargas negativas em relação às cargas positivas, onde a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) é a medida das cargas elétricas negativas do solo expressa em cmolc/dm^3 e a medida das cargas elétricas positivas do solo é chamada de Capacidade de Troca de Ânions (CTA). (PES; ARENHARDT, 2015).

A Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0) é calculada pela soma dos teores de Ca^{++} , Mg^+ , K^+ , Al^{+++} e H^+ determinados na análise e dada em cmolc/dm^3 (LABORSOLO, 2023). Esta representa a quantidade máxima de cargas negativas que o solo possui e que poderiam permitir a troca por cátions. A CTC a pH 7,0 é, portanto, um valor calculado a partir dos valores individuais dos cátions. Ou seja, o laboratório determina o teor dos cátions e faz-se sua somatória para expressar a CTC total (LABORSOLO, 2023).

Uma dessas características, está relacionada a presença de cargas elétricas nos colóides do solo que possibilitam a troca de cátions, também conhecida como CTC (capacidade de troca de cátions). A capacidade de troca de cátions (CTC) corresponde à soma das cargas negativas nas partículas microscópicas do solo (fração argila, e matéria orgânica) retendo os cátions, tais como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+). A importância da CTC refere-se não só a retenção de cátions, mas também da água, além de ter direta relação com a estruturação e consistência do solo (SOUZA; LIMA; TEIXEIRA, 2009).

Ainda de acordo com Lopes e Guilherme (2004) os cátions retidos (adsorvidos) nos colóides do solo podem ser substituídos por outros cátions. Isto, em termos práticos, significa que eles são trocáveis. O cálcio pode ser trocado por hidrogênio e, ou, potássio ou vice-versa. Quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo

pode reter. Portanto, a CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo.

Em razão da maioria dos solos apresentar maior número de cargas negativas do que positivas em seus colóides, a adsorção é principalmente de cátions, sendo assim, a CTC pode ser relacionada com a fertilidade do solo, principalmente se tratando de cátions (RONQUIM, 2010). Basicamente, a nível de manejo a CTC do solo geralmente pode ser medida em CTC pH 7,0; CTC efetiva e CTC calculada. A CTC pH 7,0 indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7,0. A CTC efetiva indica a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis. Neste caso não se considera o H^+ (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Já a CTC determinada, tem como objetivo determinar efetivamente (medir) qual é a real CTC do solo (LABORSOLO, 2023).

Em termos gerais, a diferença entre a CTC a pH 7.0 e a CTC Efetiva é na verdade, a quantidade de cátion representados pelo íon H^+ que podem ser neutralizados por íons oriundos de calagem como o OH^- (LABORSOLO, 2023).

De maneira geral, a CTC está relacionada com a capacidade do solo em trocar cátions com a solução do solo, afetando assim a disponibilidade de nutrientes nessa solução para as plantas. A CTC pode ser influenciada pelo tipo de partícula que compõem a estrutura do solo (textura do solo), pH, tipo de material coloidal e matéria orgânica do solo (VERZUTTI, 2023). Por apresentar relação direta com a fertilidade do solo, pode-se dizer que quanto maior a CTC do solo maior a fertilidade dele (SANTOS, 2018). Sendo assim, a CTC do solo pode ser um dos critérios para determinar o manejo da fertilidade do solo. Com isso em vista, aumentar a CTC do solo é aumentar sua fertilidade. A calagem adequada (níveis de pH adequados) e o aumento dos teores de matéria orgânica do solo são as principais fontes do ponto de vista de manejo que podem proporcionar aumento da CTC do solo. Por apresentar relação também com a textura do solo, alguns solos podem apresentar CTC superiores a outros independente do manejo adotado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi conduzido no ano agrícola 2021 - 2022, na Área Nova da Universidade Federal de Santa Maria, localizada no município de Santa Maria, Rio

Grande do Sul (RS) ($29^{\circ}43' S$; $53^{\circ}33' W$; 95 m de altitude). O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com precipitação média anual de 1838 mm. A temperatura média anual é de $19^{\circ} C$.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (SANTOS, 2013). São solos característicos de áreas de relevo plano a suavemente ondulado, profundos e com má drenagem. Antes da semeadura da soja, foi realizada amostragem de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 30-40 cm de profundidade em duas áreas, ambas de campo nativo, e próximas cerca de 500 metros. Uma das áreas apresentou CTC pH 7 mais alta (CN A) e outra mais baixa (CN B) (Figura 1; Tabela 1).

Figura 1 - Visão geral da área de instalação dos ensaios. A direita, área de campo nativo com CTC_{pH7} alta (CN A) e a esquerda, área de campo nativo com baixa CTC_{pH7} (CN B). Santa Maria (RS), 2023.



Fonte: (O autor, 2023).

Em ambas as áreas (CN A e CN B), foram determinados os seguintes atributos de solo: pH em água; Ca, Mg e Al trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mL^{-1} ; CTC_{pH7} determinada por meio de solução tampão SMP; S-SO₄²⁻, extraído com CaHPO₄ 500 mL^{-1} ; P, K, Na, Cu, Zn e B foram determinados pela extração com Mehlich⁻¹ (Tabela 1, 2, 3 e 4).

Tabela 1 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria, RS, 2023.

| Área | Profundidade | pH água | Ca | Mg | Al | H + Al | Saturação | | Índice SMP |
|------|--------------|------------|-----------------------------------|-------|------|--------|-----------|------|---------------|
| | | | cmol _c dm ³ | | | | % | | |
| | | | Al | Bases | | | | | |
| CN A | 0-10 cm | 5,8 | 12,6 | 6,2 | 0,0 | 4,9 | 0,0 | 79,3 | 5,9 |
| | 10-20 cm | 4,7 | 8,8 | 4,6 | 3,2 | 21,8 | 19,1 | 38,4 | 4,6 |
| | 20-30 cm | 4,4 | 6,7 | 3,7 | 7,1 | 38,6 | 40,0 | 21,6 | 4,1 |
| | 30-40 cm | 4,5 | 8,4 | 5,0 | 12,4 | 43,3 | 47,7 | 23,9 | 4,0 |
| CN B | 0-10 cm | 5,7 | 6,0 | 3,4 | 0,0 | 3,5 | 0,0 | 73,0 | 6,2 |
| | 10-20 cm | 5,3 | 5,2 | 2,6 | 0,2 | 4,9 | 2,8 | 61,4 | 5,9 |
| | 20-30 cm | 4,5 | 3,9 | 1,7 | 2,0 | 13,7 | 25,9 | 29,6 | 5,0 |
| | 30-40 cm | 4,7 | 4,0 | 1,7 | 2,5 | 19,4 | 30,6 | 22,8 | 4,7 |

pH em água 1:1; Ca, Mg e Al trocáveis com KCl e CTC a pH 7,0 (TEDESCO et al., 2006). Fonte: (Adaptado pelo autor, 2023).

Tabela 2 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria, RS, 2023.

| Área | Profundidade | % MO | % Argila | Textura | S | P-Mehlich |
|------|--------------|--------------------|----------|---------|------|-----------|
| | | mg/dm ³ | | | | |
| CN A | 0-10 cm | 4,1 | 21,0 | 3,0 | 59,2 | 86,4 |
| | 10-20 cm | 2,6 | 30,0 | 3,0 | 49,2 | 17,6 |
| | 20-30 cm | 2,0 | 38,0 | 3,0 | 52,3 | 4,9 |
| | 30-40 cm | 1,7 | 46,0 | 2,0 | 57,2 | 2,3 |
| CN B | 0-10 cm | 2,5 | 16,0 | 4,0 | 26,4 | 17,0 |
| | 10-20 cm | 1,9 | 19,0 | 4,0 | 8,9 | 13,2 |
| | 20-30 cm | 1,4 | 21,0 | 3,0 | 11,8 | 1,8 |
| | 30-40 cm | 1,1 | 22,0 | 3,0 | 9,1 | 6,0 |

MO determinada pelo método de digestão úmida; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹. P e K determinados pelo método do Mehlich I (TEDESCO et al., 2006). Fonte: (Adaptado pelo autor, 2023).

Tabela 3 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria, RS, 2023.

| Área | Profundidade | Cu | Zn | B | Relações Molares | | |
|------|--------------|--------------------|-------|------|------------------|-----------|-----------|
| | | mg/dm ³ | | | Ca/Mg | (Ca+Mg)/K | K/(Ca+Mg) |
| CN A | 0-10 cm | 4,47 | 16,41 | 0,74 | 2 | 131,6 | 0,033 |
| | 10-20 cm | 2,11 | 4,74 | 0,73 | 1,9 | 81,6 | 0,045 |
| | 20-30 cm | 1,65 | 3,23 | 0,67 | 1,8 | 42,3 | 0,076 |
| | 30-40 cm | 1,35 | 2,72 | 0,59 | 1,7 | 48,3 | 0,076 |
| CN B | 0-10 cm | 2,11 | 3,02 | 0,55 | 1,8 | 91,3 | 0,033 |
| | 10-20 cm | 2,09 | 1,97 | 0,61 | 2 | 76,1 | 0,037 |
| | 20-30 cm | 1,68 | 0,84 | 0,43 | 2,3 | 61,3 | 0,039 |
| | 30-40 cm | 1,63 | 1,11 | 0,46 | 2,4 | 55,2 | 0,043 |

Cu, Zn e B extraídos com Mehlich I. Fonte: (Adaptado pelo autor, 2023).

Tabela 4 - Atributos químicos do solo previamente à instalação do experimento. Santa Maria, RS, 2023.

| Área | Profundidade | CTC Efetiva | K | CTC pH7 | K |
|--------------------|--------------|-------------|-------|---------|-------|
| mg/dm ³ | | | | | |
| CN A | 0-10 cm | 19,0 | 0,143 | 23,9 | 56,0 |
| | 10-20 cm | 16,7 | 0,164 | 35,3 | 64,0 |
| | 20-30 cm | 17,8 | 0,246 | 49,2 | 96,0 |
| | 30-40 cm | 26,1 | 0,276 | 56,9 | 108 |
| CN B | 0-10 cm | 9,4 | 0,102 | 12,9 | 40,0 |
| | 10-20 cm | 8,1 | 0,102 | 12,8 | 40,0 |
| | 20-30 cm | 7,8 | 0,092 | 19,4 | 36,0 |
| | 30-40 cm | 8,2 | 0,102 | 25,1 | 0,043 |

CTC_{pH7} (QUAGGIO; RAIJ; MALAVOLTA, 1985). Fonte: (Adaptado pelo autor, 2023).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 3 repetições, composto por seis tratamentos, totalizando 18 unidades experimentais, com dimensões de 10x3,6 m (36,0 m²) cada. Para a avaliação de produtividade, foi realizada a colheita manual em uma área útil utilizando as quatro linhas centrais, desprezando 1m de cada bordadura das linhas. Os tratamentos, as doses e os produtos comerciais estão apresentados na Tabela 5, sendo que as garantias mínimas do Calsite são 33 % de Ca e 1 % de Si.

Tabela 5 – Descrição dos tratamentos, doses e produtos comerciais utilizados. Santa Maria, RS, 2023.

| Tratamento | Dose (kg ha ⁻¹) | Fertilizante | Garantias químicas |
|--------------|-----------------------------|---------------|--------------------|
| Tratamento 1 | 3000 | Calcário | CaO 26%; MgO 14% |
| Tratamento 2 | 0 | Sem aplicação | 0,0 |
| Tratamento 3 | 200 | Calsite | Ca 33%; Si 1% |
| Tratamento 4 | 400 | Calsite | Ca 33%; Si 1% |
| Tratamento 5 | 800 | Calsite | Ca 33%; Si 1% |
| Tratamento 6 | 1600 | Calsite | Ca 33%; Si 1% |

Fonte: (O autor, 2023).

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO ENSAIO

A semeadura ocorreu no dia 10/11/2021, com adubação realizada no sulco de semeadura na dose de 300 kg ha⁻¹ de adubo NPK, com formulação 5-30-15 e 150 kg ha⁻¹ de Kcl. A cultivar de soja utilizada no estudo foi a BMX Cromo, caracterizada pelo alto potencial produtivo, boa arquitetura de planta, grupo de maturação relativa (GMR) de 5.6 e hábito de crescimento indeterminado. O manejo cultural de plantas daninhas, doenças

e insetos foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura da soja, desde a semeadura até a colheita, realizada dia 15 de março de 2022.

3.4 AVALIAÇÕES E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi avaliado a produtividade de grãos, quando a cultura atingiu a maturação fisiológica (estágio R8 da escala de Ferh e Caviness, 1977). Os grãos foram trilhados e pesados, sendo a produtividade corrigida para 13% de umidade, e estimada em kg ha^{-1} (teste de médias) e sacas por ha^{-1} (análise de regressão). Os dados foram analisados utilizando-se o Software R (ver. 4.0.4) com a biblioteca *easyanova* (ver. 7.0) e submetidos à análise de variância, sendo aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para comparação entre tratamentos, para cada área. Ademais, foi realizada análise de regressão para os tratamentos com a aplicação de Calsite, considerando a quantia 0 kg ha^{-1} de Calsite a testemunha absoluta.

Figura 2 - Visão geral do ensaio durante a condução. Santa Maria, RS, 2023.



Fonte: (O autor, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de produtividade de grãos de soja na cultivar Brasmax Cromo nas duas diferentes áreas estudadas são apresentados na Tabela 6. Houve efeito positivo dos seis tratamentos estudados na produtividade de grãos de soja, onde a maioria dos

tratamentos proporcionaram incrementos de produtividade de grãos em relação a testemunha absoluta. Esse efeito foi maior na área de campo nativo com CTCpH7 baixo (CN B).

Tabela 6 - Produtividade de soja da cultivar BMX Cromo para os tratamentos, nas condições de campo nativo com alta CTCpH7 (CN A) e campo nativo com baixa CTCpH7 (CN B). Santa Maria (RS), 2023.

| Trat | Fertilizante | Dose (kg ha ⁻¹) | Produtividade (kg ha ⁻¹) | |
|--------|--------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------|
| | | | CN A | CN B |
| T1 | Calcário | 3000 | 2989,8 A | 1471,8 AB |
| T2 | Testemunha | 0 | 3126,0 A | 1269,8 B |
| T3 | Calsite | 200 | 3426,0 A | 1644,0 AB |
| T4 | Calsite | 400 | 3193,8 A | 1811,0 A |
| T5 | Calsite | 800 | 3210,0 A | 1700,3 AB |
| T6 | Calsite | 1600 | 3496,2 A | 1754,0 A |
| Média | - | - | 3240,3 | 1608,7 |
| CV (%) | - | - | 11,49 | 9,44 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Na área de campo nativo com CTCpH7 alto (CN A) não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados para produtividade de soja ($p \geq 0,05$) (Tabela 6). A ausência de resposta a aplicação de cálcio também foi encontrada em outros trabalhos realizados tanto em sistema plantio direto, como em áreas de sistema plantio convencional (CAIRES et al., 2003; NEIS et al., 2010).

Devido à baixa mobilidade do calcário no solo, a cultura poderá ter seu desenvolvimento afetado de forma negativa devido indisponibilidade dos nutrientes (VERONESE et al., 2012). A calagem busca corrigir a acidez do solo via elevação do pH, com conseqüente aumento da disponibilidade de nutrientes, garantindo maior rendimento através da melhoria da CTC efetiva, auxiliando na redução dos elementos tóxicos (COSTA; CRUSCIOL, 2016; CAIRES et al., 2015). Rampim et al. (2011) ressaltam que o uso do calcário é a melhor forma de diminuir a toxidez por Al no solo, enfatizando a calagem como melhor forma de aumentar a qualidade e a produtividade de grãos. O corretivo não só faz a correção da acidez do solo, como também proporciona melhorias na absorção de nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), favorecido pela mineralização da matéria orgânica, potencializando melhorias em várias características agronômicas das culturas (SANTOS et al., 2010; SÁVIO et al., 2011). Miranda et al. (2005), estudando os efeitos e formas de aplicação do calcário na correção da acidez e na produtividade da soja e do milho, sob diferentes formas de plantio, constataram que o aumento das doses de calcário promove melhorias significativas da produtividade da soja

cultivada sob a palhada. Ressaltam ainda, que o efeito do calcário está sujeito ao tempo de aplicação e do volume de solo corrigido. Porém, os benefícios da calagem sem incorporação têm-se mostrado bastante eficientes na redução da acidez do solo, proporcionando incrementos na produtividade, salientando que cada cultivar possui um comportamento diferente perante as exigências nutricionais, bem como a exigência hídrica, estando também relacionada ao tipo de solo em questão (ASTERA, 2014).

Ainda assim, pode ser observada uma diferença entre as produtividades entre os tratamentos. Quando convertida em sacos por ha, a diferença foi de 49,83 sc ha⁻¹ a 58,27 sc ha⁻¹, sendo a menor produtividade observada no tratamento (T1) com 3000 kg ha⁻¹ de calcário e a maior produtividade observada no tratamento T6 com a maior dose de Calsite – 1600 kg ha⁻¹. Além disso, na área CN A, foi observada as menores produtividades nos tratamentos T1 e T2, onde a testemunha produziu 2,27 sc ha⁻¹ a mais que a aplicação de 3000 kg ha⁻¹ de calcário. No entanto, essas diferenças não foram significativas ($p \geq 0,05$). Isso provavelmente se deve a fertilidade inicial do solo na camada superficial (0 a 10 cm) que estava próximo ao adequado em todos os tratamentos devido a CTCpH7 alta (CANTARELLA et al., 2022).

Fenômeno diferente foi observado na CNB com a CTTpH7 baixa, que apresentou uma maior sensibilidade as aplicações superficiais de corretivos no presente trabalho. Esse resultado demonstra a importância que a CTCpH7 apresenta como ferramenta no manejo para altas produtividades da cultura da soja, bem como na construção de fertilidade no perfil do solo.

Houve diferença da produtividade média entre as áreas CN A e CN B. A área de campo nativo com CTCpH7 alta (CN A) apresentou produtividade média de 54,11 sc ha⁻¹ (3240,3 kg ha⁻¹), enquanto a área com CTCpH7 baixa (CN B) apresentou uma produtividade média de 26,81 sc ha⁻¹ (1608,7 kg ha⁻¹). Uma diferença próxima de 50% na produtividade de grãos de soja.

A diferença média da produtividade de grãos de soja da área com CTCpH7 alta e baixa corrobora os inúmeros dados na literatura da importância e do benefício da CTCpH7 alta. Como pode ser observado na Tabela 4, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm a CTCpH7 da área A é superior a área B, a qual é considerada área de várzea (terras baixas), e a CN B uma coxilha (terras altas). Devido as condições climáticas do ano, considerado com baixas precipitações durante o ciclo de cultivo, a área CN A apresentou melhores produtividades, porque provavelmente reteve mais umidade. Esses resultados demonstram a importância da CTC que vai além da retenção de cátions, mas também da

água, além de ter direta relação com a estruturação e consistência do solo (SOUZA; LIMA; TEIXEIRA, 2009). Além disso, a produtividade de grãos de soja pode ser influenciada por fatores como os recursos ambientais, como disponibilidade hídrica e fertilidade do solo, além do potencial produtivo de cada cultivar (CORREIA; DURIGAN, 2006; FLOSS, 2011; HEIFFIG, 2002).

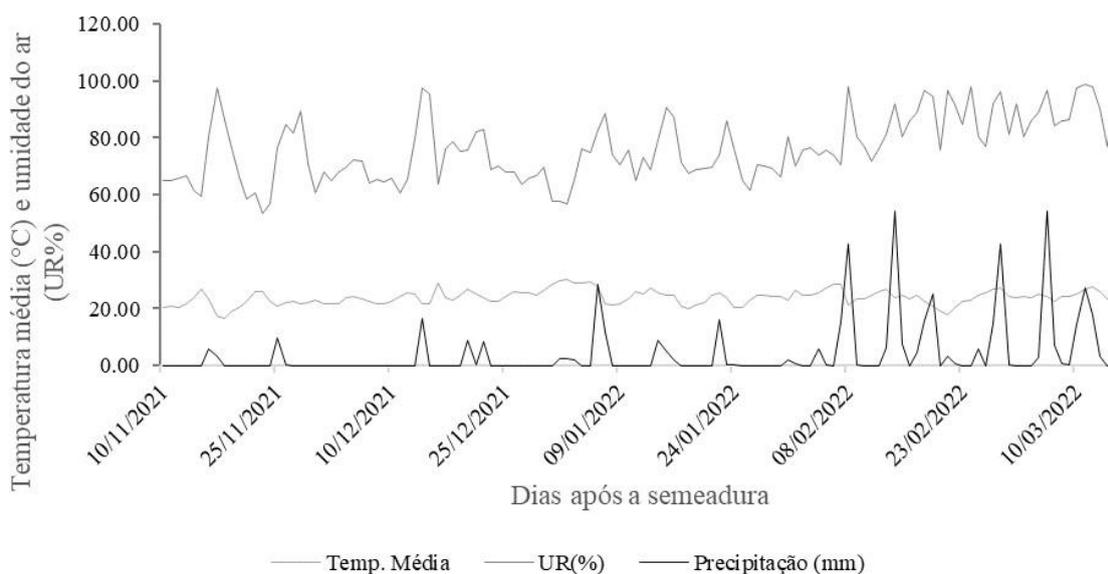
Segundo Ronquim (2010) em razão da maioria dos solos apresentar maior número de cargas negativas do que positivas em seus colóides, a adsorção é principalmente de cátions, sendo assim, a CTC pode ser relacionada com a fertilidade do solo, principalmente se tratando de cátions. A CTC_{pH7} indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7,0. De maneira geral, a CTC está relacionada com a capacidade do solo em trocar cátions com a solução do solo, afetando assim a disponibilidade de nutrientes nessa solução para as plantas. Por apresentar relação direta com a fertilidade do solo, pode-se dizer que quanto maior a CTC do solo maior a fertilidade dele. Dentro deste contexto, os dados do presente trabalho mostram a importância de uma CTC pH 7 alta no manejo para altas produtividades da cultura da soja, principalmente em anos de baixas precipitações. Além disso, apresenta informações chave para tomada de decisão do produtor na em relação ao retorno sobre o investimento realizado em função do ambiente produtivo.

O ano agrícola 2021-22 de condução do presente trabalho foi um ano de forte estiagem no RS (Figura 4), sob efeitos do fenômeno climático-oceânico *La Niña* que é caracterizado pelo resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico. Durante a condução do experimento ocorreu uma precipitação total de 316,07 mm, sendo que, a maior parte das chuvas ocorreram no fim de ciclo da cultura da soja. Desse modo, as plantas sofreram um estresse inicial de no momento de estabelecimento, afetando o estande de plantas, bem como no florescimento, o que pode justificar as baixas produtividades (Tabela 6). Da mesma forma, com a chuva no final de ciclo foram observadas doenças de fim de ciclo (DFCs), tais como ferrugem asiática (*Phakopsora pachirizi*), que favoreceram o desfolhamento precoce. Além disso, a produtividade da soja é acometida por outros estresses abióticos, como temperaturas extremas, salinidade, acidez do solo, metais pesados e alagamento (DONG et al., 2019; KUNERT; VORSTER, 2022). Dentro desse contexto, o fornecimento de Ca ao sistema pode ajudar muito na defesa à estresses bióticos e abióticos (THOR, 2019, WHITE; BROADLEY, 2003).

Dessa forma, frente as condições climáticas observadas durante o ensaio, pode-se levantar a hipótese de que a área CN A reteve mais água do que a área CN B,

proporcionado a produção de 27 sacos de soja a mais que a área CN B. Considerando o valor do saco de soja em 30 de junho de 2023 a R\$ 128,00 (CAMNPAL, 2023), a diferença entre as áreas com CTCpH7 alta e baixa neste trabalho evidenciou uma diferença de R\$ 3.456,00 por hectare.

Figura 3 - Dados meteorológicos durante a condução do experimento. Precipitação, temperatura média diária e umidade média do ar. Santa Maria (RS), 2023.



Fonte: (adaptado de INMET pelo autor, 2023).

A presença de déficit hídrico em qualquer período durante o crescimento e desenvolvimento, pode afetar negativamente sua expressividade produtiva. Sendo que em relação aos acontecimentos climáticos não há como intervir, podendo ocorrer em vários níveis e frequências nas diferentes regiões do país (SENTELHAS et al., 2015).

Efeitos indiretos podem resultar em maior produtividade dos tratamentos quando comparados a testemunha sem aplicação. O fornecimento de Ca via calagem e o fornecimento de Ca e Si via Calsite, podem retardar a senescência, mantendo, as folhas fotossinteticamente ativas por mais tempo, o que possibilita aumento nos componentes de rendimento. Associado a isso, a redução na área foliar pode ser atribuída à diminuição da taxa fotossintética, e indução de espécies reativas de oxigênio (EROs) (SINGH; PARIHAR; PRASAD, 2018). Outro efeito indireto, observado por Barcelos et al. (2022) foi que a aplicação de cálcio promoveu maior exportação de N e C aos grãos. Outros efeitos indiretos relatados na literatura mostram que as aplicações de calcário aumentam os reservatórios de carbono orgânico do solo (BRIEDIS et al., 2012; INAGAKI et al., 2017) agregação do solo (AYE; SALE; TANG, 2016; CARMEIS FILHO et al., 2018);

FERREIRA et al., 2019; CARMEIS FILHO et al., 2016), sequestro de carbono do solo (BRIEDIS et al., 2012; FORNARA et al., 2011) e atividade biológica (INAGAKI et al., 2017). Quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. Portanto, a CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo (LOPES; GUILHERME, 2004).

Na área CN B, as produtividades variaram de 21,17 a 30,17 sc ha⁻¹ (Tabela 6). A menor produtividade observada foi na testemunha sem aplicação, e a maior produtividade foi observada nas doses de 400 kg ha⁻¹ e 1600 kg ha⁻¹ de Calsite. A aplicação de Calsite via lanço na superfície se mostrou mais eficiente que a aplicação de calcário. Alguns outros estudos usando corretivos com cálcio e silício na composição encontraram que aplicação de fertilizantes a base de cálcio na forma granulada via sulco de semeadura, ou a lanço não influenciou estatisticamente a produtividade e características agrônômicas da cultura da soja, nas condições estudadas (BARBOSA et al., 2020).

Schneider et al. (2011) avaliando o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo associados ou não a calagem, verificaram que a aplicação do corretivo foi benéfica para os atributos de colonização micorrízica e comprimento de micélio extra radicular, sendo mais significativa no plantio direto. Plantas de soja tratadas com cálcio e silício produzem sementes de melhor qualidade fisiológica, além de que os tratamentos com aplicação de cálcio e silício reduzem o rendimento de sementes por unidade de área (HARTER; BARROS, 2011).

Segundo alguns estudos encontrados na literatura, os efeitos dos corretivos podem persistir na superfície do solo por longos períodos, em profundidade de até 10 cm, a calagem pode persistir por 18 a 30 meses (CAIRES et al., 2003; COSTA, 1996) contribuindo assim para a correção do pH (ALLEONI; CAMBRI; CAIRES, 2005). Caires et al. (2006) e Soratto e Crusciol (2008) salientam que devido à baixa solubilidade e mobilidade do calcário, seus efeitos ficam restritos ao local de aplicação. Assim, o desenvolvimento do sistema radicular fica restrito as camadas superficiais, impedindo que as plantas possam realizar a absorção dos nutrientes nas camadas mais profunda do solo (CAIRES et al., 2008).

Segundo a SBCS (2016) no manual de adubação e calagem, para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os solos destes estados são em seu estado natural, predominantemente ácidos. A acidificação do solo, é um processo contínuo e sua intensidade depende de vários fatores. Agronomicamente esse processo resulta em alta acidez ativa (baixo pH), alta acidez potencial (altos valores de H + Al), alta saturação da

CTC pelo Alumínio, baixa saturação por bases na CTC, com aumento potencial da toxidez por alumínio em profundidade no perfil de solo devido a menor complexação do Al^{3+} pela diminuição dos teores de matéria orgânica em profundidade e menores teores de cátions básicos (cálcio, magnésio e potássio). Esses efeitos negativos, são observados nas análises de solos estratificadas a cada 10 cm do perfil de solos coletadas, até 40 cm de profundidade, onde observamos a diminuição dos níveis de fertilidade e aumento dos teores (participação de cálcio, magnésio, potássio, M.O., fósforo e saturação por bases) e aumento dos teores de alumínio e acidez do solo em profundidade corroborando com a literatura. Em resumo, o perfil de solo analisado, segundo resultados da análise de solos coletada, apresenta resultados que torna o ambiente desfavorável ao crescimento do sistema radicular da cultura da soja em profundidade, sendo apontado como um fator que pode ser limitante ao rendimento da cultura em estudo.

O calcário é tipicamente incorporado por operações mecânicas. No entanto, com a ampla adoção do sistema plantio direto pelos agricultores brasileiros (FREITAS; LANDERS, 2014), a aplicação superficial de calcário torna-se necessária (FERRARI NETO et al., 2021). Principalmente, nos solos tropicais brasileiros que são altamente intemperados, ácidos e geralmente de baixa fertilidade natural necessária (FERRARI NETO et al., 2021).

Os produtos da TMF fertilizantes possuem, em sua tecnologia, o Ca associado ao Si, que difere na reatividade quando comparado ao silicato de cálcio e calcário. Sendo assim, no caso do silicato de cálcio e calcário, caracterizados por baixa reatividade, os nutrientes não ficam prontamente disponíveis para atender às demandas da planta (<https://tmffertilizantes.com.br/calsite/>). Portanto, as fontes de cálcio estudadas, possuem alta reatividade, garantindo que estes elementos estejam disponíveis no sistema, o que proporciona condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, por consequência, também no enchimento de grãos. Entretanto, Pereira Júnior (2008) não observou influência do Si na produtividade da soja e nas suas características agrônômicas.

A tecnologia do Ca associado ao Si permite que estes nutrientes sejam mais solúveis no sistema, tornando estes mais facilmente absorvidos pelas raízes das plantas. Nesse trabalho, os tratamentos que refletiram em maiores produtividades, empregaram a tecnologia do Ca associado ao Si, o que garante uma reação mais rápida e, uma liberação inicialmente maior dos nutrientes, diferente do calcário, que por ser uma rocha mais dura na escala de Mohs, bem como por não sofrer processos físicos e químicos, não solubiliza rapidamente os nutrientes, sendo eles liberados ao longo do tempo. Assim, o Ca

disponível no solo pode ter sido inferior ao requerido pela planta, refletindo em menores patamares produtivos (DALLA NORA et al., 2017; PAULETTI et al., 2014; PIAS et al., 2020; RATKE et al. 2018).

Calsite é uma fonte importante, mesmo em sistema de plantio direto consolidado, pois ele possui a tecnologia do Ca móvel. Além disso, tem alto potencial de fornecimento de Si, elemento benéfico, que atua na tolerância a estresses biótico e abiótico (DEBONA; RODRIGUES; DATNOFF, 2017). O Ca é primordial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando na formação e estruturação da parede celular (pectato de cálcio), na divisão celular, crescimento radicular, germinação do tubo polínico, sinalização celular e na defesa à estresses bióticos e abióticos (THOR, 2019; WHITE; BROADLEY, 2003). A absorção deste nutriente ocorre na região não suberizada da raiz, a coifa. Além disso, devido à baixa mobilidade do Ca no floema, a redistribuição deste elemento do órgão fonte (folha velha) para o dreno (folha nova, fruto e raiz), não ocorre de forma apreciável, portanto, a manutenção dos níveis deste elemento ao longo do perfil do solo é essencial.

Negri (2023), avaliando doses de Calsite, observaram que o emprego do Ca, Si e S no sistema solo, proporcionam ambiente propício ao desenvolvimento das plantas, revertendo as respostas em produtividade. Nas figuras 4 e 5 é possível observar a resposta em produtividade (sc ha⁻¹) de acordo com as doses de Calsite. Enquanto na CN A foi observada maior produtividade na maior dose testada (58,27 kg ha⁻¹ com 1600 kg ha⁻¹), na área CN B, a maior produtividade (30,17 kg ha⁻¹) foi observada na dose de 400 kg ha⁻¹ de Calsite.

Na área CN A, a maior produtividade média foi 58,27 sc ha⁻¹ no tratamento T6, na dose de 1600 kg ha⁻¹ de Calsite. Entretanto, a dose de 200 kg ha⁻¹, a menor dose estudada, proporcionou uma produtividade média de 57,1 sc ha⁻¹. Embora tenha sido observado uma tendência de aumento de produtividade de acordo com a dose, mais estudos precisam ser realizados para poder verificar qual a dose de máxima eficiência agrônômica do Calsite, visto que nenhum modelo teve ajuste satisfatório (baixos valores de R²), para verificar o comportamento, o que pode ser explicado pela grande variação entre as repetições de um mesmo tratamento (Figura 4).

Entretanto, na área com CTCpH7 baixa, a produtividade de grãos obteve melhor ajuste ao modelo quadrático (R² de 0,68). Entretanto, mais estudos devem ser realizados, repetindo os mesmos tratamentos e adicionando novas doses, para poder avaliar este

efeito a longo prazo em áreas com CTCpH7 diferentes, além de condições ambientais e edafoclimáticas distantes (Figura 5).

Figura 4 - Produtividade de soja em sacas por hectare em função de doses de Calsite (0, 200, 400, 800, 1600 kg ha⁻¹) na área de campo nativo com CTCpH7 alta – CN A. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2023.

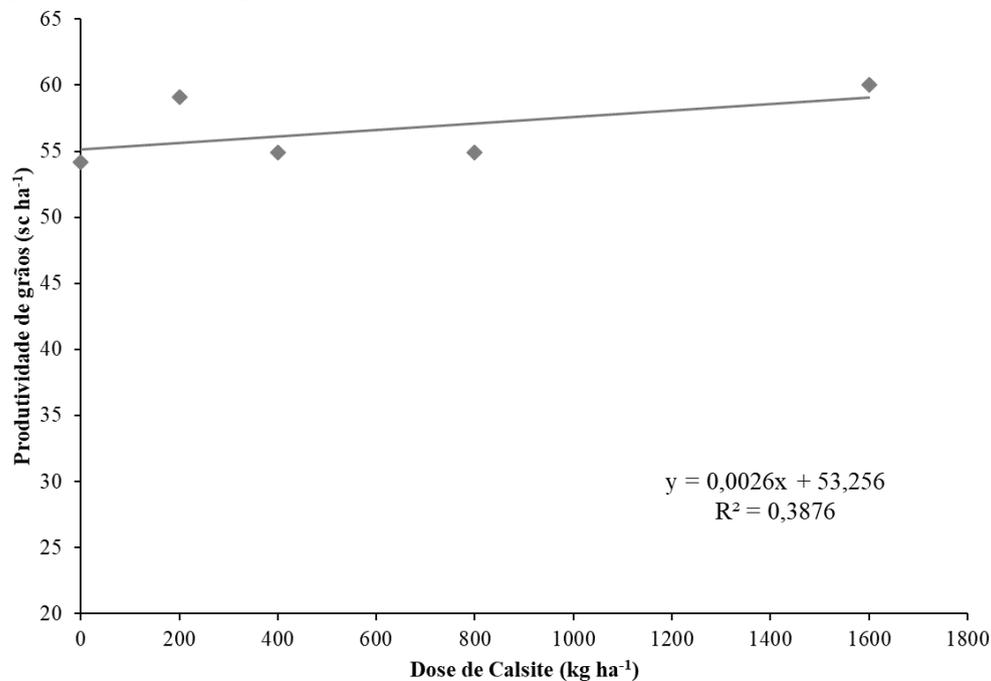
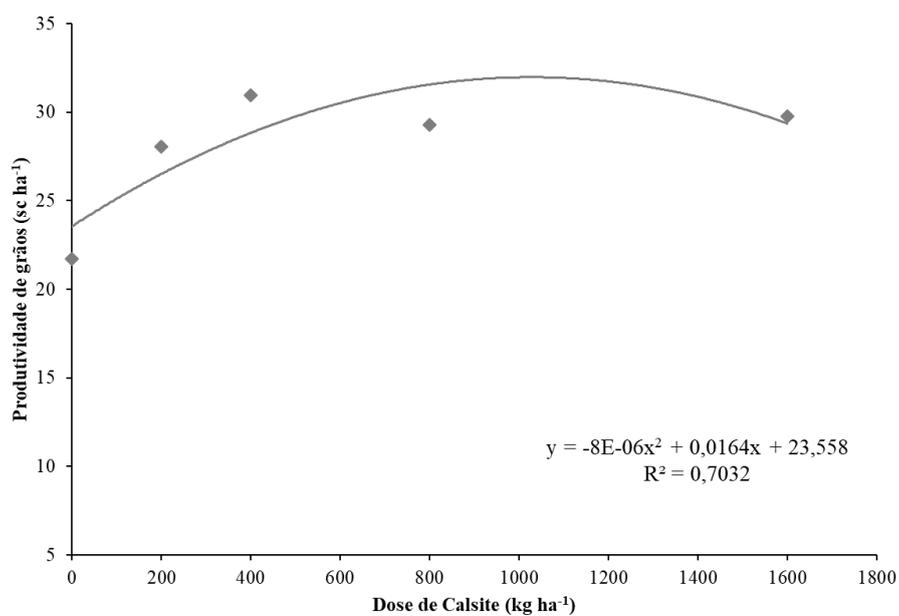


Figura 5 - Produtividade de soja em sacas por hectare em função de doses de Calsite (0, 200, 400, 800, 1600 kg ha⁻¹) na área de campo nativo com CTCpH7 baixo – CN B. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2023.



A dose de 200 kg ha⁻¹ seria a dose para atender à exigência nutricional do cálcio, segundo a empresa TMF fertilizantes, sendo esta recomendada para a cultura da soja para expectativa de produção de 66 sc ha⁻¹, ou seja, o quanto de Ca a cultura demanda para produzir 4000 kg ha⁻¹ de grão. Desse modo, a dose de 200 kg ha⁻¹ seria para suprir o que a cultura exporta de Ca, sem deixar um efeito residual no solo. Já a dose 400 kg ha⁻¹, que teria o mesmo custo de aplicação do calcário utilizado no presente trabalho, sendo considerada uma dose maior se objetivando os benefícios a longo prazo, com o efeito residual no solo.

Assim, doses maiores de Calsite podem ser estudadas com maior profundidade em próximos trabalho com o objetivo de estudar esse efeito no residual do solo nas camadas mais profundas e na construção de perfil do solo. Entre os efeitos atrelados à ação dos corretivos e dos condicionadores de solos, destacam-se o rompimento da barreira química do perfil do solo, representada, pela presença de Al e/ou deficiência de Ca. Assim, cria-se um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular em profundidade. Por conseguinte, as raízes são capazes de explorar maiores volumes de solo, aumentando a disponibilidade de água para as culturas, minimizando os efeitos prejudiciais gerados por veranicos, além de aumentar a eficiência na aquisição de nutrientes (CUNNINGHAM, 2020; NUERNBERG; RECH; BASSO, 2002; SOBRAL et al., 2009). Neste viés, a construção do perfil do solo proporciona condições adequadas às plantas, para que elas desenvolvam sistema radicular mais profundo, de forma que as raízes possam explorar melhor o ambiente. Assim, o reservatório de água não se limita à camada superficial do solo (0 a 20 cm). E nesse viés é preponderante a neutralização da acidez e a presença de cálcio e magnésio em níveis adequados no perfil do solo.

Sendo assim, a CTC do solo pode ser um dos critérios para determinar o manejo da fertilidade do solo. Com isso em vista, aumentar a CTC do solo é aumentar sua fertilidade. A calagem adequada (níveis de pH adequados) e o aumento dos teores de matéria orgânica do solo são as principais fontes do ponto de vista de manejo que podem proporcionar aumento da CTC do solo. Por apresentar relação também com a textura do solo, alguns solos podem apresentar CTC superiores a outros independente do manejo adotado.

5 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a nutrição com cálcio e silício são primordiais para a obtenção de incrementos produtivos na soja. A aplicação de Calsite se mostrou mais eficiente que a de calcário. O manejo de construção de fertilidade do solo e elevação da CTC a pH 7 é primordial para altas produtividades de soja, além da melhor resposta da cultura a efeitos de estresse hídrico.

Diante das condições estudadas no trabalho, considerando as duas CTC a pH 7 avaliadas as doses, calsite apresentou melhores resultados em produtividade de soja em ambas CTC pH 7, embora na maior CTC não haver diferença significativa em 5% pelo teste Tukey. Podemos observar que embora as baixas precipitações pluviométricas durante o desenvolvimento da cultura, o Calsite apresentou resposta em produtividade comparada ao calcário que possui baixa solubilidade em água e tempo de ação mais lento em função de suas características químicas do insumo, que demandam de grande volume de água para sua solubilização e tempo de ação para fazer a correção e disponibilização de nutrientes as plantas.

A aplicação de cálcio e silício através do produto Calsite nas doses estudadas em ambas CTC a pH 7 obtiveram resposta superior em produtividade comparada a testemunha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000600010.

ASTERA, M. **Cation Exchange Capacity in Soils, Simplified**. 2014. Disponível em: https://www.soilminerals.com/Cation_Exchange_Simplified.htm. Acesso em: 10 mar. 2023.

AULER, A. C. *et al.* Lime effects in a no-tillage system on inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 15, e00206, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00206.

AYE, N. S.; SALE, P. W. G.; TANG, C. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 52, p. 697-709, 2016. DOI: 10.1007/s00374-016-1111-y.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Uso de fertilizante enriquecidos com cálcio no sulco de semeadura da cultura da soja. **Mercado e Pesquisa**, p. 14-23, 2020. ISSN 2175-2214.

BARCELOS, J. P. Q. *et al.* Soil acidity amelioration improves N and C cycles in the short term in a system with soybean followed by maize-guinea grass intercropping. **Geoderma**, v. 421, n. 1, 2022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115909.

BIAZATTI, R. M. *et al.* Fitomassa do capim-braquiária e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 55368-55387, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-093.

BOSSOLANI, J. W. *et al.* Soybean in crop rotation with maize and Palisade grass intercropping enhances the long-term effects of surface liming in no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00347-2>.

BRIEDIS, C. *et al.* Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, n. 15, p. 80-88, 2012. DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.10.011.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000200008.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000100013.

CAIRES, E. F. *et al.* Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008. DOI: 10.1016/j.eja.2007.05.002.

CAIRES, E. F. *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006. DOI: 10.1590/S0103-90162006000400008.

CAIRES, E. F. *et al.* 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. DOI: 10.1016/j.eja.2015.02.008.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **Informações agronômicas**, n. 154, p. 18-21, 2016.

CALEGARI, A. *et al.* Conservation agriculture in Brazil. *In*: JAT, R. A.; SAHRAWAT, K. L.; KASSAM, A. H. (Eds.). **Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges**. CABI, Wallingford, UK, p. 55-88, 2013. DOI: 10.1079/9781780642598.0054.

CAMNPAL [Cooperativa Mista Nova Palma LTDA]. **Cotação de grãos**. 2023. Disponível em: <https://camnpal.com.br/cotacao-de-graos.html#resq>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CANTARELLA, H. *et al.* **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas, SP: Instituto agrônomo de Campinas (IAC), 2022. 500 p.

CARMEIS FILHO, A. C. A. *et al.* Changes in soil physical properties and carbon protection mechanisms by surface application of lime in a tropical no-tillage system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, p. 56-65, 2018. DOI: 10.2136/sssaj2017.04.0120.

CARMEIS FILHO, A. C. A. Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **PLoS One**, v. 12, n. 2, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0167564.

CASTRO, G. S. A. *et al.* Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Santiago, v. 16, n. 3, p. 1-15. 2016. DOI: 10.4067/S0718-95162016005000034.

CAVALCANTE, A. C. P. *et al.* Physiology of Paluma guava plants fertilized with potassium and calcium. **Idesia**, v. 36, n. 2, p. 163-172, 2018. DOI: 10.4067/S0718-34292018005000503.

CONAB [Companhia Nacional de Abastecimento]. **Safra brasileira de grãos**. 2022. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos. Acesso em: 2 jun. 2023.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais associados a herbicidas residuais no desenvolvimento da cultura da soja. **Bragantia**, v. 65, p. 421-432, 2006. DOI: 10.1590/S0006-87052006000300008.

COSTA, C. H. M. *et al.* Efeitos residuais da calagem superficial em solo tropical com plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900063.

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. DOI: 10.1016/j.eja.2015.12.001.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. 1. ed. Porto Alegre: I. Manica, 1996. 233 p.

CUNNINGHAM, C. Characterization of dry spells in Southeastern Brazil during the monsoon season. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 10, p. 4609- 4621, 2020. DOI: 10.1002/joc.6478.

CUSTÓDIO, C. C. *et al.* Estresse por alumínio e acidez em cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 145-153, 2002. DOI: 10.1590/S0103-90162002000100021.

DALLA NORA, D. *et al.* Modern high-yielding maize, wheat and soybean cultivars in response to gypsum and lime application on no-till oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-21, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcS20160504.

DAY, S. *et al.* Biodiversity management practices and benefits in conservation agriculture systems. *In*: Kassam, A. (Ed.). **Advances in Conservation Agriculture**. Volume 2: Practice and Benefits. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science, 2020. p. 267-302. DOI: 10.19103/AS.2019.0049.09.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 4, n. 55, p. 85-107, 2017. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080516-035312.

DEMATTE, J. L. I. Ação do gesso e calcário na realação do cálcio, magnésio do solo e na produtividade de cana de açúcar. **Informações Agronômicas**, n. 136, 2011. 16 p.

DONG, S. *et al.* A study on soybean responses to drought stress and rehydration. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p. 1-12, 2019. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.08.005.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *In*: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. v. 128. Delaware, EUA: Academic Press, 2014. p. 221-275. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8>.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, USA: Iowa State University, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

FERRARI NETO, J. *et al.* Soil carbon and nitrogen fractions and physical attributes affected by soil acidity amendments under no-till on Oxisol in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 24, e00347, 2021. DOI: 10.1016/j.geodrs.2020.e00347.

FERREIRA, T. R. *et al.* Lime application effects on soil aggregate properties: Use of the mean weight diameter and synchrotron-based X-ray μ CT techniques. **Geoderma**, v. 338, n. 15, p. 585-596, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.035.

FIORIN, J. E.; SILVA, A. N. Relação entre pH em água e saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. *In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2013. Florianópolis, SC: SBCS, 2013. Disponível em: <https://www.sbc.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2404.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. 5. ed. Passo Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo (UPF), 2011. 734 p.

FONTOURA, S. M. V. *et al.* Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 193, n. 26, p. 27-41, out. 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.005.

FORNARA, D. A. *et al.* Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. **Global Change Biology**, v. 17, n. 5, p. 1925-1934, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02328.x.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 1, p. 35-46, 2014. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30012-5.

FUENTES-LLANILLO, R. *et al.* Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, 104877, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104877.

GABRIEL, S. G.; BUENO, A. C.; SANTOS, R. F. Resposta da soja (*Glycine max*) à duas diferentes fontes de potássio. **Revista Uningá Review**, v. 25 n. 1, p. 5-9, 2016.

ISLAM, M. S. *et al.* Soybean and sustainable agriculture for food security. *In: OHYAMA, T. (Ed.). Soybean - recent advances in research and applications*. London, UK: Intech Open, 2022. 284 p. DOI: 10.5772/intechopen.98162.

HARTER, F. S.; BARROS, A. C. S. A. Cálcio e silício na produção e qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 54-60, 2011. DOI: 10.1590/S0101-31222011000100006.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**, 2002. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002.

HOLLAND, J. E. *et al.* Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. **Science of The Total Environment**, v. 610-611, n. 1, p. 316-332, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.

HOLZSCHUH, M J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**, 2007. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

INAGAKI, T. M. *et al.* Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of The Total Environment**, v. 599-600, n. 1, p. 523-532, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.234.

KAN, Z. R. *et al.* Carbon sequestration and mineralization in soil aggregates under long-term conservation tillage in the North China Plain. **Catena**, v. 188, 104428, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104428.

KLERKX, L.; ROSE, D. Lidando com a mudança de tecnologias da Agricultura 4.0: Como podemos gerenciar a diversidade e responsabilidade nas vias de transição do sistema alimentar? **Segurança Alimentar Global**, v. 24, 2020.

KUNERT, K.; VORSTER, J. B. In search for drought-tolerant soybean: is the slow-wilting phenotype more than just a curiosity? **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 2, p. 457-460, 2020. DOI: 10.1093/jxb/erz235.

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, p. 83-100, 2018.

LABORSOLO. **Labor News**. 2023. Disponível em: <https://laborsolo.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LIMA, E. *et al.* Cálcio e Magnésio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 465-490.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. Belo Horizonte, MG: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2004. 50 p. (Boletim Técnico, 2). Disponível em: https://www.agrolink.com.br/downloads/interpretacao_de_analise%20de_solo_conceitos_e_aplicacoes.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

LOPES, V. C. *et al.* Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985-2017. **Land Use Policy**, n. 97, 104740, 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104740.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, J. F.; VIEIRA, C. R. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i1.6908.

MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York, USA: Academic Press, 2012. 651 p.

MARTINS, M. C. *et al.* Época de semeadura, densidade de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999. DOI: 10.1590/S0103-90161999000400012.

MEDA, A. R. *et al.* Plantas invasoras para a melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 647-654, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000300009.

MELLO, E. S.; BRUM, A. L. O direito ao desenvolvimento e a produção local: O plantio direto da soja como uma alternativa de desenvolvimento econômico. **Revista Gestão e desenvolvimento em contexto (GEDECON)**, v.1, n. 01, p.133-154, 2013.

MENG, C. *et al.* Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 1-10, 2019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab239c.

MIRANDA, L. N. *et al.* Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40 n. 6, p. 563-572, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000600006.

NABINGER, C. *et al.* Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. *In*: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009, p. 175-198.

NATALE, W. *et al.* Acidez do solo com calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p.1294-1306, 2012. DOI: 10.1590/S0100-29452012000400041.

NEGRI, C. **Produtividade da soja influenciada por fontes de cálcio e enxofre no sistema plantio direto**, 2023. 69 p. Dissertação (Mestrado profissional em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Santa Maria, RS, 2023.

NEIS, L. *et al.* Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200014.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. Florianópolis, SC: Epagri, 2002. 31 p. (Boletim Técnico, 122).

OLIVEIRA, I. P. *et al.* Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2005.

OSMAN, K. T. Acid soils and acid sulfate soils. *In*: OSMAN, Khan Towhid. **Management of Soil Problems**. New York, USA: Springer, 2018. p. 299-332. DOI: 10.1007/978-3-319-75527-4_11.

PAGE, K. L. *et al.* Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: impact on productivity and profitability over a 50-year period. **Soil and Tillage Research**, v. 194, 104319, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104319.

PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no Sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495- 505, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000200014.

PEREIRA JÚNIOR, P. **Doses de silício na produtividade de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e suas características agrônômicas**, 2008. 37 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.

PEREIRA, P. A. A. *et al.* The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. **Agriculture & Food Security**, v. 1, n. 4, 2012. DOI: 10.1186/2048-7010-1-4.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. R. **Solos**. Santa Maria, RS: Colégio Politécnico - Rede e-Tec Brasil, 2015. 90 p.

PIAS, O. H. C. *et al.* Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 2, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20125.

PILLAR, V. D. P. *et al.* **Campos Sulinos** - conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 443 p.

PINELLI, N. **O que é agricultura de precisão?** 2015. Disponível em: <http://projetodraft.com/o-que-e-agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.

PRIMAVESI, A. A; PRIMAVESI, A. (Eds.). **A biocenose do solo na produção vegetal e deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. 1. ed. São Paulo, SP: Expressão Popular, 2018. 608 p.

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

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; MALAVOLTA, E. Alternative use of SMP buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications Soil Science Plant Analysis**, v. 16, n. 3, p. 245-260, 1985. DOI: 10.1080/00103628509367600.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2019.

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**, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000500023.

RATKE, R. F. *et al.* Different limestone particle sizes for soil acidity correction, Ca and Mg supply and corn yield. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 175-184, 2018. DOI: 10.14295/cs.v9i2.2205.

RHEINHEIMER, D. S. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000400012>.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian Sandy Ultisol. **Gederra**, v. 313, p. 7-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.024>.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1. ed. Campinas, SP: Embrapa, 2010. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SANTOS, A. C. *et al.* Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com tempo de incubação. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 77-83, 2010.

SANTOS, H. G. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SÁVIO, F. L. *et al.* Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2011. DOI: [10.12971/2179-5959.v02n01a02](https://doi.org/10.12971/2179-5959.v02n01a02).

SBCS [Sociedade Brasileira de Ciência do Solo]. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, RS: Comissão De Química e Fertilidade do Solo - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 376 p.

SCHNEIDER, J. *et al.* Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 701-709, 2011.

SENTELHAS, P. C. *et al.* The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agriculture Science**, v. 153, p. 1394-1411, 2015. DOI: [10.1017/S0021859615000313](https://doi.org/10.1017/S0021859615000313).

SHI, R.; LI, J.; NI, N. Understanding the biochar's role in ameliorating soil acidity. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 7, 2019. DOI: [10.1016/S2095-3119\(18\)62148-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62148-3).

SOTI, P. S. *et al.* Effect of soil pH on growth, nutrient uptake, and mycorrhizal colonization in exotic invasive *Lygodium microphyllum*. **Plant Ecology**, v. 216, p. 989-998, 2015. DOI: [10.1007/s11258-015-0484-6](https://doi.org/10.1007/s11258-015-0484-6).

SILVA, R. R.; SARTORI, M. G. B.; WOLLMANN, C. A. Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja, no município de Ibirubá - RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 296-314, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/6006/a277c6687df0b388ab26584d2cb861a2651d.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

SINGH, R.; PARIHAR, P.; PRASAD, S. M. Simultaneous exposure of sulphur and calcium hinder as toxicity: upregulation of growth, mineral nutrients uptake and antioxidants system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, p. 318-331, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.05.060.

SOBRAL, L. F. *et al.* Liberação de K pelo flogopitito em um Argissolo cultivado com coqueiro anão verde irrigado. *In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2009. Fortaleza, CE. **Anais [...]**. Fortaleza, CE: SBCS, 2009.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 715-725, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200026.

SOUZA, T. T.; LIMA, A. B.; TEIXEIRA, W. G. O aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo através da aplicação de carvão vegetal em um latossolo amarelo na Amazonia central. *In: 61ª Reunião Anual da SBPC*, 2009. Manaus, AM: SBCS, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186621/1/S8633.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.

TAMÁS, L. *et al.* Aluminium-induced drought and oxidative stress in barley roots. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, n. 7, p. 178-784, 2006. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.08.012

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre,RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 174 p.

TELLES, T. S.; DECHEN, S. C. F.; GUIMARAES, M. F. Institutional landmarks in Brazilian research on soil erosion: a historical overview. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1431-1440, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600001.

THOR, K. Calcium-nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, v. 25, n. 10, p. 1-10, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00440.

USDA [United States Department of Agriculture]. **Data**. Disponível em: www.usda.gov/topics/data. Acesso em: 25 mar. 2023.

VERONESE, M. *et al.* Cover crops and liming in the implementation of no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000800017.

VERZUTTI, J. **CTC do solo: 6 perguntas para ficar por dentro do assunto!** Agropós. Disponível em: <https://agropos.com.br/ctc-do-solo/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plant. **Annals of Botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003. DOI: 10.1093/aob/mcg164.

YANG, Z.-B.; RAO, I. M.; HORST, W. J. Interaction of aluminium and drought stress on root growth and crop yield on acid soils. **Plant and Soil**, v. 372, n. 1, p. 3-25, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1580-1.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture-status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.08.008.

**APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DA VARIÁVEL
REPOSTA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA DA CULTIVAR BMX
CROMO SANTA MARIA, RS, 2023.**

| ANOVA | CN A | CN B |
|---------------------|--------|-------|
| S.Q Blocos | 22,88 | 10,30 |
| Q.M Blocos | 11,44 | 5,15 |
| F Blocos | 0,30 | 0,80 |
| F (%) Blocos | 4,10 | 4,10 |
| p-value de F Blocos | 0,75 | 0,47 |
| S.Q Trat | 142,91 | 171,0 |
| Q.M Trat | 28,58 | 34,20 |
| F Trat | 0,74 | 5,34 |
| F (%) Trat | 3,33 | 3,33 |
| p-value de F Trat | 0,61 | 0,01 |
| S.Q Resíduo | 386,26 | 64,07 |
| Q,M Resíduo | 38,63 | 6,41 |
| Shapiro Wilk | 0,60 | 0,43 |
| Bartlett | 0,49 | 0,97 |
| C.V. (%) | 11,49 | 9,44 |
| DMS | 17,63 | 7,18 |

APÊNDICE B - VALORES DA ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO PARA OS DADOS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA DA CULTIVAR BMX CROMO NA ÁREA CAMPO NATIVO COM CTC PH7 ALTA (CN A), SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023.

| Estatística de regressão | |
|---------------------------------|-------------|
| R múltiplo | 0,622602117 |
| R-Quadrado | 0,681710 |
| Erro padrão | 2,423251259 |
| Observações | 5 |

APÊNDICE C - ANOVA, SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023.

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|--------------------------|
| Regressão | 1 | 11,15136 | 11,15136 | 1,899026 | 0,261983432 |
| Resíduo | 3 | 17,61644 | 5,872146667 | | |
| Total | 4 | 28,7678 | | | |
| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significação</i> |
| Regressão | 1 | 17,161 | 17,161 | 1,532256 | 0,303819003 |
| Resíduo | 3 | 33,59948 | 11,19983 | | |
| Total | 4 | 50,76048 | | | |

APÊNDICE D – ANÁLISES ESTTATÍSTICAS DOS DADOS.

| | Coe f. | Erro padrão | Stat t | valor -P | 95% inferior e | 95% superior e | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Interseção | 53,2 56 | 1,5797 66544 | 33,711 3102 | 5,74 E-05 | 48,2284 778 | 58,2835 2 | 48,2284 8 | 58,2835 2 |
| Doses de Calsite (kg ha- 1) | 0,00 264 | 0,0019 15748 | 1,3780 51573 | 0,26 1983 | - 0,00345 6766 | 0,00873 7 | - 0,00346 | 0,00873 7 |

| | Coef | Erro padrão | Stat t | valor -P | 95% inferiore s | 95% superior es | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Interseção | 25,3 03 | 2,1817 2554 | 11,5 977 | 0,00 1377 | 18,3597 7562 | 32,2462 2438 | 18,3597 8 | 32,2462 2 |
| Doses de Calsite (kg ha- 1) | 0,00 3275 | 0,0026 45731 | 1,23 7843 | 0,30 3819 | - 0,00514 4896 | 0,01169 4896 | - 0,00514 | 0,01169 5 |

**APÊNDICE E - VISÃO GERAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E CALSITE
NAS PARCELAS, SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023.**



**APÊNDICE F - VISÃO DA ÁREA ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO.
SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2023.**

