

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALEXANDRE FRIEDRICH RIBAS

DESEMPENHO DE SULCADORES NA DINÂMICA DOS NUTRIENTES  
E NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA NUM SISTEMA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A CALAGEM  
E GESSAGEM

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ALEXANDRE FRIEDRICH RIBAS**

**DESEMPENHO DE SULCADORES NA DINÂMICA DOS NUTRIENTES  
E NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA NUM SISTEMA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A CALAGEM  
E GESSAGEM**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**ALEXANDRE FRIEDRICH RIBAS**

**DESEMPENHO DE SULCADORES NA DINÂMICA DOS NUTRIENTES E  
NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DA SOJA NUM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A CALAGEM E  
GESSAGEM**

**Performance evaluation of furrow openers in the nutriente dynamics  
and in the soybean agricultural development in na integrated crop-  
livestock system subjected to liming and gypsum**

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área  
de Concentração: Solos e Sistemas Integrados De  
Produção Agropecuária da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Luís César Cassol

Coorientador: Betania Brum de Bortolli

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco**



ALEXANDRE FRIEDRICH RIBAS

**DESEMPENHO DE SULCADORES NA DINÂMICA DOS NUTRIENTES E NO DESENVOLVIMENTO  
AGRONÔMICO DA SOJA NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A CALAGEM  
E GESSAGEM**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 16 de Março de 2021

Prof Luis Cesar Cassol, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Alcir Jose Modolo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Marcelo Marques Lopes Muller, Doutorado - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 24/03/2021.

Dedico este trabalho para a minha família, os quais sempre colaboraram para que eu pudesse progredir em minha carreira profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de realizar mais uma etapa de minha carreira profissional.

Agradecer aos meus pais e a minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica.

Agradecer ao meu orientador e a minha coorientadora, os quais sempre estiveram prontos para esclarecer dúvidas, compartilhar seus conhecimentos e pela confiança e orientações.

Também gostaria de agradecer a todos os membros do Grupo GEXPLIP, onde contribuíram para a aquisição dos dados gerados a campo nesse trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAG), pela oportunidade de realização do mestrado.

Agradecer ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos e pela oportunidade de realização do mestrado.

Agradecer ao Laboratório de Solos (LABSOLOS) da UTFPR/Campus Pato Branco pelo auxílio nas análises e transmissão de conhecimento.

Agradecer ao Sr. Marcos De Bortolli, proprietário da área onde foi realizado o experimento.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar).

## RESUMO

RIBAS, Alexandre F. Desempenho de sulcadores na dinâmica dos nutrientes e no desenvolvimento agrônômico da soja num sistema de integração lavoura-pecuária submetido a calagem e gessagem. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados De Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

A utilização de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, em áreas conduzidas no Sistema Plantio Direto, melhora as condições de solo, desde que ambos sejam corretamente utilizados. Caso contrário, as áreas podem apresentar problemas com compactação e concentração de nutrientes na camada superficial, comprometendo o crescimento radicular das plantas e o rendimento de grãos, especialmente em anos de déficit hídrico. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a dinâmica de nutrientes no perfil do solo e o desempenho agrônômico da cultura da soja implantada com diferentes mecanismos sulcadores, combinado com formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área anteriormente pastejada no inverno. O experimento foi implantado no município de Vitorino – PR, num Latossolo Vermelho Distroférico, em área cultivada com soja no verão e aveia preta para pastejo animal no outono-inverno. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema bifatorial (2x4) em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram utilizados dois mecanismos sulcadores na semeadura da soja (discos duplos desencontrados e hastes sulcadoras). Nas subparcelas foram aplicados quatro fatores de correção/condicionamento da acidez do solo (sem correção; dose recomendada de calcário – 1 t ha<sup>-1</sup>; dose de gesso – 2 t ha<sup>-1</sup>; mistura calcário + gesso – 3 t ha<sup>-1</sup>). A cultivar de soja utilizada foi a TMG “7262”. O solo foi caracterizado quimicamente aos seis e aos 12 meses após a aplicação dos tratamentos, em cinco profundidades. Também foram determinados parâmetros de uniformidade na semeadura, componentes de rendimento e rendimento de grãos de soja na safra 2019/2020. Foram observadas modificações no pH e nos teores de cálcio e de magnésio apenas nas camadas mais superficiais do solo e quando foi utilizado o sistema de discos duplos desencontrados em presença de calcário, sem efeitos nas camadas mais profundas, nem pelo uso do gesso, tampouco pelo uso de haste sulcadora na semeadura da soja. O uso da haste sulcadora, juntamente com o gesso ou sua mistura com calcário, aumentou o estande final de plantas de soja e a porcentagem de plântulas de soja com espaçamento normal. Apesar de maior altura de inserção da primeira vagem com o uso de discos duplos desencontrados e de maior número de grãos por planta com calcário e gesso, o rendimento de grãos não foi influenciado pela ação dos fatores mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo, possivelmente pela ausência de limitação hídrica durante o cultivo.

**Palavras-chave:** Perfil do solo. Mecanismos sulcadores. Calcário. Gesso.

## ABSTRACT

RIBAS, Alexandre F. Performance evaluation of furrow openers in the nutrient dynamics and in the soybean agricultural development in a integrated crop-livestock system subjected to liming and gypsum. 80 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Systems of Agricultural), Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

The use of integrated systems of agricultural in areas under a no-tillage system improves the soil conditions as long as both are used correctly. If an inappropriate use of these systems is carried out, the areas might present problems both on soil compaction and on nutrients concentration on their superficial layer, which may harm the root growth of plants and the grain yield, especially during long periods of water deficit. Considering all the above-mentioned, the aim of the experiment was to evaluate the nutrient dynamics in soil profile and the agronomic performance of soybean crop implanted with different furrow mechanisms, combined with ways of correcting and conditioning soil acidity in an area previously grazed in winter. The experiment was carried out in Vitorino, a town in the State of Paraná, on a dystrophic Oxisol, in a field that was cultivated with soy in the summer and black oats for animal grazing in fall-winter. The experiment was carried out in a randomized blocks design, in a bifactorial scheme (2x4) in subdivided plots with four repetitions. In the main plots, two furrow mechanisms were used in the soybean sowing operations were allocated (mismatched double discs and hoe furrow opener). In the subplots, four ways of correcting and conditioning soil acidity were applied (without any corrections; with the recommended dose of limestone -  $1 \text{ t ha}^{-1}$ ; with the dose of gypsum -  $2 \text{ t ha}^{-1}$ ; a gypsum-limestone mixture -  $3 \text{ t ha}^{-1}$ ). The soybean cultivar tested was TMG "7262". Also, the soil was chemically characterized twice at five different depths. The first time it was characterized six months after the treatment was applied, and on the second time, twelve months after the treatment started. Sowing uniformity parameters as well as yield components and soybean yield in the 2019/20 harvest were also determined. Small changes in pH and calcium and magnesium rates were observed only in the most superficial layers of the soil when it was prepared with the use of mismatched double disks and limestone, but it did not have any effects on deeper layers, nor by the use of gypsum, nor by the use of a hoe furrow opener in the soybean sowing. The use of the hoe furrow opener along with gypsum or its mixture with limestone increased the final stand of soybean plants and the percentage of soybean seedlings with normal spacing. Despite the greater height of insertion of the first pod with the use of mismatched double discs and a greater number of grains per plant with limestone and gypsum, the grain yield was not influenced by the action of the furrow mechanisms and the ways of correcting and conditioning soil acidity, possibly because there was no water limitation during cultivation.

**Keywords:** Soil profile. Furrow openers. Limestone. Gypsum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Dados de precipitação média durante o período experimental compreendido entre os meses de outubro de 2018 até março de 2020.....33
- Figura 2 - Croqui do experimento com a disposição dos tratamentos. A1 – Semeadora com discos duplos desencontrados; A2 – Semeadora com haste sulcadora; D1 – Sem correção do solo; D2 – Correção com dose recomendada de calcário; D3 – Correção com gesso agrícola; D4 – Correção com mistura de calcário x gesso agrícola.....34
- Figura 3 – Relação média entre pH-CaCl<sub>2</sub> e saturação por bases em amostras de solo coletadas em cinco profundidades. Vitorino-PR, 2021.....41

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Caracterização química da área experimental, em seis profundidades, antes do início do experimento. Vitorino-PR, 2021..... 32
- Tabela 2 – Cálcio (Ca) trocável em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021. .... 43
- Tabela 3 – Magnésio (Mg) trocável em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em uma área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 44
- Tabela 4 – pH do solo em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em uma área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 47
- Tabela 5 – Teores médios de Magnésio, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, sob efeito das formas de correção e condicionamento do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 48
- Tabela 6 - Resumo da análise de variância para variáveis estande inicial de plântulas (EIP, em plantas m<sup>-1</sup>), porcentagem de plântulas com espaçamento normal (EN, em %), porcentagem de plântulas com espaçamento duplo (ED, em %), porcentagem de plântulas com espaçamento falho (EF, em %) e estande final (EFP, em plantas m<sup>-1</sup>), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021..... 49
- Tabela 7 - Estande final de plantas de soja sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 51
- Tabela 8 – Porcentagem média de plântulas de soja com espaçamento normal sob efeito da interação entre mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 53
- Tabela 9 – Porcentagem média de plântulas de soja com espaçamento falho sob efeito da interação entre mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... 54
- Tabela 10 - Resumo da análise de variância para variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura da primeira inserção de vagem (AIPV, em cm), altura de plantas (AP, em cm), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021..... 55
- Tabela 11 - Resumo da análise de variância para variáveis peso de mil grãos (PMG, em gramas), peso de cada grão por planta (PGP, em gramas) e rendimento em Kg por hectare (REND, em Kg ha<sup>-1</sup>), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021..... 56

|  |    |
|--|----|
| Tabela 12 - Altura média de inserção da primeira vagem de soja (AIPV), sob efeito dos mecanismos sulcadores em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.....                    | 57 |
| Tabela 13 - Número médio de grãos por planta de soja (NGP) sob efeito das formas de correção/condicionamento da acidez do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021..... | 57 |

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

|          |   |
|----------|---|
| CONAB    | Companhia Nacional de Abastecimento                               |
| DERAL    | Departamento de Economia Rural                                    |
| EMBRAPA  | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                       |
| FAO      | Food and Agriculture Organization                                 |
| FEBRAPDP | Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto                    |
| IAPAR    | Instituto Agronômico do Paraná                                    |
| NEPAR    | Núcleo Estadual Paraná de Sociedade Brasileira de Ciência do Solo |
| PR       | Unidade da Federação – Paraná                                     |
| SIMEPAR  | Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná         |
| UTFPR    | Universidade Tecnológica Federal do Paraná                        |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|       |   |
|-------|---|
| A1    | Semeadora com discos duplos desencontrados        |
| A2    | Semeadora com haste sulcadora                     |
| AIPV  | Altura de Inserção Primeira Vagem                 |
| AP    | Altura de Plantas                                 |
| Cfb   | Clima Subtropical úmido                           |
| D1    | Sem correção do solo                              |
| D2    | Correção com dose recomendada de calcário         |
| D3    | Correção com dose recomendada de gesso            |
| D4    | Correção com mistura de calcário x gesso          |
| ED    | Porcentagem de espaçamento duplo entre plântulas  |
| EF    | Estande Final de plantas                          |
| EF    | Porcentagem de espaçamento falho entre plântulas  |
| EI    | Estande Inicial de plantas                        |
| EN    | Porcentagem de espaçamento normal entre plântulas |
| GL    | Graus de liberdade                                |
| ILP   | Integração Lavoura-Pecuária                       |
| NGP   | Número de Grãos por Planta                        |
| NGV   | Número de Grãos por Vagem                         |
| ns    | Não Significativo                                 |
| NVP   | Número de Vagens por Planta                       |
| PGP   | Peso de grãos por Planta                          |
| pH    | Potencial Hidrogeniônico                          |
| PMG   | Peso de mil Grãos                                 |
| REND  | Rendimento  |
| SIPAS | Sistemas Integrados de Produção Agropecuária      |
| SPD   | Sistema Plantio Direto                            |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| *                                  | Interação significativa a nível de 5 % de probabilidade de erro |
| %                                  | Porcentagem   |
| <                                  | Menor   |
| >                                  | Maior   |
| Al <sup>3+</sup>                   | Alumínio  |
| Ca <sup>2+</sup>                   | Cálcio  |
| cm                                 | Centímetros   |
| cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Centimol de carga por decímetro cúbico                          |
| CV                                 | Coefficiente de Variação  |
| g                                  | Gramas  |
| K                                  | Potássio  |
| Kg                                 | Quilograma  |
| Kg ha <sup>-1</sup>                | Quilograma por hectare  |
| L ha <sup>-1</sup>                 | Litros por hectare  |
| m <sup>-1</sup>                    | Metro linear  |
| m <sup>2</sup>                     | Metro quadrado  |
| Mg                                 | Magnésio  |
| Mg ha <sup>-1</sup>                | Megagrama por hectare   |
| Mg m <sup>-3</sup>                 | Megagrama por metro cúbico                                      |
| MO                                 | Matéria orgânica  |
| ° C                                | Graus centígrados   |
| P                                  | Fósforo   |
| S                                  | Enxofre   |
| V%                                 | Saturação por bases   |
| x                                  | <i>Versus</i>   |
| α = 5%                             | Nível de significância  |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>17</b> |
| 1.1 HIPÓTESE.....   | 19        |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | 19        |
| 1.2.1 Geral.....  | 19        |
| 1.2.2 Específicos.....  | 19        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>20</b> |
| 2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....                                   | 20        |
| 2.2 CULTURA DA SOJA.....  | 21        |
| 2.3 MÉTODOS DE CORREÇÃO DA ACIDEZ E CONDICIONAMENTO DE SOLO.....                        | 23        |
| 2.3.1 Correção do solo por meio de calagem.....   | 23        |
| 2.3.2 Correção do solo com uso da gessagem.....   | 25        |
| 2.3.3 Correção do solo com aplicação conjunta de calcário e gesso.....                  | 28        |
| 2.4 MECANISMOS SULCADORES USADOS NA SEMEADURA DA SOJA.....                              | 29        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>32</b> |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....   | 32        |
| 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....  | 33        |
| 3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....  | 34        |
| 3.4 VARIÁVEIS ESTUDADAS.....  | 35        |
| 3.4.1 Parâmetros de fertilidade do solo.....  | 36        |
| 3.4.2 Uniformidade e distribuição na semeadura da soja.....                             | 36        |
| 3.4.3 Estande Inicial e Final da cultura da soja.....                                   | 37        |
| 3.4.4 Componentes de rendimento e rendimento de grãos de soja.....                      | 37        |
| 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....  | 38        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>  | <b>40</b> |
| 4.1 DINÂMICA DOS NUTRIENTES NO SOLO.....  | 40        |
| 4.1.1 Amostragem realizada seis meses após a correção do solo.....                      | 40        |
| 4.1.2 Amostragem realizada doze meses após a correção do solo.....                      | 45        |
| 4.2 UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS DE SOJA EM ÁREA<br>PASTEJADA NO INVERNO..... | 49        |
| 4.3 DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DA SOJA EM ÁREA<br>PASTEJADA NO INVERNO.....       | 55        |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>60</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>62</b> |

**ANEXOS.....74**

ANEXO A – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis pH de 0 a 5 cm, pH de 5 a 10 cm, pH de 10 a 20 cm, pH de 20 a 40 cm, pH de 40 a 60 cm, Ca de 0 a 5 cm, Ca de 5 a 10 cm, Ca de 10 a 20 cm, Ca de 20 a 40 cm, Ca de 40 a 60 cm, Mg de 0 a 5 cm, Mg de 5 a 10 cm, Mg de 10 a 20 cm, Mg de 20 a 40 cm, Mg de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 6 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.....75

ANEXO B – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis Al de 0 a 5 cm, Al de 5 a 10 cm, Al de 10 a 20 cm, Al de 20 a 40 cm, Al de 40 a 60 cm, V% de 0 a 5 cm, V% de 5 a 10 cm, V% de 10 a 20 cm, V% de 20 a 40 cm, V% de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 6 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.....76

ANEXO C – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis pH de 0 a 5 cm, pH de 5 a 10 cm, pH de 10 a 20 cm, pH de 20 a 40 cm, pH de 40 a 60 cm, Ca de 0 a 5 cm, Ca de 5 a 10 cm, Ca de 10 a 20 cm, Ca de 20 a 40 cm, Ca de 40 a 60 cm, Mg de 0 a 5 cm, Mg de 5 a 10 cm, Mg de 10 a 20 cm, Mg de 20 a 40 cm, Mg de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 12 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.....77

ANEXO D – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada

de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis Al de 0 a 5 cm, Al de 5 a 10 cm, Al de 10 a 20 cm, Al de 20 a 40 cm, Al de 40 a 60 cm, V% de 0 a 5 cm, V% de 5 a 10 cm, V% de 10 a 20 cm, V% de 20 a 40 cm, V% de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 12 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.....78

## 1 INTRODUÇÃO

O uso intensivo dos solos agrícolas, quando de forma inadequada, é um potencial degradador dos mesmos, afetando a produtividade das culturas e a qualidade do ambiente. Visando solucionar esses problemas, através de melhorias nas condições de solo, técnicas como o Sistema Plantio Direto (SPD), associado a Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPAS), como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), se desenvolveram nas últimas décadas. Esses sistemas beneficiam o solo com acúmulo de material vegetal, rotação de cultivos com plantas forrageiras que melhoram a ciclagem de nutrientes e tornam um ambiente favorável para a recuperação e manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (FLORES et al., 2007; CHIODEROLLI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013).

Entre as medidas conservacionistas visando melhorias na qualidade do solo, o SPD vem sendo muito utilizado e pesquisado na agricultura brasileira, com uma área estimada de 30 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2017). Entende-se por qualidade de um solo a sua capacidade de estocar e de reciclar a água, nutrientes e energia, integrando as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, mantendo a relação com o tripé da sustentabilidade agrícola, fatores esses que ao longo dos anos garantirão uma produção socialmente justa, economicamente viável e ambientalmente correta (VEZZANI et al., 2009).

Nos sistemas conservacionistas de uso e manejo do solo, as correções de solo e adubações realizadas na superfície, sem incorporação, podem elevar a concentração de alguns nutrientes nas camadas superficiais, modificando a distribuição e morfologia das raízes, com consequências diretas no crescimento da parte aérea e na produtividade das plantas (SCHERER et al., 2007).

A utilização de SIPAS, quando associadas ao SPD, é capaz de incrementar a produção de alimentos de forma eficiente e sustentável (FAO, 2010), diminuindo o ímpeto para a abertura de novas áreas. Outro benefício de sua utilização é a diversificação e o incremento da renda do produtor rural, por meio da utilização do componente animal na mesma área de cultivo em sucessão a cultura de verão (CONTE, 2007).

A introdução do animal nos SIPAS promove alterações nas

propriedades de solo por efeitos do pisoteio, dependentes da altura de manejo da pastagem (intensidade de pastejo), onde altas intensidades de pastejo podem promover a compactação superficial do solo, redução de macroporosidade, comprometendo o crescimento do sistema radicular das plantas, bem como o processo de carreamento físico do calcário (CASSOL, 2003).

Nessas circunstâncias, a utilização de semeadoras equipadas com haste sulcadora favorece maior desenvolvimento de raízes, melhorando o aproveitamento de água e de nutrientes, podendo também interferir na qualidade de germinação da cultura a ser implantada (VIZZOTTO, 2014). A haste sulcadora proporciona maior profundidade e uniformidade na semeadura das culturas, mesmo em áreas em que se utiliza o pastejo animal no período de inverno (MODOLO et al., 2013).

Outra opção, visando oferecer um perfil de solo que promova crescimento das raízes em maiores profundidades, é o uso do gesso agrícola especialmente em áreas que apresentam limitações químicas (alto  $Al^{3+}$  e baixo  $Ca^{2+}$ ) no subsolo. Esse produto, por apresentar maior solubilidade em relação ao calcário, se caracteriza como um condicionador de solo, promovendo descida de cátions básicos e redução na atividade do íon  $Al^{3+}$  pela formação de par iônico com o ânion  $SO_4^{2-}$  (VITTI; PRIORI, 2009).

Em geral, os preceitos do SPD não vêm sendo utilizados na sua totalidade pelos produtores, caracterizados por baixa ou ausência de rotação de culturas e cobertura inadequada do solo. Da mesma forma, a utilização da ILP, com alta intensidade de pastejo e baixa oferta de forragem, também vem trazendo problemas com compactação dos solos na camada superficial. Nessas condições, espera-se que mudanças no uso de mecanismos sulcadores, associado com materiais de maior solubilidade no solo, possam melhorar a condição de fertilidade ao longo do perfil do solo, favorecendo um melhor enraizamento para as plantas.

## 1.1 HIPÓTESE

Nesse contexto, o presente trabalho está fundamentado na seguinte hipótese:

O uso de gesso, em ambiente pastejado, associado à semeadura com haste sulcadora, aumenta a disponibilidade de nutrientes em profundidade no perfil do solo, obtendo um melhor estande de plantas e produção de grãos em sistema de integração lavoura-pecuária.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Avaliar a dinâmica de nutrientes no perfil do solo e o desempenho agrônômico da cultura da soja implantada com diferentes mecanismos sulcadores, combinadas com formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área anteriormente pastejada no inverno.

### 1.2.2 Específicos

Verificar se existe interação entre os mecanismos sulcadores e o uso de corretivo/condicionador de solo em relação à disponibilidade de nutrientes e ao rendimento de grãos.

Avaliar a dinâmica dos nutrientes ao longo do perfil do solo, até 60 cm de profundidade, em situação de uso de gesso agrícola e calcário.

Verificar o efeito do uso da haste sulcadora em comparação ao uso de discos, sobre o estande de plantas, a disponibilidade de nutrientes, a uniformidade de distribuição de sementes e o rendimento de grãos de soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A agropecuária brasileira vem passando por profundas transformações ao longo do tempo. Nas últimas décadas a introdução do sistema plantio direto (SPD), aliada ao melhoramento genético e ampliação do uso de insumos, trouxe aumentos de produtividade, mas, principalmente, uma melhoria na qualidade dos solos, sempre que o sistema foi utilizado atendendo aos seus preceitos básicos. Mais recentemente, o uso de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAS) vem crescendo no Sul do Brasil, com o intuito de ocupar áreas ociosas de produção no outono-inverno. Nesses sistemas, merece destaque a integração lavoura-pecuária (ILP), com produção animal (leite ou carne) no outono-inverno e lavouras de grão no verão, com real destaque para a soja.

Por força de características desses sistemas, dependendo de cada caso, é possível o surgimento de alguns problemas de compactação e de correção de acidez/fertilidade nas camadas subsuperficiais do solo. Desta forma, se faz importante estudar a viabilidade do uso de diferentes implementos ou mesmo insumos capazes de melhorar as condições de superfície e subsuperfície, visando maior resistência das plantas aos períodos de déficit hídrico.

### 2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Para atender aos vários desafios impostos à agricultura, com vistas a produção de alimentos em elevada quantidade e qualidade, garantia da segurança alimentar, produção de energia, fibra, madeira e outros bens para a humanidade, o uso de SIPAS (Sistemas Integrados de Produção Agropecuária) surge como uma excelente ferramenta para aumentar a produção de alimentos de forma eficiente e sustentável (FAO, 2010).

Dentre as vantagens dos SIPAS estão o uso eficiente dos recursos naturais (WRIGHT et al., 2012), a ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (SALTON et al., 2014), a manutenção dos níveis de produtividade elevados (BALBINOT JR et al., 2009), as relações sinérgicas que ocorrem entre os componentes solo, planta e animal que o compõem. A sustentabilidade do sistema

depende, principalmente, do manejo correto dos mesmos, interagindo entre si (CARVALHO et al., 2014).

Em SIPAS, a disponibilidade dos nutrientes está diretamente ligada à quantidade disponível no solo e à velocidade com que os nutrientes provenientes dos resíduos vegetais e animais são liberados para o solo. Quando se tem o conhecimento dos fatores e dos processos que determinam a ciclagem de nutrientes, pode-se realizar uma sincronização da disponibilidade e da quantidade demandada pela cultura sucessora (FERREIRA, 2011).

Por meio do cultivo de espécies forrageiras de inverno com alta capacidade de produção de massa seca, a integração entre lavoura e pecuária se torna uma ótima ferramenta para a produção de carne e/ou leite, pois nesse período há escassez de produção de massa de forragem nas pastagens de verão. Com isso os sistemas integrados de produção agropecuários fornecem uma renda extra, além de possibilitar o cultivo de grãos no verão em uma mesma área (BALBINOT JR et al., 2009).

Nos sistemas integrados de produção, desde que com um adequado manejo da pastagem, seja anual ou perene, a ação do pisoteio não ocasiona, necessariamente, compactação do solo, o que viabiliza o estabelecimento, em plantio direto, de culturas para produção vegetal em sucessão às pastagens (BALBINOT JR et al., 2009).

Também é possível, em sistema de integração lavoura-pecuária, que o calcário aplicado em superfície atinja as camadas subsuperficiais pouco tempo após a sua aplicação, conforme foi demonstrado por Cassol (2003) e Martins et al. (2014), numa condição de solo muito argiloso.

Apesar desses resultados, ainda pairam dúvidas em relação ao processo de compactação do solo e melhorias nas condições químicas do perfil do solo em ambientes pastejados. Nesses ambientes o uso de mecanismos sulcadores do tipo haste, além de produtos de maior solubilidade no solo, como o gesso agrícola, vem merecendo algum tipo de atenção pela pesquisa.

## 2.2 CULTURA DA SOJA

A soja é uma cultura com grande importância no mercado mundial devido à sua alta qualidade como fonte de proteína em dietas de humanos e animais (RAFIEE et al., 2009), além de ter uma alta capacidade produtiva com custo de produção inferior quando comparado com a colheita de outros grãos (PFEIFER et al., 2010). Nacionalmente, a cultura da soja possui posição de destaque, dentre as atividades agrícolas, desempenhando um papel importante para o desenvolvimento de várias regiões brasileiras (LAZZAROTTO et al., 2011; TRENTIN, 2015).

Segundo dados da CONAB (2020), o Brasil é o maior produtor mundial, com produção estimada em 124,8 milhões de toneladas, representando um ganho de 4,3% em relação à safra 2018/19. A área plantada foi de 36.949,80 mil hectares.

Os bons resultados da safra, tanto financeiros quanto de produtividade, motivaram os agricultores especialmente no uso da lavoura de grãos para a renovação de pastagens degradadas, presente na maioria dos estados produtores. Essa prática deverá se intensificar nos próximos anos, principalmente pela atratividade das linhas de crédito oficiais incluídas no Plano ABC e também com a implantação dos SIPAS (CONAB, 2020).

O cultivo da soja como sucessora aos períodos de pastejo no inverno, tem viabilidade e não demonstra queda na produção final da cultura pela presença dos animais. Flores et al. (2007), num segundo ciclo de pastejo sobre pastagem de aveia + azevém em diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 cm), constataram que essas diferentes alturas, em comparação com uma área não pastejada, em que pese alguma alteração nos atributos físicos do solo, não influenciaram o estabelecimento e rendimento de grãos de soja em sucessão.

No mesmo experimento, porém já no quarto ciclo de pastejo, os tratamentos de altura de manejo da pastagem de aveia + azevém, interferiram, de forma linear, no estande de plantas e na palhada residual de soja, com maiores valores encontrados nas maiores alturas. No entanto, essas diferenças não influenciaram o rendimento de grãos de soja, possivelmente pela ocorrência de déficit hídrico durante o período experimental, fato que reduziu o rendimento da cultura (LOPES et al., 2009).

Assim, a utilização comercial dessas áreas no período de inverno para o pastejo animal, não ficando apenas como uma cultura de cobertura, gera uma

renda extra para os produtores com a comercialização dos animais (CARVALHO, et al., 2005) e não prejudica o desempenho da cultura sucessora, desde o manejo da pastagem seja adequado.

## 2.3 MÉTODOS DE CORREÇÃO DA ACIDEZ E CONDICIONAMENTO DE SOLO

### 2.3.1 Correção do solo por meio de calagem

A calagem é uma prática consagrada na agricultura brasileira, em virtude dos solos serem ácidos e pobres em bases, decorrente do elevado processo de intemperismo pelo qual foram submetidos ao longo de seu processo de formação. Dentre os corretivos de acidez, o calcário é o produto mais utilizado, por sua elevada eficiência e baixo custo.

No sistema plantio direto, cujos principais pilares são o mínimo revolvimento do solo (somente na linha de semeadura), a rotação de culturas e a manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo (BARTZ et al., 2011), o calcário aplicado permanece em superfície e seus efeitos são avaliados através da produtividade das culturas e pelos componentes químicos nas camadas mais profundas do solo, cujo efeito depende das características do solo, do próprio calcário, da dose aplicada e do tempo de aplicação (dias após a aplicação do calcário) (PAULETTI et al., 2014).

Em geral, devido à baixa solubilidade do calcário (CAIRES et al., 2006) e por meio da lenta mobilização de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no perfil do solo (RHEINHEIMER et al., 2000), seu efeito tende a se concentrar nas camadas mais superficiais do solo. Segundo Caires et al. (2005), a correção da acidez do solo com o uso do calcário, com ou sem incorporação, proporcionou um maior controle da acidez na camada de 0-5 cm, em um ano após sua aplicação, podendo chegar na camada de 10-20 cm, após dois anos e meio. Entretanto, quando o calcário é incorporado, ocorre maior reação no solo entre 5-10 e 10-20 cm.

Vários estudos apontam que a aplicação de calcário em superfície (sem incorporação), além da camada superficial do solo, também aumenta o pH, os

teores de cálcio e de magnésio e a saturação por bases em subsuperfície (DIEHL et al., 2008; SORATTO; CRUSCIOL, 2008), neutraliza o alumínio (ZAMBROSI et al., 2007), podendo atingir 60 cm de profundidade (CHATZISTATHIS et al., 2015; MOSQUERA-LOSADA et al., 2015; PAGANI; MALLARINO, 2015; GUERRA, 2017).

Os efeitos positivos da correção do solo em subsuperfície, pela aplicação de calcário superficialmente, caracterizam a importância dos mecanismos de transporte do calcário através da água, a qual infiltra e percola no solo pelos bioporos (AMARAL, 2002). Em sistema de semeadura direta os bioporos surgem a partir da decomposição das raízes das culturas antecessoras e por organismos da macro e mesofauna do solo, tornando-se fundamental para proporcionar uma descida física do calcário e de seus subprodutos ao longo do perfil do solo (CASSOL, 2003). Esse deslocamento vertical das partículas de calcário ao longo do perfil do solo por meio da água percolada, foi observado em estudo realizado com colunas de solo, em casa de vegetação (AMARAL et al., 2004).

Em sistemas integrados de produção agropecuária, conhecidos como SIPAS, o componente animal, ao realizar o pastejo e o pisoteio na área, pode interferir nas características físicas do solo, reduzindo o efeito da aplicação do calcário nas camadas mais subsuperficiais do solo. No entanto, essa hipótese não se confirmou, onde o autor observou que a dinâmica da reatividade do calcário, apesar das diferentes condições físicas de solo encontradas, não é influenciada por diferentes alturas de manejo da pastagem de aveia + azevém. Após 11 meses da aplicação superficial de calcário, num sistema de integração soja – gado de corte em SPD, aumentos no pH do solo foram observados até 15 cm de profundidade (CASSOL, 2003).

Nessa mesma área, cujo solo é um Latossolo Vermelho com  $540 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, nove anos depois foi feita reaplicação de calcário em superfície. Os resultados, comparando pastejo intensivo (10 cm), pastejo moderado (20 cm) e área sem pastejo, novamente demonstraram que o pastejo melhora as condições químicas do solo em profundidade, caracterizadas por aumento de pH e saturação por bases e redução na saturação por alumínio, em comparação com a área não pastejada (MARTINS et al., 2014).

Apesar disso se faz necessário avaliar o sistema como um todo. Se por

um lado diferentes intensidades de pastejo podem melhorar características de solo ligadas a acidez, por outro, em anos de déficit hídrico, maior rendimento de grãos de soja foram observados nas áreas não pastejadas (MARTINS et al., 2014), demonstrando que esse rendimento é mais afetado por questões ligadas ao clima (água) do que propriamente por atributos de acidez do solo.

### 2.3.2 Correção do solo com uso da gessagem

Quando se tem aplicação de corretivos agrícolas, como o calcário (carbonato de cálcio e magnésio), sua principal finalidade é o aumento de pH do solo e neutralização do alumínio ( $Al^{3+}$ ), aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Mas, sua ação corretiva ocorre, de maneira geral, nas camadas mais superficiais do solo, devido à sua baixa mobilidade, embora também possam ocorrer efeitos em camadas mais profundas, conforme descrito anteriormente.

Em contrapartida, o gesso agrícola ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), contendo 18% de  $Ca^{2+}$ , 15% de S, 0,5-0,8% de P e algumas impurezas, tem uma solubilidade em torno de 150 vezes maior que o calcário (VITTI; PRIORI, 2009), é mais móvel no perfil do solo, diminuindo a atividade do alumínio na solução, além de fornecer cálcio e enxofre para as camadas mais profundas do solo (VITTI et al., 2015). Isso é particularmente importante em períodos de escassez hídrica, pois uma melhor condição nutricional do perfil do solo promove melhor distribuição das raízes em profundidade (SOUSA; LOBATO, 2004).

Em períodos de veranico a exploração do solo pelo sistema radicular das plantas pode estar limitada à camada superficial, devido a baixos níveis de  $Ca^{2+}$  ao longo do perfil do solo, ocasionando menor absorção de água e de nutrientes. A aplicação de gesso, torna-se uma alternativa para melhorar a distribuição do sistema radicular no perfil do solo (CAIRES et al., 2001), agindo como condicionante da estrutura do solo (ROSA JUNIOR; VITORINO, 1994; ROSA JUNIOR et al., 2006), favorecendo a agregação e a melhoria na estrutura do solo, aumentando a proliferação das raízes no subsolo, garantindo maior aproveitamento da água e de nutrientes pelas plantas (RITCHEY et al., 1980).

O gesso atua diminuindo a saturação por alumínio e aumentando os

teores de Ca e S (VITTI et al., 2008). Em um Latossolo Vermelho distrófico muito intemperizado do Planalto Central (Planaltina – DF), cujas características químicas iniciais apresentavam teores muito baixos de cálcio e magnésio e saturação por alumínio superior a 70% em todo o perfil do solo (até 60 cm), após correção com aplicação de calcário dolomítico na dose de 7,08 t ha<sup>-1</sup>, Araújo et al. (2019) montaram um experimento sem (tratamento controle) e com aplicação de 5 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, sendo que esta dosagem promoveu aumentos nos teores de Ca<sup>2+</sup> e de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, além de redução na saturação por Al<sup>3+</sup> em todo o perfil do solo. Esta melhoria no ambiente químico do subsolo favoreceu o desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar, contribuindo com acréscimos no sequestro de carbono no solo. Além dos benefícios já conhecidos do uso do gesso, os autores concluíram que, por suas características, o gesso também pode contribuir para uma agricultura de baixa emissão de carbono, tema de muita relevância no atual cenário de mudanças climáticas.

Por outro lado, o gesso pode provocar lixiviação de Mg<sup>2+</sup> e de K<sup>+</sup> provenientes das camadas mais superficiais do solo, podendo ocasionar déficit nutricional para as plantas (ALVA; GASCHO, 1991). Nesse caso, deve-se prestar real atenção em relação a dose aplicada, pois de nada adianta levar esses elementos para o subsolo sem uma correta manutenção de níveis adequados dos mesmos nas camadas mais superficiais.

Rampim et al. (2011), trabalhando com o uso de gesso agrícola, verificaram incremento nos níveis de Ca<sup>2+</sup> ao longo do perfil do solo, redução de Mg<sup>2+</sup> nas camadas mais superficiais e acréscimo de S ao longo do perfil do solo, ocasionando a percolação de cátions como K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> e melhorando as condições subsuperficiais do solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Caires et al. (2003) e Silva et al. (2006) em experimentos com gesso.

A mobilidade de cátions pode estar associada à formação de pares iônicos neutros com o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, através da ação do Ca dissociado do gesso (DIAS, 1992), como também pode ser auxiliada pela mobilidade de cátions ligados aos ácidos orgânicos dos resíduos vegetais presentes no solo (FRANCHINI et al., 2001, 2003, RAMPIM, et al., 2011).

Segundo Nava et al. (2012), a mobilidade do Ca proporcionada pela utilização do gesso agrícola é resultante do efeito do  $\text{SO}_4^{2-}$  em anular a carga do  $\text{Ca}^{2+}$ , formando um par iônico entre os dois íons evitando que o Ca se ligue as cargas do solo, facilitando assim a sua descida para as camadas subsuperficiais do solo.

No cerrado brasileiro o uso do gesso agrícola propiciou um incremento de 14, 72 e 54%, respectivamente, na produtividade de soja, milho e trigo submetidos a períodos de veranicos na época de floração (SOUZA; RITCHEY, 1986). Os autores atribuíram esses ganhos ao maior aprofundamento do sistema radicular das culturas.

Na implantação do sistema plantio direto, num Latossolo Amarelo do cerrado brasileiro, localizado no município de Currais, PI, Schenfert et al. (2020) observaram que a aplicação conjunta de calcário e gesso proporcionou aumento nos teores de Ca nas folhas, no peso de cem grãos e na produtividade de soja, sendo que a combinação entre  $6,3 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário com  $2,86 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso resultou na maior produtividade de soja, neste solo que apresenta  $738 \text{ g kg}^{-1}$  de areia na sua composição.

No Sul do Brasil, porém, os efeitos do uso do gesso nem sempre resultam em aumentos de produtividade dos cultivos, especialmente em anos sem ocorrência de déficit hídrico (CAIRES et al., 2008). É importante destacar que o gesso não substitui o calcário, mas sim é uma prática complementar que visa melhorar os aspectos químicos do perfil do solo, fornecendo elementos em profundidade e reduzindo os efeitos nocivos do  $\text{Al}^{3+}$ .

Em um Latossolo Vermelho eutroférico com textura muito argilosa, localizado no município de Guaíra, PR, na presença e ausência de  $\text{Al}^{3+}$ , o uso de gesso elevou a produtividade de trigo quando da presença de Al trocável; porém o mesmo não ocorreu para a cultura da soja cuja produtividade, em solo com ou sem Al, não foi influenciada pelas doses de gesso, as quais variaram entre 0 a  $5.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , talvez pelo fato da cultivar utilizada ser classificada como tolerante ao  $\text{Al}^{3+}$  (RAMPIM et al., 2011).

A soja parece responder positivamente a aplicação de gesso apenas quando a safra é submetida a deficiência hídrica. Por outro lado, em condições

normais de precipitação pluviométrica, é possível que o gesso cause efeitos negativos na produtividade de soja e de outros grãos, especialmente quando aplicado em doses elevadas, em função da indução de uma provável deficiência de magnésio nas folhas (PAULETTI et al., 2014).

Em uma meta-análise envolvendo 129 cultivos de seis diferentes culturas (milho, cevada, aveia, trigo, arroz e soja) totalizando 930 pares de observação ao todo, Pias et al. (2020) encontraram resposta positiva da aplicação de gesso na cultura da soja apenas quando sujeita a deficiência hídrica e em solos com saturação por alumínio superior a 10%. Os autores citam que as respostas ao uso do gesso são dependentes da espécie, onde cereais respondem diferentemente da soja, bem como da saturação por alumínio na camada subsuperficial (20 a 40 cm) dos solos. No caso específico da soja, quando em condição de déficit hídrico e em solos com saturação por alumínio maior do que 10% na camada de 20 a 40 cm, foram encontrados incrementos médios de 11,8% na produtividade de grãos de soja pelo uso do gesso agrícola. No entanto, em ausência de déficit hídrico, a soja só responde ao gesso quando a saturação por alumínio for superior a 43% e, mesmo assim, os incrementos médios foram de apenas 4,5% na produtividade de grãos.

### 2.3.3 Correção do solo com aplicação conjunta de calcário e gesso

Já são amplamente conhecidos os efeitos do calcário na correção da acidez do solo (PÁDUA et al., 2008), atuando na diminuição do efeito tóxico do Al (ZAMBROSI et al., 2007) e na elevação da saturação por bases (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Assim, a ação conjunta com a gessagem é uma técnica que vem sendo aprimorada, visto que a ação individual do gesso pode apresentar a desvantagem de ocasionar a lixiviação de  $Mg^{2+}$  (CAIRES et al., 2004; RAMPIM et al., 2011) e de  $K^+$  (RAMPIM et al., 2011).

Considerando que a prática da calagem, sem sua incorporação, pode obter uma ação limitada às camadas mais superficiais do solo, principalmente nos primeiros anos após sua aplicação, uma alternativa para essa limitação seria a utilização de gesso agrícola juntamente com o calcário, com o intuito de compensar o efeito reduzido no subsolo nos primeiros anos de cultivo (CAIRES et al., 2003;

GUERRA, 2017).

A maioria dos trabalhos, com aplicação de calcário e gesso em superfície, foram desenvolvidos em sistema de semeadura direta consolidada e em regiões sem limitações hídricas (PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 1998, 1999, 2000, 2003, 2004, 2005). Entretanto, poucos são os conhecimentos sobre os efeitos da aplicação de calcário e de gesso agrícola em superfície, nos atributos químicos do solo, em sistemas de plantio direto recém-implantado e em regiões com limitação hídrica durante alguns meses do ano (GUERRA, 2017).

O gesso pode ser aplicado junto com o calcário, porém, dependendo da condição, o uso combinado dos dois produtos pode reduzir a eficiência de ambos (CAIRES et al., 2018). Por conta disso, os autores recomendam a aplicação separada dos produtos em solos muito ácidos, com pH inferior a 5,0, isso porque, nessa condição, o gesso irá encontrar uma grande concentração de alumínio em superfície fazendo com que boa parte do  $\text{SO}_4^{2-}$  fique ligada ao  $\text{Al}^{3+}$ , impedindo que o produto chegue a subsuperfície. Por outro lado, o gesso, por inserir no meio uma grande quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$ , pode tornar a solubilidade do calcário ainda mais lenta.

Assim, sempre que possível, em solos muito ácidos recomenda-se a aplicação do calcário cerca de três meses antes da aplicação do gesso, a fim de dar um tempo mínimo para as primeiras reações do calcário no solo.

#### 2.4 MECANISMOS SULCADORES USADOS NA SEMEADURA DA SOJA

Altas taxas de lotação animal, provocando uma reduzida oferta de forragem em áreas destinadas a pastagem de inverno, aliadas com intenso tráfego de máquinas em solos com umidade alta podem ocasionar grandes problemas com relação a compactação de solos agrícolas (ALBUQUERQUE et al., 2001). Em geral, quando observado, o efeito do pisoteio animal sobre atributos físicos do solo se limita às camadas mais superficiais (SPERA et al., 2010). Depois de um segundo ciclo de pastejo de aveia + azevém submetidas a diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 cm), Flores et al. (2007) não observaram efeitos das pressões de pastejo sobre a densidade do solo, avaliada imediatamente ao final de 120 dias de pastejo contínuo. No entanto, quando a comparação foi feita com uma área não pastejada, percebeu-

se que a densidade e a compressibilidade foram menores e a porosidade maior em relação às áreas pastejadas.

Em geral, a abertura do sulco que vai receber semente e adubo pode ser feita com o uso de dois mecanismos principais: disco duplo desencontrado ou haste sulcadora, cujos efeitos variam em função do tipo de solo e da quantidade de palhada sobre a superfície, entre outros. A utilização de mecanismos sulcadores do tipo haste sulcadora vem crescendo e se tornando uma alternativa eficiente para romper a camada superficial do solo, com maiores índices de compactação, devido ao seu sistema de operação com maior capacidade de aprofundamento e mobilização do solo (BORDIGNON, 2005), promovendo melhoria no desenvolvimento radicular e vegetativo das culturas, quando comparada ao sulcador do tipo disco duplo (MODOLO et al., 2013). Isso é ainda mais importante em solos argilosos que naturalmente apresentam uma maior resistência mecânica e são mais suscetíveis a compactação.

Andreolla; Gabriel Filho (2006), em área de integração lavoura-pecuária, com presença de compactação, observaram incremento na profundidade de deposição da adubação, promovido pela haste sulcadora, em torno de 140%, com relação ao mecanismo disco duplo desencontrado. Esse aumento na profundidade de operação representa a quebra da camada compactada. Koakoski et al. (2007) e Trogello et al. (2012) encontraram resultados semelhantes e afirmam que a haste sulcadora proporciona maior capacidade de mobilização do solo, reduzindo a densidade e a resistência à penetração.

Sulcadores do tipo haste promovem maior mobilização do solo, quando comparados com o disco duplo. De acordo com Silva et al. (2006), esses mecanismos diferenciam-se dos discos duplos desencontrados por apresentarem maior rompimento das camadas do solo mais compactadas e maior mobilização do solo.

Nos últimos tempos têm-se observado várias áreas com níveis baixos de cobertura vegetal, mesmo adotando, em tese, o sistema plantio direto. A causa da ausência de resíduos se deve em grande parte aos cultivos sucessivos de soja e a falta de rotação de culturas. Nessa condição, bem como em áreas de SIPAS com alta intensidade de pastejo, os efeitos da compactação do solo são mais

expressivos, justificando o uso de hastes sulcadoras para romper essas camadas e propiciar melhores condições de germinação e crescimento das plantas.

Após cinco cultivos no sistema plantio direto foi observada maior compactação na camada superficial (0-5 cm) de um Latossolo Vermelho, textura argilosa, em Passo Fundo, RS. Nessa condição, a utilização do sulcador tipo haste, além de eliminar o problema da compactação superficial, também aumentou o rendimento de grãos de milho em comparação com o disco duplo (KLEIN; BOLLER, 1995).

Andreolla (2005), realizando testes de eficiência entre mecanismos sulcadores em áreas implantadas sobre o sistema de integração lavoura-pecuária, no município de Santa Tereza do Oeste – PR, com clima Cfa (subtropical úmido mesotérmico) e num Latossolo Vermelho Eutroférico, observou maior produtividade na cultura da soja, quando foi utilizado à haste sulcadora. Resultados semelhantes foram encontrados por Arf et al. (2008), com a cultura do feijoeiro.

É importante destacar que o uso de hastes sulcadoras somente se justifica em condição de solo que apresente algum tipo de limitação física, como uma elevada resistência à penetração das raízes. Caso contrário, o uso de discos duplos, que são menos “agressivos”, podem ser preferidos especialmente porque reduzem custos ao produtor, além de revolverem menos o solo. Isso ocorre porque o dispêndio energético é maior quando se usa hastes sulcadoras nas semeadoras-adubadoras (SILVA; BENEZ, 2005). Trabalhando com dois mecanismos sulcadores de adubo (haste sulcadora e disco duplo), em solo com 660 g kg<sup>-1</sup> de argila, Jasper; Silva (2015) observaram que a velocidade de deslocamento foi maior quando utilizado o disco duplo, contribuindo para um menor tempo de semeadura do milho por hectare, sendo assim reduzindo o custo de produção.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

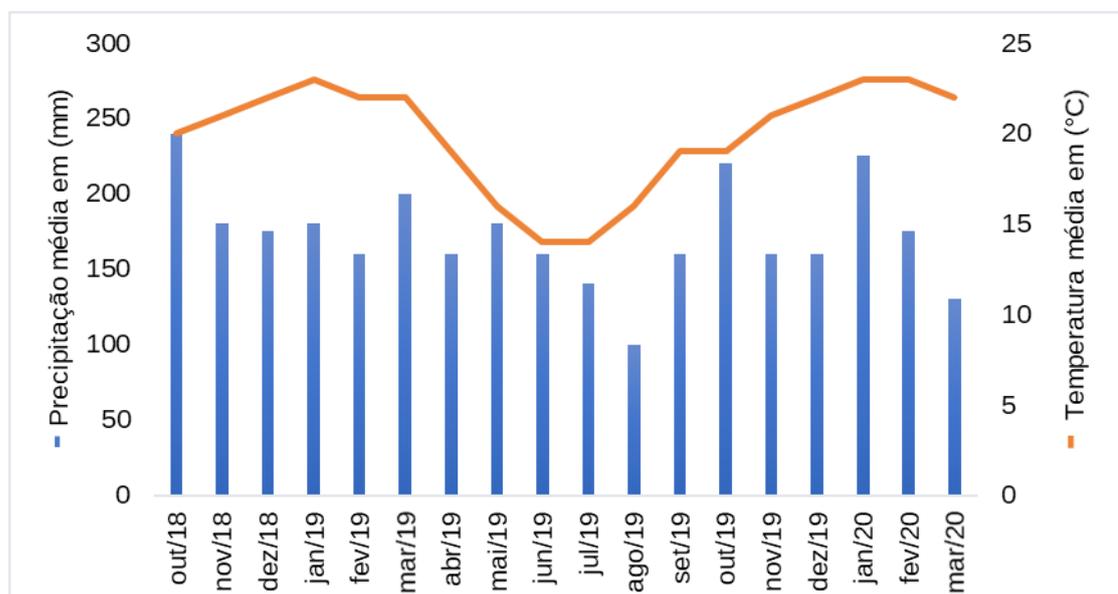
O experimento foi desenvolvido no município de Vitorino-PR, nas coordenadas 26°17'39.4" S e 52°40'24.8" W. O clima da região é classificado como Cfb (subtropical úmido), segundo classificação de Köppen (NITSCHKE, et al., 2019). O solo do local foi classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), com relevo ondulado.

A condição química inicial do solo e as condições de precipitação e de temperatura durante o período experimental, estão ilustradas na Tabela 1 e na Figura 1, respectivamente.

**Tabela 1** – Caracterização química da área experimental, em seis profundidades, antes do início do experimento. Vitorino-PR, 2021.

| Profundidades,<br>cm | pH-<br>CaCl <sub>2</sub> | Ca   | Mg  | Al   | K    | P<br>mg dm <sup>-3</sup> | MO<br>g dm <sup>-3</sup> | V<br>% |
|----------------------|--------------------------|--|-----|------|------|--------------------------|--------------------------|--------|
|                      |                          | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |      |      |                          |                          |        |
| 0 – 5                | 5,7                      | 8,2  | 4,4 | 0,00 | 0,59 | 9,5                      | 67,5                     | 76,5   |
| 5 – 10               | 5,0                      | 6,2  | 3,5 | 0,06 | 0,19 | 5,0                      | 56,6                     | 61,6   |
| 10 – 20              | 4,7                      | 4,4  | 3,1 | 0,21 | 0,13 | 2,3                      | 48,6                     | 52,6   |
| 20 – 30              | 4,5                      | 3,0  | 2,5 | 0,47 | 0,10 | 2,2                      | 34,2                     | 44,0   |
| 30 – 40              | 4,4                      | 2,6  | 2,1 | 0,62 | 0,09 | 2,2                      | 27,1                     | 38,5   |
| 40 – 50              | 4,3                      | 2,1  | 1,8 | 0,96 | 0,08 | 1,8                      | 29,1                     | 31,7   |

**Figura 1** – Dados de precipitação média durante o período experimental compreendido entre os meses de outubro de 2018 até março de 2020.



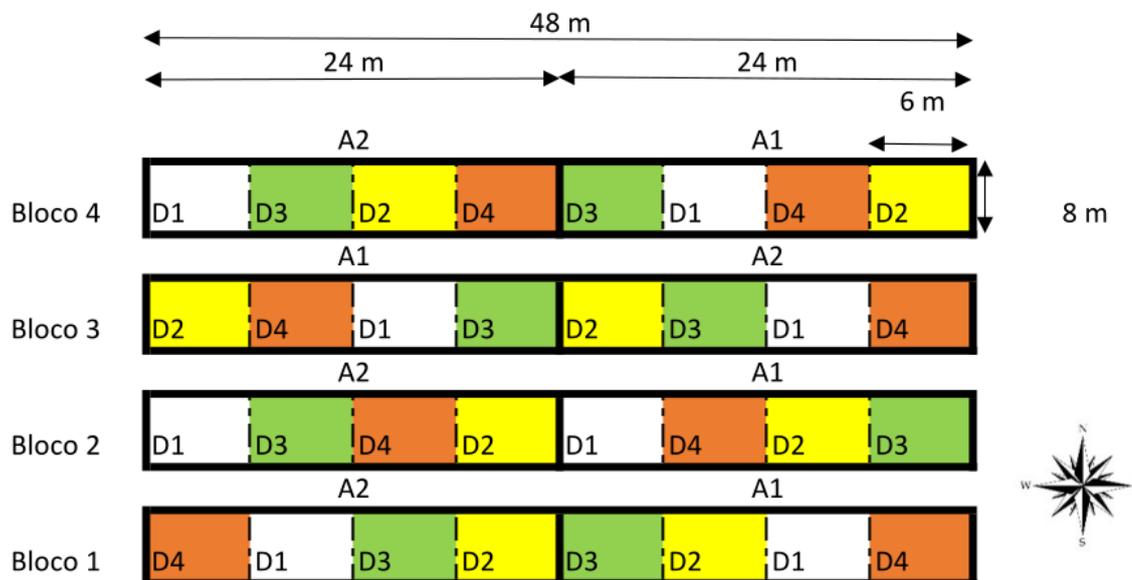
Fonte: IAPAR e SIMEPAR.

A área total do experimento é composta por 1.536 m<sup>2</sup> e vem sendo utilizada com a cultura da soja (*Glycine max*) no período de verão em sistema plantio direto e com a cultura da aveia preta (*Avena strigosa*) no período de outono/inverno.

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, sendo que os fatores experimentais foram organizados em esquema bifatorial (2 x 4) em parcelas subdivididas, com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais (Figura 2). Nas parcelas principais, com uma área de (192 m<sup>2</sup>), foram alocados dois mecanismos sulcadores na semeadura da soja (discos duplos desencontrados e hastes sulcadoras). Nas subparcelas (48 m<sup>2</sup>) foram aplicadas quatro formas de correção/condicionamento da acidez do solo (sem correção; dose recomendada de calcário calcítico - 1 t ha<sup>-1</sup>; dose de gesso (sendo utilizada o dobro da dose de calcário) - 2 t ha<sup>-1</sup>; mistura calcário + gesso - 3 t ha<sup>-1</sup>) (Figura 2).

**Figura 2** - Croqui do experimento com a disposição dos tratamentos. A1 – Semeadora com discos duplos desencontrados; A2 – Semeadora com haste sulcadora; D1 – Sem correção do solo; D2 – Correção com dose recomendada de calcário; D3 – Correção com gesso agrícola; D4 – Correção com mistura de calcário x gesso agrícola.



Fonte: BORTOLLI (2018) e PAVAN (2019).

A dose recomendada de calcário calcítico foi calculada com base no valor médio de saturação por bases (camada de 0-20 cm), considerando a sua elevação para 70%. Para a dose de gesso, optou-se em utilizar o dobro da dose recomendada de calcário.

### 3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Anteriormente a semeadura da soja, safra 2018/2019, foram aplicados os tratamentos com os fatores respectivos a calagem e gessagem do solo, nas doses anteriormente citadas. Para efeito deste trabalho não foi avaliado o desempenho da cultura da soja nesta safra.

Em abril de 2019, também no sistema SPD, foi semeada a aveia preta numa densidade de 100 kg ha<sup>-1</sup>, com espaçamento entre linhas de 17 cm. No momento da semeadura foram aplicados 250 Kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 08-20-15.

Cerca de 45 dias após a semeadura, quando a cultura da aveia se encontrava com altura entre 25 a 30 cm, teve início o pastejo utilizando bovinos da

raça Brangus, com uma média de 450 kg de PV. O método de pastejo foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável e ocorreu durante 90 dias, procurando manter uma altura média de 15 cm da pastagem. O experimento está alocado dentro de uma área maior com 1,3 ha na qual conduziu-se o pastejo com duas cabeças na área total do experimento.

Os animais foram retirados da pastagem no final do mês de agosto, em função da ocorrência de geadas que promoveram o tombamento e posterior morte das plantas de aveia. A área foi dessecada em outubro com a aplicação de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de glifosathe<sup>®</sup>, com um volume de calda de 80 L ha<sup>-1</sup> com o intuito de reduzir a infestação de plantas indesejáveis no início do desenvolvimento da cultura da soja.

Na sequência, foi novamente semeada a cultura da soja cultivar TMG “7262”, safra 2019/2020, no dia 23/10/2019, em sistema plantio direto, com espaçamento de 0,50 m entrelinhas e densidade de 14 sementes m<sup>-1</sup>, totalizando um estande esperado de 280.000 plântulas.

Utilizou-se uma semeadora-adubadora com oito linhas, marca Kuhn modelo PDM PG 900, e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Cada linha de semeadura constituiu-se de um disco de corte de palha, de uma haste sulcadora e de disco duplo para a deposição do fertilizante e discos duplos desencontrados para a deposição de sementes. A haste sulcadora era de formato reto e apresentava as seguintes dimensões: 0,27 m de comprimento; 0,18 m de largura; 0,028 m de espessura, e 0,02 m de largura da ponteira, com ângulo de ataque de 15°. O trator utilizado foi da marca Massey Ferguson, modelo MF 292, com tração dianteira auxiliar (TDA), e potência máxima no motor de 77,2 kW (105 cv). O conjunto trator/semeadora- adubadora operou à velocidade média de 5,5 km h<sup>-1</sup>.

A adubação foi realizada no sulco de semeadura, com 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado N-P-K 02-20-15. No momento da semeadura da soja foi novamente aplicado o fator referente ao manejo da semeadura nas parcelas principais, que consiste na utilização de disco duplo desencontrado e uso da haste sulcadora. Os tratamentos referentes as formas de correção/condicionamento da acidez do solo não foram reaplicados. A colheita da soja ocorreu no dia 10/03/2020.

#### 3.4 VARIÁVEIS ESTUDADAS

### 3.4.1 Parâmetros de fertilidade do solo

As coletas de solo foram realizadas em dois momentos distintos com auxílio de uma pá de corte, sendo que as amostras foram estratificadas em cinco profundidades (0 a 5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm).

A primeira coleta foi realizada no final do primeiro ciclo da cultura da soja (resultados não avaliados), safra 2018/2019, na entre linha da cultura, totalizando seis meses após a aplicação dos tratamentos; a segunda coleta foi efetuada aos doze meses após a aplicação dos tratamentos, sendo após o período de inverno, ou seja, antes da semeadura da soja, safra 2019/2020.

Após a realização das coletas de solo, as amostras foram secas em estufa com temperatura constante de 40° C, em um período de três dias. Ao final da secagem do solo, foi realizada a moagem em um moinho do tipo martelo.

Logo depois da realização dos processos de secagem e moagem das amostras de solo, estas foram encaminhadas para avaliação no laboratório de Química e Fertilidade do solo na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), para análise de rotina. Foram determinados o pH-CaCl<sub>2</sub>, a acidez potencial (H+Al) e os teores de cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, conforme metodologia descrita em Pavan et al. (1992). A partir desses resultados foram calculadas a soma de bases, a saturação por bases e a saturação por alumínio.

### 3.4.2 Uniformidade e distribuição na semeadura da soja

As avaliações de uniformidade e distribuição das plântulas de soja foram feitas apenas na safra 2019/2020 e constaram das seguintes variáveis: Porcentagem de Espaçamentos Normais (EN, em %), Porcentagem de Espaçamentos Duplos (ED, em %), Porcentagem de Espaçamentos Falhos (EF, em %).

As variáveis foram obtidas por meio de contagem e realização de medições entre as plântulas e plantas da cultura da soja, onde foram utilizadas três linhas com quatro metros lineares, em cada uma das 32 unidades experimentais.

Optou-se em realizar as avaliações de uniformidade e distribuição com

as plantas já emergidas, devido a maior facilidade na realização das aferições comparando-se ao método de avaliação com o desenterrio das sementes. Para realizar as medições de espaçamentos normais, duplos e falhos, utilizou-se a metodologia proposta por Kurachi (1989).

A semeadora foi regulada para uma distribuição de 14 sementes por metro linear, desta forma a distância ideal seria de 7,14 cm entre plantas, onde considerou-se 100% de emergência de plântulas; para delimitar os espaçamentos utilizou-se valores enquadrados entre 0,5 e 1,5 multiplicados pela distância ideal de deposição de sementes, resultando em valores dos Espaçamentos Aceitáveis de 3,57 – 10,71 cm, em que espaçamentos entre plantas inferiores à 3,57 cm caracterizaram-se como Espaçamentos Duplos e valores superiores à 10,71 cm como Espaçamentos Falhos.

#### 3.4.3 Estande Inicial e Final da cultura da soja

A avaliação de Estande Inicial de plantas foi realizada 15 dias após a semeadura, com a contagem do número de plântulas de soja em três linhas de semeadura com quatro metros cada, em cada uma das unidades experimentais. O mesmo procedimento foi realizado para a quantificação do Estande Final, porém esta quantificação ocorreu no final do ciclo da cultura.

#### 3.4.4 Componentes de rendimento e rendimento de grãos de soja

Para a avaliação do rendimento de grãos de soja, safra 2019/2020, as plantas foram cortadas rente ao solo, de forma manual, no dia 10/03/2020, numa área de 4 m<sup>2</sup> no centro da unidade experimental. Após a colheita os grãos foram trilhados, realizado a pesagem das amostras em balança de precisão, determinada a umidade e efetuada a correção da pesagem para 13% de umidade e o rendimento expresso em kg ha<sup>-1</sup>.

No mesmo dia foram escolhidas, aleatoriamente, cinco plantas de soja

pertencentes aos 4 m<sup>2</sup> colhidos manualmente e foi realizada a quantificação dos componentes de rendimento, sendo eles:

- Número de Vagem por Planta (NVP, em vagens planta<sup>-1</sup>): foram contadas o número de vagens por planta em número correspondente a cinco plantas por unidade experimental e posteriormente feito a média aritmética;

- Número de Grãos por Vagem (NGV, em grãos vagem<sup>-1</sup>): em cada vagem coletada foram contados o número de grãos por vagem em número correspondente a cinco plantas por unidade experimental e posteriormente feito a média aritmética;

- Número de Grãos por Planta (NGP, em grãos planta<sup>-1</sup>): em cada planta coletada foram contados o número de grãos por planta em número correspondente a cinco plantas por unidade experimental e posteriormente feito a média aritmética;

- Altura de Inserção da Primeira Vagem (AIV, em cm): em cada planta coletada foram medidos com o auxílio de uma trena desde o nível do solo até a primeira inserção de vagens em número correspondente a cinco plantas por unidade experimental e posteriormente feito a média aritmética;

- Altura de Planta (AP, em cm): em cada planta coletada foram medidos com o auxílio de uma trena desde o nível do solo até o ápice da planta em número correspondente a cinco plantas / unidade experimental e posteriormente feito a média aritmética;

- Peso de Mil Grãos (PMG, em g): em cada unidade experimental foram coletadas as plantas de soja presentes em duas linhas de semeadura com 4 metros cada, posteriormente realizada a contagem de mil grãos e efetuada a pesagem em balança de precisão;

- Peso de Grãos por Planta (PGP, em g): em cada unidade experimental foram coletadas as plantas de soja presentes em duas linhas de semeadura com 4 metros cada, posteriormente realizada a separação dos grãos e efetuada a pesagem em balança de precisão.

### 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância, quando necessário, realizado o teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $\alpha= 5\%$ ). As análises foram realizadas utilizando-se os aplicativos computacionais Genes (CRUZ, 2013) e R, versão 4.0.3 (R CORE TEAM, 2020).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DINÂMICA DOS NUTRIENTES NO SOLO

#### 4.1.1 Amostragem realizada seis meses após a correção do solo

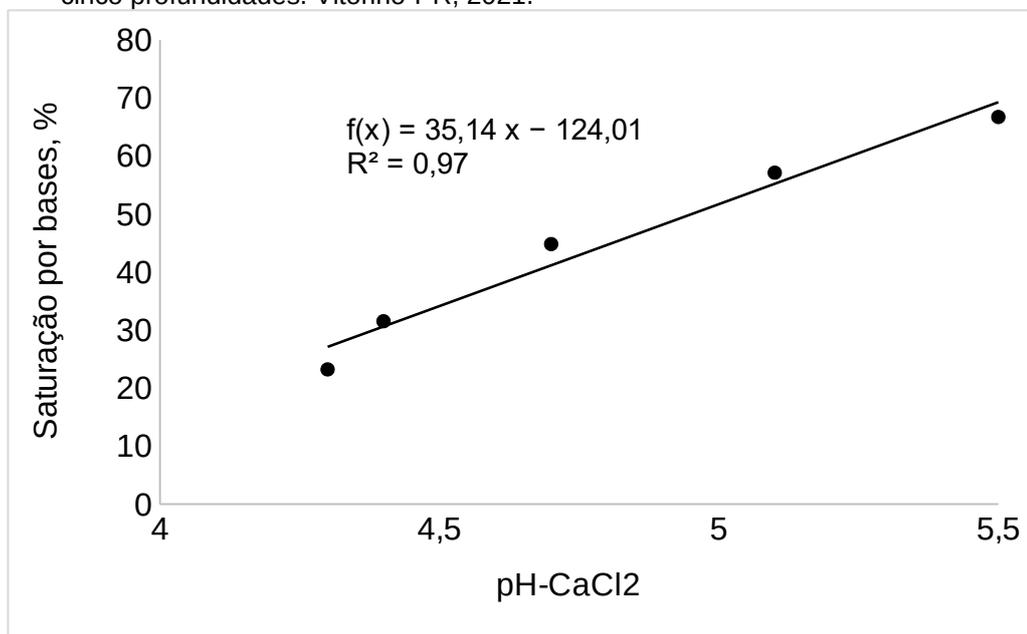
Os tratamentos não influenciaram nos resultados de pH, Al trocável e saturação por bases (ANEXOS A e B), quando avaliados antes do pastejo dos animais. Por se tratar de uma área cultivada no sistema plantio direto, na medida em que se aprofunda no perfil do solo percebe-se menores valores de pH e saturação por bases, com conseqüente aumento no Al trocável. Para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm os valores médios de pH foram de 5,5, 5,1, 4,7, 4,4 e 4,3, respectivamente; para o Al trocável os valores médios foram de 0,00, 0,04, 0,30, 0,90 e 1,35  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente; no caso da saturação por bases foram observados valores de 66,7, 57,1, 44,8, 31,5 e 23,2%, respectivamente.

É possível que em função das baixas doses de calcário e gesso aplicadas, bem como em função do curto espaço de tempo entre a aplicação dos produtos e a coleta do solo, se explique a ausência de resultados para esses parâmetros. Além disso, por ser um sal neutro, não se esperava efeitos do gesso sobre o pH do solo, uma vez que os produtos da dissolução do gesso no solo não liberam íons  $\text{OH}^-$  (ZOCCA; PENN, 2017).

Utilizando a média geral das amostras de solo percebe-se uma alta relação linear positiva, já corroborada por outros autores, entre os valores de pH e de saturação por bases, nas diferentes profundidades amostradas (Figura 3). Relação linear entre estes dois fatores também foi observado por Quaggio (2000) em amostras de solo cultivadas no sistema convencional, na camada de 0-20 cm de profundidade, no estado de São Paulo. Caires, Banzatto e Fonseca (2000), aplicando doses de calcário em uma área cultivada no sistema plantio direto há 15 anos, localizada em Ponta Grossa, PR, também obtiveram relações lineares entre pH e saturação por bases nas cinco profundidades amostradas (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm), as mesmas trabalhadas neste trabalho. Apesar da significância em todas as profundidades, os autores destacam que estas foram mais expressivas

nas camadas superficiais, até 10 cm.

**Figura 3** – Relação média entre pH-CaCl<sub>2</sub> e saturação por bases em amostras de solo coletadas em cinco profundidades. Vitorino-PR, 2021.



Fonte: O autor

De forma semelhante, o uso de haste sulcadora ou discos duplos desencontrados não foi capaz de promover alterações nos parâmetros supracitados (ANEXOS A e B). Especialmente até 10 cm de profundidade, percebe-se que os valores de pH e V% são adequados ao desenvolvimento das plantas, demonstrando que em condições normais de precipitação, dificilmente estas responderiam a aplicação dos insumos usados para correção/condicionamento do solo.

Como esperado para uma área cultivada no sistema plantio direto, os teores de cálcio e de magnésio foram decrescendo com a profundidade, porém continuam altos em todo o perfil avaliado (NEPAR/SBCS, 2019), mesmo na área que não recebeu correção/condicionamento com calcário/gesso (Tabelas 2 e 3). Esse resultado caracteriza uma área com condições adequadas para as principais bases trocáveis.

De acordo com Sousa; Lobato (2004), a recomendação do uso de gesso no Brasil, para qualquer cultivo, adota os seguintes níveis críticos: saturação por Al  $\geq 20\%$  e/ou teor de Al trocável  $\geq 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e/ou teor de Ca  $\leq 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Na área desse estudo, percebe-se que o teores de Al trocável estão acima do

nível crítico ( $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada de 20-40 cm), justificando o uso do gesso, porém o mesmo não ocorre com o Ca trocável, cujo valor encontrado no solo é bem superior ao nível crítico para apresentar resposta dos cultivos.

Em trabalho recente, fazendo uma meta-análise compreendendo 129 colheitas de seis diferentes safras de grãos (930 pares de observação ao todo), Pias et al. (2020) encontraram resposta ao uso do gesso, especificamente para a cultura da soja, apenas em solos onde a saturação por alumínio era superior a 10%, ainda assim associado a deficiência de água. Nessas condições, a probabilidade de resposta positiva da soja foi de 88% com aumentos de produtividade média de 12%. Esses resultados sugerem uma possível mudança nos critérios de recomendação de uso de gesso no Brasil.

Para o teor de Ca, na camada de 5 a 10 cm, foi observada interação significativa ( $\alpha = 5\%$ ) entre os fatores, ou seja, o comportamento dessas variáveis modifica-se quando os mecanismos sulcadores utilizados na semeadura da soja são combinados com as diferentes formas de correção/condicionamento da acidez do solo e vice-versa (Tabela 2).

Ao se avaliar os mecanismos sulcadores utilizados na semeadura da cultura da soja em cada forma de correção/condicionamento do solo verifica-se que os valores de cálcio disponíveis na camada de 5 a 10 cm de profundidade no solo, foram superiores quando a cultura foi semeada com o uso de discos duplos desencontrados, em relação ao uso de haste sulcadora, apenas quando se utilizou correção/condicionamento da acidez do solo com calcário (Tabela 2). Nas demais formas de correção não há diferença significativa entre os sistemas de semeadura para as médias dos valores de Ca.

É possível que a atuação dos discos numa menor profundidade, tenha concentrado os efeitos do calcário apenas nas camadas mais superficiais. De acordo com Modolo et al. (2013) o sulcador do tipo haste proporcionou maior profundidade de semeadura em relação ao disco duplo desencontrado. A utilização de haste sulcadora permite uma deposição de fertilizantes em maiores profundidades (BORDIGNON, 2005), tendo em vista que os nutrientes, em semeadura direta, tendem a se concentrar na camada mais superficial do solo, criando assim um gradiente de concentração ao longo do perfil do solo (FALLEIRO

et al., 2003).

**Tabela 2** – Cálcio (Ca) trocável em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores                |                 |
|--|--------------------------------------|-----------------|
|  | Disco duplo desencontrado            | Haste sulcadora |
|  | ----- 0 - 5 cm <sup>ns</sup> -----   |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 9,35                                 | 9,10            |
| Calcário   | 8,77                                 | 7,97            |
| Gesso  | 8,57                                 | 9,35            |
| Calcário + gesso                                     | 9,10                                 | 8,62            |
|  | ----- 5 - 10 cm* -----               |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 6,07 Aa                              | 5,87 Aa         |
| Calcário   | 7,52 Aa                              | 4,97 Ba         |
| Gesso  | 6,70 Aa                              | 6,22 Aa         |
| Calcário + gesso                                     | 6,57 Aa                              | 6,65 Aa         |
|  | ----- 10 - 20 cm <sup>ns</sup> ----- |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 4,62                                 | 3,30            |
| Calcário   | 4,95                                 | 3,17            |
| Gesso  | 4,30                                 | 3,97            |
| Calcário + gesso                                     | 4,85                                 | 3,95            |
|  | ----- 20 - 40 cm <sup>ns</sup> ----- |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 2,60                                 | 1,85            |
| Calcário   | 2,95                                 | 1,75            |
| Gesso  | 2,67                                 | 2,72            |
| Calcário + gesso                                     | 2,95                                 | 1,75            |
|  | ----- 40 - 60 cm <sup>ns</sup> ----- |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 1,75                                 | 1,15            |
| Calcário   | 2,42                                 | 1,37            |
| Gesso  | 2,30                                 | 2,22            |
| Calcário + gesso                                     | 2,07                                 | 1,22            |

Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> = não significativo.

Quando se avalia as formas de correção/condicionamento da acidez do solo em cada mecanismo sulcador, verifica-se que os valores médios de cálcio disponíveis na camada de 5 a 10 cm de profundidade no solo, não apresentaram diferença significativa (Tabela 2). Esse resultado reforça novamente o fato de terem sido aplicadas baixas doses dos produtos, sendo que a condição inicial do solo (antes do início do experimento) não era tão desfavorável em termos de problemas relacionados a acidez.

Para o teor de Mg, na camada de 10 a 20 cm, foi observada interação significativa ( $\alpha = 5\%$ ) entre os fatores, ou seja, o comportamento dessas variáveis modifica-se quando os mecanismos sulcadores são combinados com as diferentes formas de correção/condicionamento da acidez do solo e vice-versa (Tabela 3).

**Tabela 3** – Magnésio (Mg) trocável em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em uma área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores                |                 |
|--|--------------------------------------|-----------------|
|  | Disco duplo desencontrado            | Haste sulcadora |
|  | ----- 0 - 5 cm <sup>ns</sup> -----   |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 4,07                                 | 4,47            |
| Calcário   | 4,57                                 | 4,12            |
| Gesso  | 3,97                                 | 4,45            |
| Calcário + gesso                                     | 4,12                                 | 4,10            |
|  | ----- 5 - 10 cm <sup>ns</sup> -----  |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 3,10                                 | 3,55            |
| Calcário   | 3,82                                 | 2,92            |
| Gesso  | 3,57                                 | 3,57            |
| Calcário + gesso                                     | 3,42                                 | 3,35            |
|  | ----- 10 - 20 cm* -----              |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 2,77 Aa                              | 2,55 Aa         |
| Calcário   | 3,25 Aa                              | 2,22 Ba         |
| Gesso  | 2,75 Aa                              | 3,00 Aa         |
| Calcário + gesso                                     | 3,17 Aa                              | 2,80 Aa         |
|  | ----- 20 - 40 cm <sup>ns</sup> ----- |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 1,92                                 | 1,70            |
| Calcário   | 2,15                                 | 1,77            |
| Gesso  | 1,67                                 | 2,20            |
| Calcário + gesso                                     | 2,22                                 | 1,85            |
|  | ----- 40 - 60 cm <sup>ns</sup> ----- |                 |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 1,12                                 | 1,10            |
| Calcário   | 1,52                                 | 1,10            |
| Gesso  | 1,60                                 | 1,60            |
| Calcário + gesso                                     | 1,52                                 | 1,10            |

Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> = não significativo.

Ao se avaliar os mecanismos sulcadores em cada forma de correção/condicionamento do solo verifica-se que os valores de magnésio disponíveis na camada de 10 a 20 cm de profundidade no solo, foram superiores

quando a cultura foi semeada com o uso de discos duplos desencontrados, em relação ao uso de haste sulcadora, apenas quando se utilizou correção/condicionamento da acidez do solo com calcário (Tabela 3). Nas demais formas de correção não há diferença significativa entre os mecanismos sulcadores de semeadura para as médias dos valores de Mg.

O maior valor do magnésio para o uso dos discos duplos desencontrados, na camada de 10 a 20 cm, de certa forma surpreende, uma vez que o uso da haste sulcadora mobiliza uma maior quantidade de solo e deveria ter maior efeito em profundidade, no entanto pode ser explicado em razão de sua maior mobilidade no perfil do solo, em relação ao cálcio.

A alta concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo ocasionada tanto pela aplicação de gesso quanto de calcário favorece o deslocamento do  $\text{Mg}^{2+}$  dos sítios de troca, podendo assim formar pares iônicos com o  $\text{SO}_4^{2-}$  ou ser lixiviado na forma de íons  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo a forma preferencial para o deslocamento ao longo do perfil do solo (ZAMBROSI et al., 2007).

Quando se avalia as formas de correção/condicionamento do solo em cada mecanismo sulcador, verifica-se que os valores médios de magnésio disponível na camada de 10 a 20 cm de profundidade no solo, não apresentaram diferença significativa nas diferentes formas de correção/condicionamento do solo (Tabela 3).

#### 4.1.2 Amostragem realizada doze meses após a correção do solo

Os tratamentos não influenciaram nos resultados de Ca, Al trocável e saturação por bases (ANEXOS C e D). Por se tratar de uma área cultivada no sistema plantio direto, na medida em que se aprofunda no perfil do solo percebe-se menores valores de Ca, Mg e saturação por bases, com consequentes aumentos nos teores de Al trocável. Para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm os valores médios de Ca foram de 8,19, 5,90, 4,13, 2,50 e 2,24  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente; para o Al trocável os valores médios foram de 0,11, 0,23, 0,41, 0,84 e 1,12  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente e para a saturação por bases foram observados valores de 68,56, 61,44, 52,81, 41,95 e 36,22 %, respectivamente.

É possível que a ausência de resultados para essas variáveis ocorreu em função das baixas doses de calcário e gesso aplicadas. Além disso, mesmo um ano após a aplicação dos tratamentos, é possível que o espaço de tempo ainda seja curto para manifestação de resultados positivos. De forma semelhante, o uso de haste sulcadora ou discos duplos desencontrados não foi capaz de promover alterações nos parâmetros supracitados.

No entanto, para os valores médios de pH, na camada de 0 a 5 cm foi observada interação significativa ( $\alpha = 5\%$ ) entre os fatores, ou seja, o comportamento dessa variável modifica-se quando os mecanismos sulcadores são combinados com as diferentes formas de correção/condicionamento da acidez do solo e vice-versa (Tabela 4).

Ao se avaliar os mecanismos sulcadores em cada forma de correção/condicionamento do solo verifica-se que não houve diferença significativa entre as médias dos valores de pH nos diferentes mecanismos sulcadores utilizados na semeadura da cultura da soja (Tabela 4).

Quando se avalia as formas de correção/condicionamento do solo em cada mecanismo sulcador, observou-se maior média dos valores de pH para o uso de calcário e da mistura de calcário + gesso, apenas quando a semeadura foi efetuada com discos duplos desencontrados, sem diferir do tratamento sem correção/condicionamento da acidez do solo. O menor valor de pH foi observado quando o solo foi corrigido com gesso agrícola (Tabela 4), o que era esperado porque o gesso não é corretivo de acidez. No entanto, chama a atenção que no tratamento controle não houve diferenciação do pH para com aqueles tratamentos que receberam calcário, possivelmente pela baixa dose aplicada.

Por outro lado, quando a semeadura da cultura da soja foi efetuada com o uso de haste sulcadora não houve diferença significativa entre as médias dos valores de pH na camada de 0 a 5 cm de profundidade no solo nas diferentes formas de correção/condicionamento do solo (Tabela 4).

**Tabela 4** – pH do solo em diferentes profundidades, sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo) em uma área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores                |        |
|--|--------------------------------------|--------|
|  | Disco duplo desencontrado            |        |
|  | ----- 0 - 5 cm* -----                |        |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 5,4 Aab                              | 5,2 Aa |
| Calcário   | 5,6 Aa                               | 5,3 Aa |
| Gesso  | 5,2 Ab                               | 5,4 Aa |
| Calcário + gesso                                     | 5,6 Aa                               | 5,3 Aa |
|  | ----- 5 - 10 cm <sup>ns</sup> -----  |        |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 5,0                                  | 5,2    |
| Calcário   | 5,4                                  | 5,2    |
| Gesso  | 5,1                                  | 5,2    |
| Calcário + gesso                                     | 5,2                                  | 5,2    |
|  | ----- 10 - 20 cm <sup>ns</sup> ----- |        |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 4,8                                  | 4,9    |
| Calcário   | 4,9                                  | 4,8    |
| Gesso  | 4,8                                  | 4,9    |
| Calcário + gesso                                     | 4,8                                  | 4,9    |
|  | ----- 20 - 40 cm <sup>ns</sup> ----- |        |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 4,6                                  | 4,6    |
| Calcário   | 4,5                                  | 4,4    |
| Gesso  | 4,4                                  | 4,7    |
| Calcário + gesso                                     | 4,5                                  | 4,7    |
|  | ----- 40 - 60 cm <sup>ns</sup> ----- |        |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 4,5                                  | 4,6    |
| Calcário   | 4,4                                  | 4,4    |
| Gesso  | 4,2                                  | 4,6    |
| Calcário + gesso                                     | 4,5                                  | 4,5    |

Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. ns= não significativo.

O teor de magnésio foi alterado na camada superficial do solo (0 a 5 cm), em função das diferentes formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Maiores valores foram encontrados para a aplicação isolada de calcário, porém estes não se diferenciaram da mistura do calcário com o gesso, tampouco do tratamento testemunha sem aplicação de corretivo da acidez (Tabela 5), possivelmente porque os valores iniciais já eram elevados.

**Tabela 5** – Teores médios de Magnésio, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, sob efeito das formas de correção e condicionamento do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento do solo | Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |
|--|--|
| Sem correção/condicionamento do solo       | 4,42 ab <sup>1</sup>                     |
| Calcário                                   | 4,70 a                                   |
| Gesso                                      | 4,07 b                                   |
| Calcário + gesso                           | 4,32 ab                                  |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

No entanto, menores teores do Mg na camada superficial de 0 a 5 cm de profundidade, foram observados quando da aplicação de gesso ao solo. Esse fato pode estar associada a mobilidade do cátion ao longo do perfil do solo formando pares iônicos neutros com o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (DIAS, 1992), proveniente do gesso, como também pode ser auxiliada pela mobilidade de cátions ligados aos ácidos orgânicos dos resíduos vegetais presentes no solo (FRANCHINI et al., 2001, 2003, RAMPIM, et al., 2011). Rampim et al. (2011), trabalhando com o uso de gesso agrícola, verificaram redução de Mg<sup>2+</sup> nas camadas mais superficiais ao longo do perfil do solo.

Nestas duas avaliações, tanto aos seis quanto aos 12 meses após a aplicação dos tratamentos com os mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo, percebe-se pequenas modificações no pH e nos teores de cálcio e de magnésio apenas nas camadas mais superficiais do solo e quando este foi preparado com o uso de discos duplos desencontrados e em presença de calcário. Por outro lado, não foram encontrados efeitos em camadas mais profundas, nem pelo uso do gesso, tampouco pelo uso de haste sulcadora na semeadura da soja.

#### 4.2 UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS DE SOJA EM ÁREA PASTEJADA NO INVERNO.

Houve interação significativa entre os mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento do solo para as variáveis plântulas com espaçamento normal (EN), plântulas com espaçamento falho (EF) e estande final (EFP) de soja em área submetida a pastejo com bovinos. Por sua vez, o estande inicial (EIP) e a porcentagem de plântulas com espaçamento duplo (ED) não foram afetados pelos tratamentos (Tabela 6).

**Tabela 6** - Resumo da análise de variância para variáveis estande inicial de plântulas (EIP, em plantas m<sup>-1</sup>), porcentagem de plântulas com espaçamento normal (EN, em %), porcentagem de plântulas com espaçamento duplo (ED, em %), porcentagem de plântulas com espaçamento falho (EF, em %) e estande final (EFP, em plantas m<sup>-1</sup>), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação       | GL | EIP                  | EN                    | ED                    | EF                    | EFP                  |
|--------------------------|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                          |    | Quadrados médios     |                       |                       |                       |                      |
| Blocos                   | 3  | 0,1102 <sup>ns</sup> | 61,1703 <sup>ns</sup> | 14,8106 <sup>ns</sup> | 32,3187 <sup>ns</sup> | 0,4459 <sup>ns</sup> |
| Sulcadores (S)           | 1  | 0,0312 <sup>ns</sup> | 52,2582 <sup>ns</sup> | 64,2915 <sup>ns</sup> | 0,6228 <sup>ns</sup>  | 2,0841 <sup>ns</sup> |
| Erro a                   | 3  | 0,1279 <sup>ns</sup> | 54,2084 <sup>ns</sup> | 8,7772 <sup>ns</sup>  | 27,4048 <sup>ns</sup> | 0,4517 <sup>ns</sup> |
| Métodos de correção (MC) | 3  | 0,2526 <sup>ns</sup> | 11,9667 <sup>ns</sup> | 3,5541 <sup>ns</sup>  | 6,4875 <sup>ns</sup>  | 1,0888 <sup>ns</sup> |
| S x MC                   | 3  | 0,1707 <sup>ns</sup> | 66,2661*              | 7,5056 <sup>ns</sup>  | 33,4361*              | 1,5934*              |
| Erro d                   | 18 | 0,1870 <sup>ns</sup> | 18,9993 <sup>ns</sup> | 12,1610 <sup>ns</sup> | 9,3793 <sup>ns</sup>  | 0,4982 <sup>ns</sup> |
| Média geral              | -  | 12,2656              | 60,2138               | 16,2790               | 23,5072               | 11,0469              |
| CV-parcela (%)           | -  | 2,91                 | 12,22                 | 18,19                 | 22,26                 | 6,08                 |
| CV-subparcela (%)        | -  | 3,52                 | 7,23                  | 21,42                 | 13,02                 | 6,38                 |

(\*) significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; (<sup>ns</sup>) não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F.

O estande inicial de plantas é influenciado por características de solo (umidade, compactação, fertilidade), qualidade da semente (física e fisiológica) e da operação de semeadura (regulagem, velocidade, profundidade do sulco), sendo que cada cultivar apresenta uma recomendação específica que varia conforme o hábito de crescimento, grupo de maturidade, altitude e época de semeadura.

No presente trabalho, a semeadora foi regulada para uma distribuição de 14 sementes por metro linear e o estande inicial médio foi de 12,26 plantas  $m^{-1}$  (Tabela 6), o que corresponde a uma população inicial de 245,2 mil plantas por hectare, considerada adequada e sem influência sobre o rendimento de grãos. Esse resultado demonstra que, mesmo em área pastejada no inverno com bovinos da raça Brangus, cujo peso médio era de 450 kg, quando se mantém uma altura média de 15 cm da pastagem de aveia não ocorre prejuízos ao estabelecimento das plântulas de soja na lavoura. Outros fatores, como umidade, temperatura do solo, insetos, patógenos, também não afetaram negativamente a emergência da soja.

A porcentagem de plântulas com espaçamento duplo avaliada logo após a emergência da cultura, não foi influenciada pela interação entre mecanismos sulcadores x formas de correção/condicionamento da acidez do solo, tendo um valor médio de 16,28% (Tabela 6).

O estande final de plantas de soja, avaliado ao final do ciclo da cultura, foi influenciado pela interação entre mecanismos sulcadores x formas de correção/condicionamento da acidez do solo (Tabela 7). Ao se avaliar os mecanismos sulcadores em cada forma de correção/condicionamento do solo verifica-se que a média do estande final de plantas, foi superior quando a cultura foi semeada com haste sulcadora, em relação ao uso de discos desencontrados, apenas quando se utilizou correção/condicionamento da acidez do solo com uso de gesso isoladamente (Tabela 7). Nas demais formas de correção/condicionamento não houve diferença significativa entre os mecanismos sulcadores para as médias de estande final de plantas.

**Tabela 7** - Estande final de plantas de soja sob efeito da interação entre os mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores     |                 |
|--|---------------------------|-----------------|
|  | Disco duplo desencontrado | Haste sulcadora |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 11,12 Aa <sup>1</sup>     | 10,54 Ab        |
| Calcário   | 10,52 Aa                  | 10,89 Ab        |
| Gesso  | 10,75 Ba                  | 12,33 Aa        |
| Calcário + gesso                                     | 10,77 Aa                  | 11,44 Aab       |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na literatura são usuais os trabalhos que investigam o efeito do gesso sobre atributos químicos do solo, no entanto o mesmo não se pode dizer sobre atributos físicos. Em um dos poucos trabalhos, realizado num Latossolo Vermelho, textura argilosa, Costa et al. (2007) verificaram que numa área em sistema plantio direto, o uso de 2000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso promoveu aumento de densidade e redução de porosidade total na profundidade de 30 cm, justificado pela neutralização parcial dos íons alumínio, considerado um agente agregador de solo, pelo gesso. Embora não avaliado no presente trabalho, supõe-se que o gesso possa ter influenciado alguns atributos físicos do solo, fazendo com que o uso da haste sulcadora tenha proporcionado uma melhor condição para a manutenção do estande final das plantas de soja.

Comparando-se as formas de correção/condicionamento da acidez do solo em cada mecanismo sulcador, não houve diferença significativa entre as médias de estande final de plantas quando a semeadura foi efetuada com discos duplos desencontrados nas diferentes formas de correção/condicionamento da acidez do solo (Tabela 7). Por outro lado, quando a semeadura da cultura da soja foi efetuada com haste sulcadora, verifica-se maior média de estande final de plantas com o uso de gesso, o qual não diferiu do uso da mistura de calcário + gesso. O menor estande médio na referida situação foi observado quando não foi corrigido o solo e apenas com calcário isoladamente.

Novamente se observa que o uso da haste sulcadora foi mais eficiente

em promover maior estande final de plantas quando a área foi tratada com gesso, evidenciando alguma possível alteração física nesse solo. O uso de mecanismos sulcadores com haste sulcadora, devido seu modo de ação ser mais agressivo quando comparado com outros mecanismos (disco simples ou disco duplo desencontrado) promove um maior rompimento das camadas ao longo do perfil do solo (MELLO, et al., 2003; MODOLO et al., 2013; TATTO, 2017).

Outro benefício fornecido pela utilização da haste sulcadora é o aumento da macro porosidade e a diminuição da micro porosidade e densidade do solo (KLEIN et al., 2008). Essa situação otimiza a plantabilidade e o desempenho produtivo das culturas anuais em sistemas de integração lavoura-pecuária (BORDIGNON, 2005; TATTO, 2017).

A porcentagem de plântulas com espaçamento normal também foi influenciada pela interação dos mecanismos sulcadores na semeadura da soja x formas de correção/condicionamento da acidez do solo (Tabela 8). Ao se avaliar os mecanismos sulcadores em cada forma de correção/condicionamento da acidez do solo verifica-se que a porcentagem média de plântulas com espaçamento normal, foi superior quando a cultura foi semeada com hastes sulcadoras em relação ao uso de discos desencontrados, apenas quando se utilizou correção/condicionamento da acidez do solo com calcário + gesso (Tabela 8). Nas demais formas de correção/condicionamento não houve diferença significativa entre os mecanismos sulcadores para as médias de plântulas com espaçamento normal.

Comparando-se as formas de correção/condicionamento da acidez do solo em cada mecanismo sulcador, não houve diferença significativa entre a porcentagem média de plântulas com espaçamento normal (Tabela 8).

**Tabela 8** – Porcentagem média de plântulas de soja com espaçamento normal sob efeito da interação entre mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores     |                 |
|--|---------------------------|-----------------|
|  | Disco duplo desencontrado | Haste sulcadora |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 61,33 Aa <sup>1</sup>     | 56,45 Aa        |
| Calcário   | 58,62 Aa                  | 61,28 Aa        |
| Gesso  | 60,21 Aa                  | 63,49 Aa        |
| Calcário + gesso                                     | 55,58 Ba                  | 64,73 Aa        |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

A porcentagem média de plântulas de soja com espaçamento normal pode ser influenciada quando a semeadura da cultura é efetuada com o uso de haste sulcadora, pois permite uma deposição da adubação a maiores profundidades no solo (BORDIGNON, 2005), situação pela qual pode beneficiar o aprofundamento de raízes (GERMINO e BENEZ, 2006). Esse aspecto é importante porque áreas cultivadas no sistema plantio direto possuem uma tendência em concentrar os nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, criando assim um gradiente de concentração ao longo do perfil do solo (FALLEIRO et al., 2003; SCHERER et al., 2007). Devido a essas situações a haste sulcadora promove uma minimização dos efeitos promovidos pela compactação, interferindo assim no crescimento da cultura da soja (CONTE et al., 2008; TATTO, 2017) por também favorecer uma melhoria nutricional do solo em maiores profundidades.

A porcentagem de plântulas com espaçamento falho também foi influenciada pela interação mecanismos sulcadores x formas de correção/condicionamento da acidez do solo (Tabela 9). Ao se avaliar os mecanismos sulcadores em cada forma de correção/condicionamento do solo verifica-se que a porcentagem média de plântulas com espaçamento falho, não foi influenciada pelos mecanismos sulcadores utilizados na semeadura da cultura da soja.

Quando comparadas as formas de correção/condicionamento da acidez do solo em cada mecanismo sulcador, verifica-se que a utilização da haste

sulcadora promoveu maior percentual de plantas com espaçamento falho no tratamento que não sofreu correção/condicionamento do solo (testemunha), o qual foi maior em relação ao uso conjunto de calcário e gesso. A menor porcentagem média de plântulas com espaçamento falho, foi observada com a mistura de calcário + gesso, a qual também não diferiu do uso isolado de calcário e de gesso (Tabela 9).

**Tabela 9** – Porcentagem média de plântulas de soja com espaçamento falho sob efeito da interação entre mecanismos sulcadores e formas de correção/condicionamento da acidez do solo, em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento da acidez do solo | Mecanismos sulcadores     |                 |
|--|---------------------------|-----------------|
|  | Disco duplo desencontrado | Haste sulcadora |
| Sem correção/condicionamento do solo                 | 22,05 Aa <sup>1</sup>     | 27,05 Aa        |
| Calcário   | 23,91 Aa                  | 24,01 Aab       |
| Gesso  | 22,21 Aa                  | 23,17 Aab       |
| Calcário + gesso                                     | 25,30 Aa                  | 20,35 Ab        |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letra distinta, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Em síntese, os resultados de uniformidade e distribuição de plantas de soja mostram situações mais favoráveis ao uso da haste sulcadora, juntamente com o gesso ou sua mistura com calcário, no sentido de promover um melhor estande final de plantas de soja e aumentar a porcentagem de plântulas com espaçamento normal. Embora não constatado nesse trabalho, o uso de hastes sulcadoras no momento da semeadura pode favorecer uma melhor distribuição dos nutrientes no perfil do solo, favorecendo um melhor estabelecimento das plantas.

### 4.3 DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DA SOJA EM ÁREA PASTEJADA NO INVERNO

Para todas as variáveis avaliadas não foi encontrada interação significativa entre os mecanismos sulcadores na semeadura da cultura da soja e o uso de formas de correção/ condicionamento da acidez do solo. A variável altura de inserção da primeira vagem (AIPV), foi afetada pelos mecanismos sulcadores, enquanto que efeito isolado das formas de correção/condicionamento da acidez do solo foi observado para número de grãos por planta (NGP) (Tabelas 10 e 11).

**Tabela 10** - Resumo da análise de variância para variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura da primeira inserção de vagem (AIPV, em cm), altura de plantas (AP, em cm), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação       | GL | NVP                    | NGV                  | NGP                     | AIPV                  | AP                     |
|--------------------------|----|------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
|                          |    | Quadrados médios       |                      |                         |                       |                        |
| Blocos                   | 3  | 307,5083 <sup>ns</sup> | 0,0071 <sup>ns</sup> | 1672,9646 <sup>ns</sup> | 4,9153 <sup>ns</sup>  | 27,7745 <sup>ns</sup>  |
| Sulcadores (S)           | 1  | 0,98 <sup>ns</sup>     | 0,0008 <sup>ns</sup> | 13,2612 <sup>ns</sup>   | 80,9628*              | 235,9878 <sup>ns</sup> |
| Erro a                   | 3  | 60,3833 <sup>ns</sup>  | 0,0076 <sup>ns</sup> | 404,9112 <sup>ns</sup>  | 2,8211 <sup>ns</sup>  | 178,2378 <sup>ns</sup> |
| Métodos de correção (MC) | 3  | 131,595 <sup>ns</sup>  | 0,0063 <sup>ns</sup> | 834,4746*               | 12,9286 <sup>ns</sup> | 56,6478 <sup>ns</sup>  |
| S x MC                   | 3  | 69,63 <sup>ns</sup>    | 0,0031 <sup>ns</sup> | 375,0012 <sup>ns</sup>  | 9,8278 <sup>ns</sup>  | 3,7695 <sup>ns</sup>   |
| Erro d                   | 18 | 41,6858 <sup>ns</sup>  | 0,0063 <sup>ns</sup> | 239,7268 <sup>ns</sup>  | 11,6621 <sup>ns</sup> | 19,7861 <sup>ns</sup>  |
| Média geral              | -  | 49,7375                | 2,5337               | 125,4937                | 24,5469               | 119,9094               |
| CV parcela (%)           | -  | 15,62                  | 3,44                 | 16,03                   | 6,84                  | 11,13                  |
| CV subparcela (%)        | -  | 12,98                  | 3,14                 | 12,33                   | 13,91                 | 3,70                   |

(\*) significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; <sup>(ns)</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F.

**Tabela 11** - Resumo da análise de variância para variáveis peso de mil grãos (PMG, em gramas), peso de cada grão por planta (PGP, em gramas) e rendimento em Kg por hectare (REND, em Kg ha<sup>-1</sup>), em função dos mecanismos sulcadores e das formas de correção/condicionamento da acidez do solo. Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação       | G  | PMG                    | PGP                   | REND.                        |
|--------------------------|----|------------------------|-----------------------|------------------------------|
|                          | L  | Quadrados médios       |                       |                              |
| Blocos                   | 3  | 190,3561 <sup>ns</sup> | 67,1957 <sup>ns</sup> | 1.388.883,8777 <sup>ns</sup> |
| Sulcadores (S)           | 1  | 7,7028 <sup>ns</sup>   | 0,2312 <sup>ns</sup>  | 267.793,0632 <sup>ns</sup>   |
| Erro a                   | 3  | 31,0378 <sup>ns</sup>  | 13,1918 <sup>ns</sup> | 10.570,0938 <sup>ns</sup>    |
| Métodos de correção (MC) | 3  | 44,4861 <sup>ns</sup>  | 20,4392 <sup>ns</sup> | 40.6949,7582 <sup>ns</sup>   |
| S x MC                   | 3  | 10,3178 <sup>ns</sup>  | 12,5752 <sup>ns</sup> | 31.021,1385 <sup>ns</sup>    |
| Erro d                   | 18 | 24,5603 <sup>ns</sup>  | 7,6182 <sup>ns</sup>  | 15.331,2701 <sup>ns</sup>    |
| Média geral              | -  | 173,7844               | 2,1825                | 4.147,3734                   |
| CV parcela (%)           | -  | 3,20                   | 16,64                 | 7,84                         |
| CV subparcela (%)        | -  | 2,85                   | 12,64                 | 9,44                         |

(<sup>\*)</sup> significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; (<sup>ns</sup>) não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F.

Os valores médios de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG) e peso de grãos por planta (PGP) foram de 49,74; 2,53; 119,91 cm; 173,78 g e 21,82 g, respectivamente (Tabelas 10 e 11).

Pavan (2019), trabalhando no mesmo experimento, avaliando os componentes de rendimento da cultivar TMG “7262” na safra de 2018/2019, obteve valores médios de NVP de 59,98; NGV de 2,37; NGP de 140,91; AIPV de 17,45; AP de 113,41; PMG de 150,94; PGP de 21,27, similares aos obtidos na safra de 2019/2020. Cavalli (2019), avaliando os componentes de rendimento da cultivar TMG “7262”, obteve valores médios de NVP de 61,42, NGV de 2,43, Massa de cem grãos (M100) de 16,93 g e produção total de 5103,92 kg ha<sup>-1</sup>.

A altura de inserção da primeira vagem foi maior quando a semeadura da soja foi efetuada com o uso de discos duplos desencontrados (Tabela 12). Esse resultado demonstra que a área não apresentava problemas de compactação,

mesmo tendo sido submetida a pastejo com bovinos da raça Brangus. É importante destacar que devido a uma geada ocorrida durante o cultivo da aveia, os animais foram retirados da área antes da data prevista e a pastagem permaneceu na área para uma possível rebrota, tendo sido dessecada cerca de 45 dias após o término do pastejo. Esse aspecto também pode ter contribuído para uma possível melhoria nas condições físicas do solo, antecedendo a semeadura da soja.

**Tabela 12** - Altura média de inserção da primeira vagem de soja (AIPV), sob efeito dos mecanismos sulcadores em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Manejo da semeadura       | AIPV (cm)            |
|---------------------------|----------------------|
| Disco duplo desencontrado | 26,14 a <sup>1</sup> |
| Haste sulcadora           | 22,96 b              |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

O número de grãos por planta (NGP) foi maior quando a correção/condicionamento da acidez do solo foi feita com mistura de calcário + gesso agrícola, mas não diferiu estatisticamente em níveis de 5% de probabilidade de erro das formas (gesso e calcário utilizados isoladamente), sendo superior apenas ao tratamento sem a utilização de formas de correção/condicionamento da acidez do solo (Tabela 13). O incremento no número de grãos por planta ao se efetuar a correção da acidez do solo não se refletiu em acréscimos no rendimento de grãos da cultura da soja.

**Tabela 13** - Número médio de grãos por planta de soja (NGP) sob efeito das formas de correção/condicionamento da acidez do solo em área com pastejo bovino no inverno. Vitorino-PR, 2021.

| Formas de correção/condicionamento do solo | NGP (cm)              |
|--|-----------------------|
| Sem correção/condicionamento do solo       | 118,30 b <sup>1</sup> |
| Calcário                                   | 120,22 ab             |
| Gesso                                      | 122,90 ab             |
| Calcário + gesso                           | 140,55 a              |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Apesar de algumas diferenças na AIPV e no NGP, o rendimento de grãos de soja não foi afetado pelos mecanismos sulcadores e pelas formas de

correção/condicionamento da acidez do solo com uso de calcário e gesso. O rendimento médio de soja, na safra 2019/2020, foi de 4.147 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 11), superior à média do estado do Paraná, que foi de 3.792 kg ha<sup>-1</sup> (DERAL, 2020). Na safra 2018/2019, na mesma área do experimento, Pavan (2019) obteve um rendimento médio 3.434,12 Kg ha<sup>-1</sup>.

Resultado semelhante, mas com a cultura do milho, também foi encontrado por Trogello et al. (2013), comparando a influência de diferentes mecanismos sulcadores, num Latossolo Vermelho de textura muito argilosa. A melhor eficiência do mecanismo de haste sulcadora em relação ao disco duplo parece estar associada a ocorrência de solos compactados, uma vez que Vizzoto (2014) observou maior rendimento de soja pelo uso da haste sulcadora em Planossolo que apresentava densidade superior a 1,3 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0-20 cm.

Da mesma forma pode-se inferir que a área experimental, mesmo apresentando necessidade de calagem e gessagem, estas podem ser consideradas baixas e não foram suficientes para proporcionar ganhos em rendimento de grãos de soja. Em síntese, no presente estudo, seria perfeitamente possível passar mais alguns cultivos sem a necessidade de correção/condicionamento da acidez do solo.

Além da área poder conviver sem necessidade de calagem por mais algum cultivo, observa-se que, provavelmente pelo alto teor de matéria orgânica (Tabela 1), o uso do gesso não proporcionou melhorias em termos de disponibilidade de enxofre às plantas (a mineralização da matéria orgânica é uma das principais fontes de S). A matéria orgânica possui função primordial para o solo, especialmente pela geração de cargas elétricas em solos de mineralogia caulínica e oxídica, como é o caso do solo deste trabalho, mas também por possibilitar melhorias de estrutura e aeração, retenção de umidade, incorporação de nutrientes como nitrogênio, enxofre e outros, além do aumento do tamponamento do solo (BARROS, 2011).

Além disso, o efeito do gesso foi avaliado no curto prazo. É possível que ocorra migração de Ca<sup>2+</sup> e de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, para as camadas subsuperficiais, após um maior tempo de aplicação do gesso e isso pode vir a favorecer o desempenho das plantas, especialmente em anos de déficit hídrico. A avaliação dos efeitos da

calagem e da gessagem em sistema plantio direto, nos componentes químicos ao longo do perfil do solo, deve considerar o período após a aplicação, sendo que o carregamento dos nutrientes em profundidade é influenciado pelas condições hídricas do local (PAULETTI et al., 2014).

Outra razão que pode justificar a ausência de respostas da soja, especialmente ao uso do gesso, é o fato de que durante o período experimental, safra 2019/2020, as plantas cresceram sem limitação hídrica, numa média sempre superior a 100 mm de chuva por mês, entre os meses de outubro/2019 a março/2020 (Figura 1). De acordo com Pias et al. (2020), em uma meta-análise com 930 pares de observação, respostas positivas da soja em incremento no rendimento de grãos pelo uso do gesso só são observadas em anos de déficit hídrico.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização do gesso agrícola no sistema plantio direto, com o uso da haste sulcadora, pode beneficiar a disponibilidade de nutrientes ao longo do perfil do solo.

O uso da haste sulcadora, juntamente com o gesso ou sua mistura com calcário, promove melhor estande final de plantas de soja e aumenta a porcentagem de plântulas de soja com espaçamento normal.

A semeadura da cultura da soja com o uso de discos duplos desencontrados aumentou a altura de inserção da primeira vagem. O número de grãos por planta foi maior quando utilizado a mistura de calcário + gesso agrícola.

O rendimento de grãos não foi influenciado pela ação dos mecanismos sulcadores na semeadura da soja e as formas de correção/condicionamento da acidez do solo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora utilizada em sistema de integração lavoura-pecuária e apresentando necessidade de calagem/gessagem, entende-se que a área do experimento não apresentava limitações de ordem física ou química que pudessem comprometer o desenvolvimento das plantas.

É bem verdade que o pastejo foi adequado, mantendo sempre uma altura média de 15 cm, fato que deve ter contribuído para a ausência de resposta ao uso dos mecanismos sulcadores na semeadura da soja, também associado a regularidade do clima, em termos de adequada precipitação pluviométrica ao longo da safra 2019/2020.

Da mesma forma, o uso de calcário e gesso em doses baixas trouxe poucos (ou nenhum) benefícios às condições químicas do solo. Isso é importante para o produtor, uma vez que nessas condições não se faz necessária a reaplicação de corretivos/condicionadores de solo, podendo aguardar um momento futuro e investindo recursos em outras prioridades.

Ainda pelo fato de ter sido aplicada uma dose baixa de gesso, bem como por avaliações realizadas até um ano de sua aplicação, não foram observados efeitos desse produto em profundidade (até 60 cm, que foi a última camada avaliada). Nessa condição o gesso não foi eficiente em fazer migrar cálcio e magnésio, tampouco neutralizar alumínio em camadas mais profundas.

Em face ao exposto, sugere-se que trabalhos dessa natureza sejam repetidos em áreas expostas a pastejo intensivo (alta carga animal e baixa oferta de forragem) e que apresentem limitações mais severas do ponto de vista de sua acidez. Entende-se que nessas condições as hipóteses iniciais do trabalho teriam melhores condições de ser atendidas.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2001.

ALVA, A.K.; GASCHO, G.J. Differential leaching of cations and sulfate in gypsum amended soils. New York: Communication Soil Science Plant Analyse, 1991.

AMARAL, A.S. Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 2004.

ANDREOLLA, V.R.M. Eficácia de sulcadores de semeadoras-adubadoras e suas implicações sobre a cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração lavoura-pecuária. 174 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

ANDREOLLA, V.R.M.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura pecuária. Jaboticabal: Engenharia Agrícola, 2006.

ARAÚJO, L.G.; SOUSA, D.M.G.; FIGUEIREDO, C.C.; REIN, T.A.; DE SOUZA NUNES, R.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G.; MALAQUIAS, J.V. How does gypsum increase the organic carbon stock of an Oxisol profile under sugarcane? *Geoderma*, 2019.

ARF, O.; AFONSO, R.J.; JÚNIOR, A.R.; SILVA, M.G.; BUZETTIM, S. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. Campinas: Bragantia, 2008.

BALBINOT, JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de área agrícolas. Ciência Rural, 2009.

BARROS, J.D. de S. Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: diferenças entre ambientes. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

BARTZ, H.A.; SAMEK, J.M.; MELLO, I.; BLEY, C.; KOTZ, J.; TOLEDO, R.; BARTZ, M.; TAMIOZZO, T.; BORTOLUZZI, J. Metodologia participativa para avaliar a qualidade do plantio direto na bacia hidrográfica Paraná III. COOPERAÇÃO TÉCNICA ITAIPU BINACIONAL & FEBRAPDP, 2011.

BORDIGNON, J. Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras adubadoras. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. Revista Brasileira Ciência do Solo, 1998.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. Revista Brasileira Ciência do Solo, 1999.

CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. Revista Brasileira Ciência do Solo, 2000.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição de cevada em função da calagem e aplicação de gesso. Bragantia, 2001.

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

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. Revista Brasileira Ciência do Solo, 2004.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface Application of Lime for Crop Grain Production Under a No-Till System. AGRONOMY JOURNAL, 2005.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. Revista Brasileira Ciência Solo, 2006.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. Piracicaba-SP: Science Agriculture, 2008.

CAIRES, E.F.; GUIMARÃES, A. A Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. Agronomy Journal, 2018.

CARVALHO, P.C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C.R.; FLORES, J.P.C.L.; CEPIK, C.T.C.; LEVIEN, R.; LOPES, M.T.; BAGGIO, C.; LANG, C.R.; SULC, R.M.; PELISSARI, A. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: Gottschall, C. S.; Silva, J. L. S.; Rodrigues, N. C. (Org.). Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia. Canoas-RS, 2005.

CARVALHO, P.C.de F.; MORAES, A.; PONTES, L.S.; ANGHINONI, I.; SULC, R.M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. Revista Ciência Agronômica, 2014.

CASSOL, L.C. RELAÇÕES SOLO PLANTA ANIMAL NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA EM SEMEADURA DIRETA COM CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE. 2003. 157f. TESE ( DOUTORADO EM CIÊNCIA DO SOLO – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, 2003.

CAVALLI, H.F. COMPONENTES MORFOLÓGICOS E DE RENDIMENTO DA SOJA (CV. TMG 7262 RR) EM CONDIÇÃO DE SOMBREAMENTO ARTIFICIAL. 2018. 57 f. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

CHATZISTATHIS, T.; ALIFRAGIS, D.; PAPAIOANNOU, A. The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* sp. and *Populus* sp. plantations. *Journal of Environmental Management*, 2015.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, 2012.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento safra brasileira grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-68, setembro 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/BoletimZGrosZSetembroZ2020Z-ZCompleto.pdf>. Acesso em: 10 de jan. 2021.

CONTE, O. Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura pecuária. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia. UFRGS. Porto Alegre, 2007.

CONTE, O.; LEVIEN R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras adubadoras em sistema de integração lavoura – pecuária. *Revista Engenharia Agrícola*, 2008.

COSTA, M.J. da; ROSA JUNIOR, E.J.; ROSA, Y.B.C.J. SOUZA, L.C.F. de; ROSA, C.D.J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Science Agronomy*, 2007.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Maringá-PR: *Acta Scientiarum Agronomy*, 2013.

DERAL. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>>. Acesso em 15 dez. 2020.

DIAS, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 6p. (Comunicado Técnico, 7), 1992.

DIEHL, R.C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H.W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

FAO. An international consultation on integrated croplivestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. Integrated Crop Management, 2010.

FEBRAPDP. Sistema Plantio Direto é o caminho para incrementar o desempenho da agricultura nacional. 2017. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/noticias/252/sistema-plantio-direto-E-o-caminho-para-incrementar-o-desempenho-da-agricultura-nacional>>. Acesso em: 20 de dez. 2020.

FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M.H.; MARTINS, A.P.; CARVALHO, P.C.F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. Revista Brasileira de Ciência Solo, 2011.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo, rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. Revista Brasileira Ciência Solo, 2007.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *Plant Soil*, 2001.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003.

GERMINO, R.; BENEZ, S. H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes soldadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. *Botucatu: Energia na Agricultura*, 2006.

GUERRA, W.E.X. Manejo de solo sob pastagem antecedendo o cultivo da soja em sistema semeadura direta e integração lavoura-pecuária. *Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista*, 2017.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Atlas climático do estado do Paraná. 2019. Disponível em: < <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Mapas climáticos mensais, 2020. Disponível em: < <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Mapas-Climaticos-Mensais>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A. COMPARAÇÃO ECONÔMICA DE DIFERENTES MECANISMOS SULCADORES DE SEMEADORAS EM PLANTIO DIRETO DE MILHO. *Nucleus*, 2015.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. *Ciência Rural*, 1995.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. *Ciência Rural*, 2008.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F.; REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se de dois mecanismos rompedores e de três pressões da roda compactadora. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2007.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. Campinas: Bragantia, 1989.

LAZZAROTTO, J.J.; GARAGORRY, F.L.; HIRAKURI, M.H. Dinâmica espacial da produção brasileira de soja no período de 1975 a 2003. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 18p. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/881583>>. Acesso em: 03 de dez. 2020.

LOPES, M.L.T.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T.; AGUINAGA, A.A.A.; FLORES, J.P.C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. Ciência Rural, 2009.

MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; COSTA, S.E.V.G.A.; CARLOS, F.S.; NICHEL, G.H.; SILVA, R.A.P.; CARVALHO, P.C.F. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. Soil & Tillage Research, 2014.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. Engenharia Agrícola, 2003.

MENDONÇA, V.Z.; MELLO, L.M.M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F.C.B.L.; LIMA, R.C.; VALÉRIO FILHO, W.V.; YANO, E.H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. Revista Brasileira Ciência Solo, 2013.

MODOLO, A.J.; FRANCHIN, M.F.; TROGELLO, E.; ADAMI, P.F.; SCARSI, M.; CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. Jaboticabal: Engenharia Agrícola, 2013.

MOSQUERA-LOSADA, M.R.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N. Effect of liming and organic and inorganic fertilization on soil carbon sequestered in macro-and microaggregates in a 17-year old *Pinus radiata* silvopastoral system. *Journal of Environmental Management*, 2015.

NAVA, G.; ERNANI, P.R.; SÁ, A.A.; PEREIRA, A.J. Soil Composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 2012.

NEPAR/SBCS. Manual de adubação e calagem para o estado do paraná. 2ª ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <<http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

PÁDUA, T.R.P.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Nutrição e crescimento do algodoeiro em Latossolo sob diferentes coberturas vegetais e manejo de calagem. *Circular Agrotécnica*, 2008.

PAGANI, A.; MALLARINO, A.P. On-Farm Evaluation of Corn and Soybean Grain Yield and Soil pH Responses to Liming. *Agronomy Journal*, 2015.

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

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 39p. (IAPAR. Circular, 76), 1992.

PAVAN, A. Rendimento de grãos e decomposição de resíduos de soja em cultivo tradicional e em sistema de integração lavoura-pecuária. 2019, 57f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2019.

PFEIFER, A.A.; MURATA, V.V.; BARROZO, M.A.S. Modelling of soybean seed drying in concurrent sliding bed dryers: Effect of the number of stages on the seed quality and drying performance. *Biosystems Engineering*, 2010.

PIAS, O.H.D.C.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, A.G.B.; BAYER, C. Does gypsum increase crop grain yield on no-tilled acid soils? A meta-analysis. *Agronomy Journal*, 2020.

POTTKER, D.; AMBROSI, I.; BEM, J.R.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Calagem em plantio direto. Passo Fundo: Embrapa – CNPT, Boletim Técnico, 4. 1998.

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 2000.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 04 de fev. 2021.

RAFIEE, S.; KEYHANI, A.; SHARIFI, M.; JAFARI, A.; MOBILI, H.; TABATABAEEFAR, A. Thin layer drying properties of soybean (Viliamz cultivar). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2009.

RAMPIM, L.; LANA, M.C; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 2011.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*, 2000.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agronomy Journal*, 1980.

ROSA JUNIOR, E.J.; VITORINO, A.C.T.; VITORINO, P.F.P. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico de Dourados, MS. Campo Grande: Revista Científica, 1994.

ROSA JÚNIOR, E.J.; MARTINS, R.M.G.; ROSA, Y.B.C.J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. Goiânia: Pesquisa Agropecuária Tropical, 2006.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014.

SCHENFERT, T.A.; RATKE, R.F.; CASARIN, V.; BARBOSA, J.M.; CHAVES, D.V.; HOLANDA NETO, M.R.; ROQUE, C.G.; CARLOS, H.C.V. Lime and gypsum in the implantation no-till system promote the nutrition and yield of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 2020.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 2007.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. Botucatu: Energia na Agricultura, 2005.

SILVA, C.E.M.; GONÇALVES, J.F.C.; FELDPAUSCH, T.R.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, R.R.; RIBEIRO, G.O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazônica*, 2006.

SIMEPAR – Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. Boletim climatológico. Disponível em: < [http://www.simepar.br/prognosweb/simepar/timeline/boletim\\_climatologico?page=2](http://www.simepar.br/prognosweb/simepar/timeline/boletim_climatologico?page=2)>. Acesso em: 20 de jan. 2021.

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

SOUSA, D.M.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.D. Uso do gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília: Anais... EMBRAPA-DDT, 1986.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Scientiarum Agronomy, 2010.

TATTO, W. H. Altura de pasto e adubação nitrogenada afetam os atributos físicos do solo, plantabilidade e produtividade da soja no sistema de integração lavoura – pecuária? Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

TRENTIN, R.G. Desempenho de sulcadores no desenvolvimento e produtividade da soja em solo submetido a diferentes níveis de compactação. 2015. 97 f. TESE (DOUTORADO) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

TROGELLO, E.; MODOLO, A.J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E.M.; SCARSI, M.; SGARBOSSA, M. Desenvolvimento inicial e produtividade da cultura do milho no sistema de integração lavoura-pecuária. Viçosa-MG: Revista Ceres, 2012.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; SILVA, C. L.; ADAMI, P. F.; DALLACORT, R.; Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Viçosa: Revista Brasileira Ciência Solo, 2009.

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

VITTI, G.C. e PRIORI, J.C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao Plantio Direto. *Visão Agrícola* nº 9 , 2009.

VITTI, G.C.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T.A.; GOMES, M.H.F. Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho. *Visão Agrícola* nº13, 2015.

VIZZOTTO, V.R. Desempenho de mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine max* L.). 78f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Santa Maria – RS: UFSM, 2014.

WRIGHT, I.A.; TARAWALI, S.; BLÜMMEL, M.; GERARD, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, 2007.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An important tool with no instruction manual: A review of gypsum use in agriculture. *Advances in Agronomy*, 2017.

**ANEXOS**

ANEXO A – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis pH de 0 a 5 cm, pH de 5 a 10 cm, pH de 10 a 20 cm, pH de 20 a 40 cm, pH de 40 a 60 cm, Ca de 0 a 5 cm, Ca de 5 a 10 cm, Ca de 10 a 20 cm, Ca de 20 a 40 cm, Ca de 40 a 60 cm, Mg de 0 a 5 cm, Mg de 5 a 10 cm, Mg de 10 a 20 cm, Mg de 20 a 40 cm, Mg de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 6 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação  | GL | Variável | Quadrados médios     |                      |                      |                      |                      |
|---------------------|----|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                     |    |          | Profundidades        |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm             | 5 a 10 cm            | 10 a 20 cm           | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | pH       | 0,4086 <sup>ns</sup> | 0,2270 <sup>ns</sup> | 0,0904 <sup>ns</sup> | 0,2161 <sup>ns</sup> | 0,2211 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 0,0528 <sup>ns</sup> | 0,1250 <sup>ns</sup> | 0,5000 <sup>ns</sup> | 0,4278 <sup>ns</sup> | 0,3003 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 0,2753 <sup>ns</sup> | 0,4708 <sup>ns</sup> | 0,5458 <sup>ns</sup> | 0,4903 <sup>ns</sup> | 0,4528 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 0,0111 <sup>ns</sup> | 0,0871 <sup>ns</sup> | 0,0787 <sup>ns</sup> | 0,0311 <sup>ns</sup> | 0,0611 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,0128 <sup>ns</sup> | 0,0675 <sup>ns</sup> | 0,0958 <sup>ns</sup> | 0,1286 <sup>ns</sup> | 0,0761 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 0,0511 <sup>ns</sup> | 0,0709 <sup>ns</sup> | 0,0370 <sup>ns</sup> | 0,0474 <sup>ns</sup> | 0,0586 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 5,5406               | 5,1562               | 4,7562               | 4,4469               | 4,2969               |
| CV -Parcela (%)     | -  | 9,4701   | 13,3076              | 15,5334              | 15,7464              | 15,6605              |                      |
| Cv - Subparcela (%) | -  | 4,0817   | 5,1641               | 4,0450               | 4,8957               | 5,6359               |                      |
| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades        |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 10 a 20 cm           |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm             | 5 a 10 cm            | 10 a 20 cm           | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | Cálcio   | 3,4671 <sup>ns</sup> | 4,1558 <sup>ns</sup> | 2,3703 <sup>ns</sup> | 3,4837 <sup>ns</sup> | 4,8461 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 0,2812 <sup>ns</sup> | 4,9612 <sup>ns</sup> | 9,3528 <sup>ns</sup> | 4,8050 <sup>ns</sup> | 3,3153 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 6,3304 <sup>ns</sup> | 6,3921 <sup>ns</sup> | 7,3453 <sup>ns</sup> | 5,3325 <sup>ns</sup> | 6,6903 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 1,0104 <sup>ns</sup> | 0,6125 <sup>ns</sup> | 0,2803 <sup>ns</sup> | 0,3346 <sup>ns</sup> | 0,9811 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,9254 <sup>ns</sup> | 2,8621 <sup>*</sup>  | 0,7636 <sup>ns</sup> | 0,6950 <sup>ns</sup> | 0,3553 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 1,1787 <sup>ns</sup> | 0,9006 <sup>ns</sup> | 0,4125 <sup>ns</sup> | 0,6265 <sup>ns</sup> | 0,7471 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 8,8562               | 6,3250               | 4,1406               | 2,4062               | 1,8156               |
| CV -Parcela (%)     | -  | 28,4097  | 39,9724              | 65,4545              | 95,9676              | 142,4613             |                      |
| Cv - Subparcela (%) | -  | 12,2592  | 15,0042              | 15,5119              | 32,8931              | 47,6067              |                      |
| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades        |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 10 a 20 cm           |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm             | 5 a 10 cm            | 10 a 20 cm           | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | Magnésio | 0,8508 <sup>ns</sup> | 0,6561 <sup>ns</sup> | 0,1228 <sup>ns</sup> | 0,6092 <sup>ns</sup> | 1,1453 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 0,0800 <sup>ns</sup> | 0,1378 <sup>ns</sup> | 0,9453 <sup>ns</sup> | 0,1012 <sup>ns</sup> | 0,3228 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 0,3508 <sup>ns</sup> | 0,0428 <sup>ns</sup> | 0,5936 <sup>ns</sup> | 0,7521 <sup>ns</sup> | 1,2803 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 0,0808 <sup>ns</sup> | 0,0961 <sup>ns</sup> | 0,1670 <sup>ns</sup> | 0,0700 <sup>ns</sup> | 0,3220 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,3658 <sup>ns</sup> | 0,6328 <sup>ns</sup> | 0,5545 <sup>*</sup>  | 0,3712 <sup>ns</sup> | 0,1136 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 0,3050 <sup>ns</sup> | 0,2622 <sup>ns</sup> | 0,1691 <sup>ns</sup> | 0,3026 <sup>ns</sup> | 0,1447 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 4,2375               | 3,4156               | 2,8156               | 1,9375               | 1,3344               |
| CV -Parcela (%)     | -  | 13,9779  | 6,0578               | 27,3646              | 44,7601              | 84,7969              |                      |
| Cv - Subparcela (%) | -  | 13,0329  | 14,9932              | 14,6032              | 28,3904              | 28,5129              |                      |

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (p <0,05) pelo teste F. <sup>ns</sup> = não significativo

ANEXO B – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis Al de 0 a 5 cm, Al de 5 a 10 cm, Al de 10 a 20 cm, Al de 20 a 40 cm, Al de 40 a 60 cm, V% de 0 a 5 cm, V% de 5 a 10 cm, V% de 10 a 20 cm, V% de 20 a 40 cm, V% de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 6 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação  | GL | Variável | Quadrados médios     |                      |                      |                      |                      |
|---------------------|----|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                     |    |          | Profundidades        |                      |                      |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm             | 5 a 10 cm            | 10 a 20 cm           | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  |          | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0108 <sup>ns</sup> | 0,0391 <sup>ns</sup> | 0,6083 <sup>ns</sup> | 0,8865 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0030 <sup>ns</sup> | 0,3061 <sup>ns</sup> | 0,5382 <sup>ns</sup> | 0,9940 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  | Alumínio | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0261 <sup>ns</sup> | 0,4627 <sup>ns</sup> | 2,8922 <sup>ns</sup> | 2,8660 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0048 <sup>ns</sup> | 0,0533 <sup>ns</sup> | 0,1296 <sup>ns</sup> | 0,4611 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0085 <sup>ns</sup> | 0,1628 <sup>ns</sup> | 0,3601 <sup>ns</sup> | 0,2536 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 0,0000 <sup>ns</sup> | 0,0051 <sup>ns</sup> | 0,0517 <sup>ns</sup> | 0,1276 <sup>ns</sup> | 0,1873 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 0,0000               | 0,0391               | 0,3016               | 0,8991               | 1,3512               |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 565,6854             | 413,4734             | 225,5580             | 189,1579             | 125,2865             |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 565,6854             | 182,7023             | 75,4007              | 39,7271              | 32,0273              |

| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades          |                        |                        |                        |                        |
|---------------------|----|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                     |    |          | Profundidades          |                        |                        |                        |                        |
|                     |    |          | 0 a 5 cm               | 5 a 10 cm              | 10 a 20 cm             | 20 a 40 cm             | 40 a 60 cm             |
| Blocos              | 3  |          | 918,7165 <sup>ns</sup> | 785,8490 <sup>ns</sup> | 769,1474 <sup>ns</sup> | 197,9740 <sup>ns</sup> | 550,1042 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 1,5314 <sup>ns</sup>   | 58,9036 <sup>ns</sup>  | 327,0902 <sup>ns</sup> | 103,3483 <sup>ns</sup> | 37,2978 <sup>ns</sup>  |
| Erro a              | 3  | V%       | 96,4565 <sup>ns</sup>  | 273,9593 <sup>ns</sup> | 360,0557 <sup>ns</sup> | 369,7929 <sup>ns</sup> | 263,6885 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 8,4623 <sup>ns</sup>   | 24,5137 <sup>ns</sup>  | 27,0362 <sup>ns</sup>  | 25,4081 <sup>ns</sup>  | 77,3673 <sup>ns</sup>  |
| Interação           | 3  |          | 29,6484 <sup>ns</sup>  | 45,8209 <sup>ns</sup>  | 66,5579 <sup>ns</sup>  | 109,8574 <sup>ns</sup> | 38,2725 <sup>ns</sup>  |
| Erro d              | 18 |          | 30,7627 <sup>ns</sup>  | 32,3982 <sup>ns</sup>  | 46,8371 <sup>ns</sup>  | 61,2527 <sup>ns</sup>  | 59,8028 <sup>ns</sup>  |
| Média geral         | -  |          | 66,7628                | 57,0846                | 44,7680                | 31,5464                | 23,1899                |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 14,7106                | 28,9951                | 42,3855                | 60,9579                | 70,0239                |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 8,3076                 | 9,9711                 | 15,2872                | 24,8092                | 33,3474                |

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F. <sup>ns</sup> = não significativo

ANEXO C – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis pH de 0 a 5 cm, pH de 5 a 10 cm, pH de 10 a 20 cm, pH de 20 a 40 cm, pH de 40 a 60 cm, Ca de 0 a 5 cm, Ca de 5 a 10 cm, Ca de 10 a 20 cm, Ca de 20 a 40 cm, Ca de 40 a 60 cm, Mg de 0 a 5 cm, Mg de 5 a 10 cm, Mg de 10 a 20 cm, Mg de 20 a 40 cm, Mg de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 12 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação  | GL | Variável | Quadrados médios      |                       |                       |                      |                      |
|---------------------|----|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                     |    |          | Profundidades         |                       |                       |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm              | 5 a 10 cm             | 10 a 20 cm            | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | pH       | 2,1636 <sup>ns</sup>  | 1,9661 <sup>ns</sup>  | 1,0520 <sup>ns</sup>  | 0,3646 <sup>ns</sup> | 0,3037 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 0,1653 <sup>ns</sup>  | 0,0028 <sup>ns</sup>  | 0,0253 <sup>ns</sup>  | 0,1512 <sup>ns</sup> | 0,1012 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 0,3086 <sup>ns</sup>  | 0,2136 <sup>ns</sup>  | 0,6503 <sup>ns</sup>  | 0,7146 <sup>ns</sup> | 0,4571 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 0,0578 <sup>ns</sup>  | 0,0595 <sup>ns</sup>  | 0,0011 <sup>ns</sup>  | 0,0454 <sup>ns</sup> | 0,0454 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,1295*               | 0,0603 <sup>ns</sup>  | 0,0111 <sup>ns</sup>  | 0,0654 <sup>ns</sup> | 0,0537 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 0,0347 <sup>ns</sup>  | 0,0538 <sup>ns</sup>  | 0,0697 <sup>ns</sup>  | 0,0949 <sup>ns</sup> | 0,1149 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 5,3969                | 5,1969                | 4,8719                | 4,5687               | 4,4687               |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 10,2941               | 8,8942                | 16,5526               | 18,5024              | 15,1290              |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 3,4544                | 4,4626                | 5,4212                | 6,7413               | 7,5840               |
| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades         |                       |                       |                      |                      |
|                     |    |          | Profundidades         |                       |                       |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm              | 5 a 10 cm             | 10 a 20 cm            | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | Cálcio   | 40,9871 <sup>ns</sup> | 25,5053 <sup>ns</sup> | 13,2321 <sup>ns</sup> | 3,8728 <sup>ns</sup> | 9,3587 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 1,8050 <sup>ns</sup>  | 0,2628 <sup>ns</sup>  | 0,0612 <sup>ns</sup>  | 0,1378 <sup>ns</sup> | 0,0200 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 7,6058 <sup>ns</sup>  | 3,9361 <sup>ns</sup>  | 6,3237 <sup>ns</sup>  | 7,0436 <sup>ns</sup> | 6,5208 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 3,7987 <sup>ns</sup>  | 0,3886 <sup>ns</sup>  | 0,3971 <sup>ns</sup>  | 1,0953 <sup>ns</sup> | 0,5687 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 1,5858 <sup>ns</sup>  | 0,9678 <sup>ns</sup>  | 0,0337 <sup>ns</sup>  | 0,7561 <sup>ns</sup> | 0,4708 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 1,5967 <sup>ns</sup>  | 0,8507 <sup>ns</sup>  | 0,8426 <sup>ns</sup>  | 1,5638 <sup>ns</sup> | 2,2112 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 8,1937                | 5,8969                | 4,1312                | 2,4969               | 2,2437               |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 33,6582               | 33,6445               | 60,8704               | 106,2923             | 113,8091             |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 15,4218               | 15,6413               | 22,2198               | 50,0832              | 66,2732              |
| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades         |                       |                       |                      |                      |
|                     |    |          | Profundidades         |                       |                       |                      |                      |
|                     |    |          | 0 a 5 cm              | 5 a 10 cm             | 10 a 20 cm            | 20 a 40 cm           | 40 a 60 cm           |
| Blocos              | 3  | Magnésio | 7,6511 <sup>ns</sup>  | 9,0286 <sup>ns</sup>  | 8,2825 <sup>ns</sup>  | 2,9138 <sup>ns</sup> | 2,3621 <sup>ns</sup> |
| Parcela             | 1  |          | 3,8503 <sup>ns</sup>  | 0,6328 <sup>ns</sup>  | 0,0612 <sup>ns</sup>  | 0,0612 <sup>ns</sup> | 0,3200 <sup>ns</sup> |
| Erro a              | 3  |          | 0,4378 <sup>ns</sup>  | 0,8420 <sup>ns</sup>  | 0,9854 <sup>ns</sup>  | 1,3437 <sup>ns</sup> | 0,6292 <sup>ns</sup> |
| Subparcela          | 3  |          | 1,6861*               | 0,3528 <sup>ns</sup>  | 0,0808 <sup>ns</sup>  | 0,1412 <sup>ns</sup> | 0,1446 <sup>ns</sup> |
| Interação           | 3  |          | 0,5378 <sup>ns</sup>  | 0,6311 <sup>ns</sup>  | 0,0537 <sup>ns</sup>  | 0,2712 <sup>ns</sup> | 0,3517 <sup>ns</sup> |
| Erro d              | 18 |          | 0,4453 <sup>ns</sup>  | 0,4211 <sup>ns</sup>  | 0,3570 <sup>ns</sup>  | 0,3004 <sup>ns</sup> | 0,4926 <sup>ns</sup> |
| Média geral         | -  |          | 4,7281                | 3,9594                | 3,2125                | 2,1562               | 1,7312               |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 13,9944               | 23,1752               | 30,9006               | 53,7601              | 45,8166              |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 14,1138               | 16,3904               | 18,5994               | 25,4193              | 40,5391              |

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F. <sup>ns</sup> = não significativo

ANEXO D – Resumo da análise de variância dos componentes químicos do solo (GL= graus de liberdade e quadrados médios), média geral, coeficiente de variação (CV) da parcela e da subparcela (em %) do experimento em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Parcela= mecanismos sulcadores (haste sulcadora ou disco duplo desencontrado) e Subparcela= formas de correção/condicionamento da acidez do solo (dose recomendada de calcário, dose de gesso, dose recomendada de calcário + dose de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições, para variáveis Al de 0 a 5 cm, Al de 5 a 10 cm, Al de 10 a 20 cm, Al de 20 a 40 cm, Al de 40 a 60 cm, V% de 0 a 5 cm, V% de 5 a 10 cm, V% de 10 a 20 cm, V% de 20 a 40 cm, V% de 40 a 60 cm. Em área com pastejo bovino no inverno, coleta de solo realizada 12 meses após a aplicação dos fatores de correção e condicionamento do solo, em Vitorino-PR, 2021.

| Causas de variação  | GL | Variável | Quadrados médios                    |                         |                         |                        |                                     |
|---------------------|----|----------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|
|                     |    |          | Profundidades                       |                         |                         |                        |                                     |
|                     |    |          | 0 a 5 cm                            | 5 a 10 cm               | 10 a 20 cm              | 20 a 40 cm             | 40 a 60 cm                          |
| Blocos              | 3  |          | 0,4118 <sup>ns</sup>                | 1,5177 <sup>ns</sup>    | 2,6166 <sup>ns</sup>    | 1,0199 <sup>ns</sup>   | 1,1553 <sup>ns</sup>                |
| Parcela             | 1  |          | 0,0830 <sup>ns</sup>                | 0,1225 <sup>ns</sup>    | 0,1937 <sup>ns</sup>    | 0,2683 <sup>ns</sup>   | 0,4975 <sup>ns</sup>                |
| Erro a              | 3  | Alumínio | 0,0830 <sup>ns</sup>                | 0,1569 <sup>ns</sup>    | 0,3086 <sup>ns</sup>    | 1,6717 <sup>ns</sup>   | 2,1604 <sup>ns</sup>                |
| Subparcela          | 3  |          | 0,0349 <sup>ns</sup>                | 0,0557 <sup>ns</sup>    | 0,0643 <sup>ns</sup>    | 0,4532 <sup>ns</sup>   | 0,2865 <sup>ns</sup>                |
| Interação           | 3  |          | 0,0089 <sup>ns</sup>                | 0,0041 <sup>ns</sup>    | 0,0138 <sup>ns</sup>    | 0,1388 <sup>ns</sup>   | 0,5798 <sup>ns</sup>                |
| Erro d              | 18 |          | 0,0219 <sup>ns</sup>                | 0,0381 <sup>ns</sup>    | 0,0412 <sup>ns</sup>    | 0,1951 <sup>ns</sup>   | 0,3476 <sup>ns</sup>                |
| Média geral         | -  |          | 0,1134                              | 0,2256                  | 0,4059                  | 0,8453                 | 1,1228                              |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 254,0130                            | 175,5431                | 136,8433                | 152,9537               | 130,9062                            |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 130,4657                            | 86,5228                 | 49,9982                 | 52,2466                | 52,5085                             |
| Causas de variação  | GL | Variável | Profundidades                       |                         |                         |                        |                                     |
|                     |    |          | 0 a 5 cm                            | 5 a 10 cm               | 10 a 20 cm              | 20 a 40 cm             | 40 a 60 cm                          |
|                     |    |          |                                     |                         |                         |                        |                                     |
| Blocos              | 3  |          | 1199,5340 <sup>n</sup> <sub>s</sub> | 1519,4119 <sup>ns</sup> | 1905,5756 <sup>ns</sup> | 939,6549 <sup>ns</sup> | 1061,8124 <sup>n</sup> <sub>s</sub> |
| Parcela             | 1  |          | 22,6438 <sup>ns</sup>               | 0,2599 <sup>ns</sup>    | 1,2123 <sup>ns</sup>    | 126,2087 <sup>ns</sup> | 202,6985 <sup>ns</sup>              |
| Erro a              | 3  | V%       | 167,5093 <sup>ns</sup>              | 165,8605 <sup>ns</sup>  | 313,6725 <sup>ns</sup>  | 729,9928 <sup>ns</sup> | 653,2544 <sup>ns</sup>              |
| Subparcela          | 3  |          | 74,3730 <sup>ns</sup>               | 8,6553 <sup>ns</sup>    | 7,9456 <sup>ns</sup>    | 54,4573 <sup>ns</sup>  | 47,3386 <sup>ns</sup>               |
| Interação           | 3  |          | 81,7863 <sup>ns</sup>               | 11,3079 <sup>ns</sup>   | 73,9118 <sup>ns</sup>   | 71,7084 <sup>ns</sup>  | 78,7329 <sup>ns</sup>               |
| Erro d              | 18 |          | 45,7546 <sup>ns</sup>               | 42,8441 <sup>ns</sup>   | 43,7342 <sup>ns</sup>   | 88,4196 <sup>ns</sup>  | 209,4106 <sup>ns</sup>              |
| Média geral         | -  |          | 68,5649                             | 61,4380                 | 52,8189                 | 41,9531                | 36,2210                             |
| CV -Parcela (%)     | -  |          | 18,8763                             | 20,9621                 | 33,5312                 | 64,4014                | 70,5636                             |
| Cv - Subparcela (%) | -  |          | 9,8654                              | 10,6539                 | 12,5205                 | 22,4135                | 39,9520                             |

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) pelo teste F. <sup>ns</sup> = não significativo