

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GECIANA DE BORTOLI HORN

**RELAÇÕES LINEARES MULTIVARIADAS ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO
SOLO E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA SOBRE
ÁREA PASTEJADA NO INVERNO**

PATO BRANCO

2022

GECIANA DE BORTOLI HORN

RELAÇÕES LINEARES MULTIVARIADAS ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA SOBRE ÁREA PASTEJADA NO INVERNO

Multivariate linear relationships between soil chemical variables and yield components of soybean cultivated on winter grassed area

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Betania Brum de Bortolli

PATO BRANCO

2022



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

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GECIANA DE BORTOLI HORN

**RELAÇÕES LINEARES MULTIVARIADAS ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO
SOLO E COMPONENTES DE RENDIMENTO DA SOJA CULTIVADA SOBRE
ÁREA PASTEJADA NO INVERNO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia
do *Campus* Pato Branco da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14/junho/2022

Betania Brum de Bortolli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcos Antonio de Bortolli
Doutorado
Produtor Rural Autônomo

Alexandre Friedrich Ribas
Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia - UTFPR

PATO BRANCO

2022

Dedico este trabalho à minha família,
principalmente em memória aos meus
avôs Luci e Odacir e meus pais Luciana e
Geromil.

AGRADECIMENTOS

A motivação no dia a dia é muito importante para continuarmos conquistando vitórias e vencendo os desafios e nada disso teria sido possível se eu não tivesse minha família e amigos me apoiando. Família é base, estrutura, amor e companheirismo, é nosso conjunto de laço mais querido, é quem está no nosso lado nos momentos de felicidade, mas principalmente nos momentos mais difíceis. Além de que família não significa ter o mesmo sangue, basta ser conectados pelo amor.

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui, com saúde e sabedoria.

Agradeço eternamente aos meus queridos avôs Luci e Odacir por terem me passado o amor a profissão, por terem me ensinado o significado e a importância do trabalho com amor, bondade e dedicação.

Aos meus pais Luciana e Geromil por terem me criado com tanto amor, educação e conselhos para eu poder chegar até aqui. Além de serem completos exemplos de determinação, garra e muito trabalho. A minha irmã Lyanna e minha sobrinha Cecília que fazem parte da minha motivação para vencer.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Betania Brum de Bortolli, pela sabedoria, paciência, conselhos e amizade com que me guiou nesta caminhada. Pela dedicação e preocupação com que atende seus orientados e alunos. Sendo um exemplo pessoal e profissional na minha vida. Agradeço imensamente por tudo.

Ao Dr. Marcos Antonio de Bortolli e seus pais por cederem parte da propriedade para realizar o experimento, pelo apoio a pesquisa científica e por estar presente e acompanhar as atividades desenvolvidas.

Agradeço ao Alexandre Friedrich Ribas por toda ajuda na condução do experimento e no preparo das amostras de solo. Além de toda contribuição no desenvolver do trabalho.

Agradeço aos meus amigos de graduação pelo apoio, motivação, conselhos, pelas memórias inesquecíveis construídas nesses anos de graduação. Agradeço em especial a Camila Xaves por toda ajuda, Bruno Carvalho pelas sábias palavras e por toda paciência e companheirismo da Caroline Mariott.

Agradeço também as pessoas que fizeram parte da minha caminhada e desenvolvimento dentro da Universidade, Rogê Afonso, Giovanni Quani, Brenda

Garcia, Aline Almeida, Loren Linhares, Caroline Menegazzi, Gustavo Ferronato, Juliana Marchetti, Leonardo Belotto e Gabriela Rodrigues.

Agradeço ao João Augusto pelos anos de companheirismo e apoio nessa caminhada.

Aos membros do grupo GEXPILP que contribuirão para o desenvolvimento e coleta de dados da pesquisa. Ao laboratório de solos LAQUA pela ajuda na realização das análises.

Ao grupo PET Agronomia por todo aprendizado e desenvolvimento que obtive nos anos que fiz parte da equipe.

Enfim, a todos os que de algum jeito contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Nós não precisamos de magia para transformar nosso mundo. Já temos o poder que precisamos dentro de nós mesmos. Nós temos o poder de imaginar o melhor.” (J. K. Rowling, 2008)

RESUMO

A soja apresenta importância econômica mundial devido a suas características nutritivas e industriais e por se adaptar a diferentes latitudes, solos e condições climáticas. Portanto, são necessárias novas práticas de manejo de solo para alcançar patamares de rendimento e qualidade de grãos satisfatórios, os quais vão além do plantio direto. O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) vem sendo estudado e já está sendo adotado por diversos agricultores com o intuito de ampliar sua renda por meio da inserção de bovinos no pasto no inverno, os quais são retirados para a semeadura da cultura de grãos, no verão. Entretanto, existe grande complexidade nas relações entre as variáveis químicas do solo e os componentes de rendimento de grãos nas culturas agrícolas. Com isso, as relações estatísticas simples, que são relações bivariadas apresentam grande importância, porém, não servem para mostrar as exatas inter-relações existentes entre grupos de variáveis. Dessa forma, a análise de correlação canônica possibilita a verificação de quais são as variáveis de um grupo (solo) que determinam melhor desempenho do outro (rendimento de grãos). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar quais são as variáveis químicas do solo que proporcionam aumento nos componentes de rendimento e no rendimento de grão de soja cultivada em sistema de integração lavoura-pecuária. O experimento foi conduzido em uma propriedade rural localizada no município de Vitorino-PR em um Latossolo Vermelho Distroférico. O experimento foi organizado em esquema bifatorial (2 x 4) em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas principais, foram utilizados dois manejos da semeadura da cultura da soja, sendo discos duplos e sulcador tipo haste. Nas subparcelas, foram aplicadas quatro formas de correção/condicionamento do solo: 1) sem correção; 2) dose recomendada de calcário (2000 kg ha⁻¹); 3) dose recomendada de gesso (1000 kg ha⁻¹); e, 4) mistura calcário (2000 kg ha⁻¹) + gesso (1000 kg ha⁻¹). As variáveis químicas do solo analisadas foram: K, Ca, Mg, Mo, Al, H+Al, V%, S-Al, CTC, CTC EF e os componentes de rendimento de grãos de soja: NVP, NGV, NGP, AIV, AP, PMG, PGP e o próprio REND. Para incrementar o rendimento de grãos de soja, deve-se preconizar plantas mais altas, porém com menor altura de inserção da primeira vagem e com maior número de grãos por planta, bem como peso de mil grãos, maiores quantidades de cálcio nas profundidades 0-5 cm e 10-20 cm e Magnésio na profundidade 0-5 cm são determinantes no acréscimo dos componentes de rendimento de grãos e no rendimento de grãos da cultura. Além do mais, solos com maior saturação de base nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm, são determinantes de plantas com menor altura de inserção de primeira vagem, maior altura de planta, maior peso de mil grãos, e maior rendimento. E solos com maior CTC 10-20 cm, CTC efetiva 5-10 cm e maior CTC 0-5 cm, bem como menor CTC 5-10 cm e CTC efetiva 10-20 cm são determinantes de plantas de soja com maior rendimento, menor número de grãos por vagem e maior peso de grão por planta.

Palavras-chave: correlação canônica; SIPA; *Glycine max* (L.); solos.

ABSTRACT

Soybean is of global economic importance due to its nutritional and industrial characteristics and for adapting to different latitudes, soils and climatic conditions. Therefore, new soil management practices are needed to reach satisfactory levels of yield and grain quality, which go beyond no-tillage. The integrated system of agricultural production (SIPA) has been studied and is already being adopted by several farmers in order to increase their income through the insertion of cattle in the pasture in winter, which are removed for the sowing of grain crops, in the summer. However, there is great complexity in the relationships between soil chemical variables and grain yield components in agricultural crops. Thus, the simple statistical relationships, which are bivariate relationships, are of great importance, however, they do not serve to show the exact interrelationships between groups of variables. Thus, the canonical correlation analysis makes it possible to verify which variables of one group (soil) determine the best performance of the other (grain yield). Thus, the objective of this work was to verify which are the chemical variables of the soil that provide an increase in the yield components and in the yield of soybean cultivated in an integrated crop-livestock system. The experiment was carried out on a rural property located in the municipality of Vitorino-PR in a Distroferric Red Latosol. The experiment was organized in a two-factor scheme (2 x 4) in split plots with four replications. In the main plots, two ways of sowing the soybean crop were used, being double discs and a rod-type furrower. In the subplots, four forms of soil correction/conditioning were applied: 1) without correction; 2) recommended dose of limestone (2000 kg ha^{-1}); 3) recommended dose of gypsum (1000 kg ha^{-1}); and, 4) limestone mixture (2000 kg ha^{-1}) + gypsum (1000 kg ha^{-1}). Soil chemical variables analyzed were: K, Ca, Mg, Mo, Al, H+Al, V%, S-Al, CTC, CTC EF and the components of soybean grain yield: NVP, NGV, NGP, AIV, AP, PMG, PGP and REND itself. To increase soybean grain yield, taller plants should be recommended, but with a lower insertion height of the first pod and with a greater number of grains per plant, as well as a thousand grain weight, greater amounts of calcium at depths 0- 5 cm and 10-20 cm and Magnesium at 0-5 cm depth are determinant in the increase of grain yield components and in the crop grain yield. Furthermore, soils with higher base saturation at depths of 5-10 cm and 10-20 cm are determinants of plants with lower first pod insertion height, higher plant height, higher thousand-grain weight, and higher yield. And soils with higher CEC 10-20 cm, effective CEC 5-10 cm and higher CEC 0-5 cm, as well as lower CEC 5-10 cm and effective CEC 10-20 cm are determinants of soybean plants with higher yield, lower number of grains per pod and higher grain weight per plant.

Keywords: canonical correlation; SIPA; *Glycine max* (L.); soils.

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.....34
- Figura 2 – Croqui do experimento de área pastejada em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Fator A= mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de verão– sulcador ou discos desencontrados; e, Fator D= Formas de correção/condicionamento da acidez do solo – dose recomendada de calcário, dose recomendada de gesso, dose recomendada de calcário + dose recomendada de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Vitorino-PR, 2018/2019. 35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Caracterização química da área experimental, em seis profundidades, antes do início do experimento. Vitorino-PR, 2021.....34
- Tabela 2 – Estatísticas descritivas para as variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura de inserção da primeira vagem (AIV, em cm), altura de planta (AP, em cm), peso de mil grãos (PMG, em g), peso de grãos por planta (PGP, em g), rendimento (REND, em sacas ha⁻¹), matéria orgânica (MO, em g/dm⁻³), alumínio (Al, em cmolc/dm⁻³), hidrogênio mais alumínio (H+Al, em cmolc/dm⁻³), magnésio (Mg, em cmolc/dm⁻³), cálcio (Ca, em cmolc/dm⁻³), potássio (K, em cmolc/dm⁻³), saturação de base (V%, em %), saturação de alumínio (S-AL, em %), capacidade de troca de cátions (CTC, em cmolc/dm⁻³), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC-EF, em cmolc/dm⁻³) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....40
- Tabela 3 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do Grupo 1 ((H+Al-0-5) hidrogênio mais alumínio, (Mg-0-5) magnésio 0-5 cm, (Ca-0-5) cálcio 0-5 cm, (Ca-5-10) cálcio 5-10 cm, (Ca-10-20) cálcio 10-20 cm) e do grupo 2 (número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND)) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....45
- Tabela 4 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (Grupo 1= variáveis químicas do solos-1; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....46
- Tabela 5 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: Grupo 1= variáveis químicas do solos-1; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....47

Tabela 6 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis saturação de base (V%), número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....48

Tabela 7 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (Grupo 3= Saturação por bases do solo; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....49

Tabela 8 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: Grupo 3= Saturação por bases do solo; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....49

Tabela 9 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP) e rendimento (REND) e do grupo 4, capacidade de troca de cátions (CTC) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_EF) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....51

Tabela 10 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (¹Grupo 4= variáveis químicas do solos-3; e, ²Grupo 2= componentes de rendimento de grãos), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....52

Tabela 11 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: Grupo 4= variáveis químicas do solos-4; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos de 32 coletas de um experimento

conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....53

Tabela 12 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 5, hidrogênio mais alumínio (Hal_20_40 e Hal_40_60), magnésio (Mg_20_40 e Mg_40_60), cálcio (Ca_20_40 e Ca_40_60) e do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....56

Tabela 13 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 6, potássio (K_20_40 e K_40_60), saturação de base (V_20_40 e V_40_60) e do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grão planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....56

Tabela 14 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis capacidade de troca de cátions (CTC_20_40 e CTC_40_60), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_EF_20_40 e CTC_EF_40_60) e do grupo 2 número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grão planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020.....57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|---------------------------------------------------------|
| AIV | Altura de inserção de vagens |
| AP | Altura de planta |
| cm | Centímetro |
| Conab | Companhia Nacional de Abastecimento |
| cmolc | Centimol de carga |
| CTC | Capacidade de troca de cations |
| CTC EF | Capacidade de troca de cations efetiva |
| CV | Coefficiente de variação |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| Et al | E outros |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| FBN | Fixação biológica de nitrogênio |
| g | Gramas |
| ha ⁻¹ | Hectares |
| ILP | Integração lavoura-pecuária |
| kg | Quilogramas |
| MO | Matéria orgânica |
| NVP | Número de vagens por planta |
| NGV | Número de grão por vagem |
| PGP | Peso de grãos por planta |
| PMG | Peso de mil grãos |
| REND | Rendimento de grãos |
| SIPA | Sistema integrado de produção agropecuária |
| SPD | Sistema de plantio direto |
| USDA | United States Department of Agriculture |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------|--------------------------|
| % | Porcentagem |
| N | Nitrogênio |
| P | Fósforo |
| K | Potássio |
| Ca | Cálcio |
| Mg | Magnésio |
| S | Enxofre |
| B | Boro |
| Cl | Cloro |
| Cu | Cobre |
| Fe | Ferro |
| Mn | Manganês |
| Mo | Molibdênio |
| Zn | Zinco |
| Ni | Níquel |
| V% | Saturação de bases |
| H+Al | Hidrogênio mais alumínio |
| S-Al | Saturação de alumínio |

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2 OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 Geral..... | 19 |
| 2.2 Específicos..... | 19 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 20 |
| 3.1 Cultivo de grãos de soja..... | 20 |
| 3.2 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária - SIPAs..... | 21 |
| 3.2.1 Modificações do solo em SIPA..... | 22 |
| 3.2.2 Cultivo da soja em SIPA..... | 23 |
| 3.2.3 Correção e condicionamento da acidez do solo com calcário e gesso em soja cultivada em SIPA..... | 24 |
| 3.2.4 Discos duplos desencontrados e hastes sulcadoras na semeadura da soja cultivada em SIPA..... | 26 |
| 3.3 Macronutrientes no solo e Componentes de rendimento em soja..... | 28 |
| 3.4 Relações lineares simples e multivariadas entre nutrientes no solo, plantas e componentes de rendimento em diferentes culturas..... | 29 |
| 3.5 Relações lineares simples e multivariadas entre nutrientes no solo e componentes de rendimento em soja..... | 32 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 34 |
| 4.1 Local e tratamentos..... | 34 |
| 4.2 Análises estatísticas..... | 38 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 40 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 60 |
| REFERÊNCIAS..... | 61 |

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa da família das Fabaceae originária da China. Apresenta importância econômica mundial devido às características nutritivas e industriais e por se adaptar à diferentes latitudes, solos e condições climáticas (SOUZA; FERNANDES, 2008). É o grão mais cultivado em todo território brasileiro por pequenos e grandes produtores devido ao alto retorno econômico. Segundo o oitavo levantamento realizado pela Conab (2022) para safra 2021/2022, a área cultivada com soja devesse alcançar 40.921,9 milhões de hectares com produção de 123,83 milhões de toneladas do grão, 10,4% a menos que a safra anterior (2020/2021), devido a restrição hídrica sofrida pelos estados da região Sul e parte do Mato Grosso do Sul.

São necessárias novas práticas de manejo do solo para alcançar patamares de rendimento de grãos e qualidade satisfatória da soja, que vão além do plantio direto. O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) vem sendo estudado e já está sendo adotado por diversos agricultores com o intuito de ampliar sua renda por meio da inserção de bovinos no pasto no inverno, os quais são retirados para a semeadura da cultura de grãos, no verão.

O sistema integrado de produção agropecuária maximiza a ciclagem de nutrientes, e preconiza a realização da antecipação da adubação no período da pastagem de inverno, da qual o animal irá se alimentar. Dessa forma, o mesmo age como catalisador do sistema por meio da própria alimentação; os nutrientes são convertidos em produção de carne ou leite, ciclando no solo grande parte destes nutrientes por meio dos dejetos e urina. Este retorno resulta em menor gasto em insumos agrícolas para a cultura de grãos e em melhoria na qualidade do solo expressa pelo aumento do teor de matéria orgânica e da microbiota.

No sistema de plantio direto, a compactação ocorre devido ao tráfego de máquinas e equipamentos que transitam na lavoura, pela necessidade de diversos tratamentos culturais, condição que pode ser agravada quando as operações agrícolas são realizadas com alta umidade do solo. Já na integração lavoura e pecuária a compactação do solo é um dos problemas ligados a elevada intensidade de pastejo, principalmente em pequenas propriedades com produção de bovinocultura de leite. Assim, a compactação do solo está limitada às camadas superficiais; e, para romper

a compactação em regiões onde predominam solos argilosos, visando melhorar a uniformidade na emergência de plantas têm sido utilizado sulcador tipo haste para semeadura das culturas de verão, tanto em sistemas de plantio direto quanto em áreas com sistemas integrados de produção agropecuária, manejadas incorretamente (DAMS, 2014; FRANCHIN, 2011).

De modo geral, os solos brasileiros são naturalmente ácidos, o que limita o desenvolvimento radicular em profundidade devido a toxidez provocada pelo alumínio e baixa saturação por bases resultando em menor exploração por água e nutrientes (SILVA, 2016). A prática comumente utilizada para resolver o problema da acidez do solo, toxidez de alumínio e para elevar os teores de cálcio e magnésio é a calagem; a qual se limita às camadas superficiais do solo. Em plantio convencional, devido ao revolvimento do solo, a calagem atinge as camadas de 0 a 20 cm, já no plantio direto, como a aplicação é realizada em superfície, sua reação é limitada às camadas de 0 a 10 cm (BROCH *et al.*, 2008). Dessa forma, o uso do condicionador do solo, gesso agrícola, pode auxiliar na descida dos nutrientes no perfil do solo, por apresentar elevada solubilidade em comparação ao calcário, fornecer enxofre e proporcionar melhorias no ambiente radicular em camadas mais profundas (SILVA, 2016).

Para garantir elevado rendimento de grãos da soja é fundamental a adoção de práticas apropriadas de manejo, dentre elas a adubação correta visando disponibilizar os nutrientes essenciais em quantidades suficientes e em relações equilibradas para o adequado desenvolvimento e aproveitamento da planta, uma vez que a soja é uma cultura muito exigente em macronutrientes e micronutrientes.

Existe grande complexidade nas relações entre as variáveis químicas do solo e os componentes de rendimento de grãos das culturas agrícolas. Com isso, as relações estatísticas simples, que são relações bivariadas apresentam grande importância, porém, não servem para mostrar as exatas inter-relações existentes entre grupos de variáveis. Dessa forma, por meio da estimativa da máxima correlação entre dois grupos de variáveis, a análise de correlação canônica possibilita a verificação de quais são as variáveis de um grupo (solo) que determinam melhor desempenho do outro (rendimento de grãos).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar quais são as variáveis químicas do solo que proporcionam aumento nos componentes de rendimento e no rendimento de grãos de soja cultivada em sistema de integração lavoura-pecuária.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificar quais são as variáveis químicas do solo que proporcionam acréscimo nos componentes de rendimento e no rendimento de grãos de soja

2.2 Específicos

Caracterizar as variáveis de solo, os componentes de rendimento e o rendimento de grãos de soja cultivada sobre área pastejada de aveia preta;

Verificar as relações lineares simples entre as variáveis químicas do solo e os componentes de rendimentos da soja cultivada sobre área pastejada;

Verificar as relações multivariadas entre variáveis químicas do solo e os componentes de rendimento e o rendimento de grãos da soja.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultivo de grãos de soja

A soja pertence a família das Fabaceae e ao gênero *Glycine* L. Devido as suas características nutritivas e industriais e à sua adaptabilidade a diferentes latitudes, solos e condições climáticas é atualmente a oleaginosa mais importante e cultivada em todo o mundo (SOUZA; FERNANDES, 2008). O metabolismo fotossintético da soja é do tipo C3 e sua morfologia é caracterizada por possuir caule herbáceo, folhas trifolioladas, ciclo anual (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015), raízes pivotantes e raízes de absorção que possuem nódulos que fazem associação com bactérias *Rhizobium japonicum* que auxiliam na fixação do nitrogênio da atmosfera, vivendo em simbiose com as raízes da soja (MENESES, 2017).

A soja que conhecemos hoje é muito diferente dos seus ancestrais, pois eram plantas de hábito rasteiro que se desenvolviam no leste da Ásia, ao longo do rio Yangtse, na china. A evolução ocorreu a partir de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. O interesse das indústrias mundiais foi despertado no século XX, devido ao teor de óleo e proteína do grão (EMBRAPA, 2019). No Brasil, o primeiro relato sobre a cultura da soja foi por volta de 1882 no estado da Bahia (FREITAS, 2011). Porém, foi em meados de 1940 que passou a ter grande importância econômica no Brasil, destacando-se, a partir de 1970 como segundo maior produtor do mundo (BONATO; BONATO, 1987).

A tecnologia de processamento tem possibilitado a utilização das cultivares de soja em alimentação animal, humana e usos industriais. No mercado internacional a soja rende divisas consideráveis para o país e no mercado interno se concentra no consumo do óleo e ração animal. Na alimentação humana, o consumo por produtos derivados da soja vem aumentando pelo fato da divulgação dos benefícios que ela pode trazer a saúde (CARRÃO-PANIZZI; SILVA, 2011).

Segundo dados da USDA (2021), a área cultivada de soja no mundo na safra 2020/2021 foi de 127,842 milhões de hectares com produção de 362,947 milhões de toneladas, sendo que o Brasil é o maior produtor mundial do grão com 135,912 milhões de toneladas (CONAB, 2021), ficando a frente dos EUA que

atingiram uma produção de 112,549 milhões de toneladas (USDA, 2021). No Brasil, o estado do Mato Grosso é o maior produtor com 35,947 milhões de toneladas de soja e o estado do Paraná conta com produção de 19,872 milhões de toneladas (CONAB, 2021; EMBRAPA, 2021). Segundo o último boletim de grãos disponibilizado pela Conab (2022) para safra 2021/2022, a área cultivada com soja deveria alcançar 40.921,9 milhões de hectares com produção de 123,9 milhões de toneladas do grão, 10,4% a menos que a safra 2020/2021, devido a restrição hídrica sofrida pelos estados da região Sul e parte do Mato Grosso do sul.

3.2 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária - SIPAs

Na região sul do Brasil a maioria das propriedades são caracterizadas por possuírem pequenas áreas agrícolas, e em geral a produção animal é representada por bovinos produtores de leite e carne e em menor proporção por ovinos e caprinos destinados a produção de carne. Já a produção vegetal é voltada para culturas como fumo, feijão e o milho que é utilizado tanto para produção de silagem como para grãos. Os sistemas integrados de produção podem promover vantagens para os produtores, tais como: aumento da renda, maior diversificação de atividade, menor risco econômico custo de produção (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2009).

O sistema integrado de produção agropecuária pode ser definido como o aproveitamento do solo para a produção agropecuária que visa diminuir a adição de produtos externos ao sistema, aproveitando ao máximo os recursos naturais e os processos naturais de regulação (ASSMANN; SOARES; ASSMANN, 2008). Para a FAO (2010), a integração pode ser realizada em parte da fazenda ou em toda a área, o que pode envolver alguma especialização. A integração bem-sucedida envolve uma integração intencional que reflete uma relação sinérgica entre os componentes das colheitas, gado e/ou árvores e que esta relação sinérgica quando gerenciada de maneira adequada, resulta em aprimoramento de redes sociais (incluindo a comunidade) e econômicas e em sustentabilidade ambiental e melhora os meios de subsistência daqueles agricultores que os administram.

O SIPA pode proporcionar vantagens biológicas como a ciclagem de nutrientes, a qual permite a utilização de um mesmo nutriente mais de uma vez para a produção animal e vegetal. O adubo que foi aplicado na pastagem será utilizado

pela planta para aumentar a produção vegetal (grãos); e, posteriormente, servirá de alimento para os animais, resultando em produção de leite ou carne. Em seguida os nutrientes retornam à área através dos dejetos animais, os quais poderão ser utilizados outra vez para produção de pastagem ou produção de grãos. (ASSMANN; SOARES; ASSMANN, 2008). Outra importante vantagem biológica é a melhoria da qualidade do solo, devido ao aumento nas concentrações de carbono orgânico no solo no decorrer do tempo, pelo constante crescimento de plantas na área, rotação de culturas, incremento de massa produzida por tempo devido ao pastejo e maior ciclagem de nutrientes (TRACY; ZHANG, 2008).

Por mais que o SIPA possa apresentar vantagens em relação aos sistemas não integrados de produção o sucesso dependerá do adequado conhecimento sobre o sistema como um todo. Dessa forma, cinco fundamentos básicos são indispensáveis para o funcionamento correto do SIPA: correção de acidez e fertilidade do solo, uso de sistema plantio direto, rotação de cultura, uso de genótipos de animais e vegetais melhorados e manejo da pastagem (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2009).

3.2.1 Modificações do solo em SIPA

O SIPA possui uma relação sinérgica entre planta e animal, e como resultado traz benefícios ambientais e socioeconômicos. Neste sistema, os animais provocam modificações bióticas e abióticas no sistema solo-planta-atmosfera, que modifica o processo biogeoquímico dos nutrientes no solo, destacando o carbono e o nitrogênio. Decorrente do sistema de produção, ocorre aumento da matéria orgânica do solo, que auxilia na redução de adsorção de ânions da superfície dos colóides como os fosfatos e sulfatos (GUERA; FONSECA; RIBEIRO, 2019).

A presença de elevada intensidade de pastejo dos animais em áreas de lavoura pode ocasionar alteração da estrutura física do solo. Assim o manejo das pastagens deve ocorrer de forma adequada para que não cause efeito negativo pelo pisoteio dos animais (BONETTI *et al.*, 2015). O efeito dos animais em SIPA inclui alteração nas taxas de ciclagem e disponibilidade de nutrientes devido a resposta das plantas ao pastejo. Também pode influenciar nos processos de mineralização/imobilização de nitrogênio, facilitar a decomposição de substratos, e

aumentar a taxa de reciclagem de nitrogênio decorrente dos dejetos animais (SOUZA *et al.*, 2018).

Um estudo realizado por Bonetti *et al.* (2015) mostra que a condução dos SIPAs com intensidade adequada de pastejo não apresenta riscos aos atributos físicos do solo. Pois no referido estudo, quando alterado os atributos físicos do solo não se atingiu os valores críticos para o desenvolvimento de plantas. No entanto, quando a altura de pastejo foi de 25 cm, houve alteração na porosidade total do solo, aumento da resistência mecânica à penetração e redução do aporte de biomassa seca da parte aérea, porém não interferiu no rendimento de grãos da soja.

Em áreas de pastejo, os solos sofrem alterações físicas de maior ou menor intensidade devido ao pisoteio animal, porém essa situação pode ser agravada quando a umidade do solo está favorável à deformação plástica. Há características distintas quanto ao pisoteio animal e tráfego de máquinas, o que influencia no potencial de causar compactação do solo. Não é esperado encontrar compactação do solo por pisoteio animal abaixo de 10 cm de profundidade em áreas manejadas em SPD (CONTE *et al.*, 2011). Segundo Bono *et al.* (2013) os resíduos vegetais aumentam o teor de matéria orgânica e dessa forma protegem o solo da ação compressiva e cisalhante dos cascos dos animais.

3.2.2 Cultivo da soja em SIPA

Em grande parte da região sul do Brasil foi observado que o nível de adubação das pastagens é baixo, uma vez que o costume do produtor é priorizar a fertilização somente na cultura de verão e raramente na pastagem de inverno, o que tem levado ao insucesso da pecuária nesses sistemas (FERRAZZA, 2016).

Mesmo que vários estudos mostrem os benefícios gerados pela integração de animais e lavouras de grãos, ainda há uma resistência por parte dos produtores rurais. Um dos motivos para a resistência da utilização dos SIPAs são as teorias de impactos negativos provocados pelo consumo da vegetação que seria ocupada como cobertura para o solo no sistema de plantio direto, como uma concepção que quanto mais palhada maior será o rendimento de grãos da próxima safra. (ARAÚJO *et al.*, 2018). Scheffer (2018) demonstrou que a presença do animal em um sistema

agrícola junto com a fertilização feita no período hibernar não afeta o rendimento de grãos da soja.

Segundo Caetano (2017) a intensidade de pastejo pode ser um fator determinante na construção de elevado rendimento de grãos de soja em sistemas integrados de produção agropecuária. No entanto, Araújo *et al.* (2018) relatam que o resíduo do pasto atua em funções estratégicas no aporte de matéria orgânica no solo, proteção contra erosão, controle de plantas daninhas e no fornecimento de água para as culturas, porém a biomassa residual do pasto não definirá o rendimento da soja em SIPA.

3.2.3 Correção e condicionamento da acidez do solo com calcário e gesso em soja cultivada em SIPA

Para o bom desenvolvimento das raízes é necessário a ausência de limitação física, química ou biológica do solo. De forma geral, os solos brasileiros em sua grande maioria são naturalmente ácidos, o que provoca limitação do crescimento radicular em profundidade, devido a toxidez provocada pelo alumínio e baixa saturação por bases. Essa restrição no crescimento radicular resulta em menor exploração por água e nutrientes atrapalhando o crescimento e desenvolvimento de grande parte das culturas e, conseqüentemente, a estabilidade de produção nos cultivos agrícolas. Devido a essas características o Brasil é considerado como um dos maiores importadores de fertilizantes fosfatados, potássio, nitrogênio e formulados NPK (SILVA, 2016).

A calagem é a prática mais comum utilizada para neutralizar a acidez, aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir a quantidade de elementos tóxicos, melhorar o ambiente radicular e reparar a capacidade produtiva dos solos. O calcário dissolve e o carbonato dissocia-se quando entra em contato com o solo em presença de água, liberando os produtos da dissolução que reagem com os colóides do solo e provocam a elevação do pH, dos teores de Ca, Mg e da saturação por bases, além de reduzir os teores de Al e o Mn trocáveis no solo (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

No sistema de semeadura convencional, a ação do calcário ocorre na camada de 0 a 20 cm de profundidade, já na semeadura direta como a aplicação do

calcário é realizada em superfície, sem revolvimento do solo, sua reação é limitada às camadas de 0 a 10 cm de profundidade do solo. Desse modo, nos dois mecanismos sulcadores o sistema radicular prevalecerá somente nos primeiros 20 cm de solo, formando uma barreira química, principalmente pela saturação de Al, o que poderá resultar na diminuição do rendimento das culturas, que terão suas raízes engrossadas, alongadas mais lentamente e ramificação de maneira inadequada, podendo ainda afetar a parte aérea da planta (BROCH *et al.*, 2008). Além disso, as plantas também podem sofrer com o estresse hídrico por que suas raízes ficam restritas à camada superficial do solo (CARDOSO; PERES; LAMBERT, 2014). Como visto por Pauletti *et al.* (2014) em uma área de plantio direto a aplicação de calcário na superfície sem incorporação proporcionou aumento de pH somente na camada superficial do solo.

Os teores elevados de Al e a diminuição das bases trocáveis nas camadas mais profundas do solo tem sido identificados como pontos que limitam o desenvolvimento das raízes. Uma vez que, áreas com aplicação de calcário não tem mostrado diminuição dos níveis de Al nas camadas abaixo de 20 cm (CAIRES *et al.*, 2006), pois esse corretivo apresenta baixa solubilidade e, como consequência, reduz o efeito da melhoria química das camadas subsuperficiais.

Dessa forma, são necessárias novas técnicas que tenham ação complementar a propiciada pela calagem. Assim, o gesso agrícola por apresentar elevada solubilidade em comparação ao calcário, movendo-se pelo perfil do solo proporciona melhorias no ambiente radicular em camadas mais profundas devido ao aumento nos teores de cálcio e redução no alumínio, que favorece o crescimento e desenvolvimento de plantas com maior número de raízes, sendo possível maior exploração do solo e maximização da absorção de água e nutrientes (SILVA, 2016).

O gesso agrícola é um insumo extraído pela fabricação de ácido fosfórico, cuja composição apresenta principalmente cálcio e enxofre e tem ação condicionadora no solo em camadas mais profundas. Devido a elevada mobilidade no perfil do solo, pode ser lixiviado fornecendo nutrientes e reduzindo a saturação por alumínio para as camadas subsuperficiais. A aplicação conjunta de calcário e gesso em SPD favorece o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, uma vez que o calcário é um eficiente corretor da acidez do solo em camadas de até

20 cm de profundidade e o gesso atua como condicionador do solo em profundidades maiores (BROCH *et al.*, 2008).

A utilização do gesso agrícola para melhorar o ambiente radicular em solos tropicais nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil é uma prática difundida com critérios de recomendação bem estabelecidas. Porém, o gesso começou a ser utilizado recentemente em solos subtropicais no sul do Brasil, assim, se conhece pouco de seu efeito sobre a produtividade das culturas principalmente para solos sob sistema de plantio direto (TIECHER *et al.*, 2018).

3.2.4 Discos duplos desencontrados e hastes sulcadoras na semeadura da soja cultivada em SIPA

A expansão da agricultura no Brasil nos últimos 40 anos se deve, principalmente, ao crescente aumento da área cultivada (FRANCETTO *et al.*, 2015). O crescimento da cultura da soja está associado aos avanços científicos e aos progressos tecnológicos para este setor produtivo (FREITAS, 2011). Os elementos responsáveis por esse crescimento são a mecanização, a criação de cultivares altamente produtivas e adaptadas a várias regiões e a utilização de diferentes sistemas de produção (DAMS, 2014).

No SPD (Sistema de plantio direto) a compactação é causada pelos pneus das máquinas e equipamentos que trafegam na lavoura, associada a umidade inadequada do solo no momento das operações agrícolas e também a necessidade de vários cultivos e tratos culturais por ciclo das culturas (DAMS, 2014). A compactação do solo também está ligada às elevadas intensidades de pastejo, um dos problemas observados, principalmente, em pequenas e médias propriedades agrícolas com a produção de bovinocultura de leite quando realizada em sistemas de integração com lavoura de grãos (FRANCHIN, 2011).

A compactação geralmente fica limitada às camadas superficiais do solo e para romper esta camada nas regiões de solos argilosos, tem sido utilizado sulcadores do tipo haste nos SPD (DAMS, 2014) e também em áreas de integração lavoura-pecuária mal manejadas com utilização de altas lotações animais (FRANCHIN, 2011).

As semeadoras adubadoras de grãos existentes no mercado nacional possuem dois sistemas de abertura de sulcos para deposição de adubo e semente, sendo a haste sulcadora e o disco duplo desencontrado. Pelo fato de menor revolvimento do solo na linha da semeadura e menor embuchamento em solos com presença de palhada, muitos produtores têm preferido o uso do sulcador tipo disco duplo (GERMINO; BENEZ, 2006). Já as hastes sulcadoras são ferramentas em forma de “cunha” cuja função é cortar e penetrar o solo, e possuem maior capacidade de penetração do que os discos duplos, no entanto, causam maior embuchamento pelo fato de não cortar a palhada. Além da palhada, os fatores que também interferem no desempenho dos sulcadores são seu modelo, textura, densidade e resistência a penetração do solo e a pressão exercida pela semeadura (SIQUEIRA, 2008).

Observou-se em estudo realizado por Dedordi (2015) que o sulcador tipo disco duplo apresentou maiores valores médios de profundidade de semeadura do que o sulcador tipo haste, o qual foi explicado pela utilização do sistema conhecido como “pula pedra” que tem a função de deslocar a haste quando se depara com algum obstáculo como pedras madeira ou solo compactado, dessa forma, o deslocamento da haste fez com que a mesma trabalhasse em profundidade menor que o disco, reduzindo assim a profundidade de semeadura. Por outro lado, Vizzotto (2014), observou que a haste sulcadora originou maior profundidade média na deposição da semente de soja em áreas de várzeas comparadas aos tratamentos com a utilização de discos. Porém nas áreas que Dams (2014) e Trentin (2015) conduziram em sistemas de plantio direto o mecanismo tipo haste sulcadora proporcionou maior rendimento de grãos de soja. Avaliando soja semeada sobre aveia preta para cobertura, Pavan (2019) relatou rendimento de grãos significativamente maior ($3599,72 \text{ Kg ha}^{-1}$) quando em semeadura com discos duplos desencontrados, em relação ao uso de hastes sulcadoras ($3211,38 \text{ Kg ha}^{-1}$). Neste mesmo trabalho, quando a soja foi semeada sobre área de pastejo (ILP), embora tenha se observado maior número de grãos por planta em semeadura com hastes sulcadoras, não houve diferença entre os mecanismos de semeadura quanto ao rendimento de grãos de soja.

Em área de integração lavoura-pecuária, os resultados reportados por Andreolla (2005) também evidenciaram maior rendimento da soja quando a

semeadura foi efetuada com o do sulcador tipo haste em relação ao tipo disco duplo. Gurgacz (2007) avaliando o desempenho de uma semeadora adubadora na implantação da cultura da soja em diferentes sistemas de manejo do solo utilizando sulcadores tipo haste, disco duplo e sua ausência em dois sistemas de rotação de cultura e integração lavoura-pecuária, relatou que o mecanismo tipo haste apresentou maior profundidade de sulco e sementes, revolvimento do solo e menor índice de emergência de plantas. Além do mais, o rendimento da soja não foi influenciada pelo mecanismo sulcador, mas sim pelo sistema de manejo, no qual o sistema de integração-pecuária resultou em maior rendimento de grãos, em função da maior população de plantas obtida.

3.3 Macronutrientes no solo e Componentes de rendimento em soja

A soja apresenta grande importância econômica na agricultura brasileira e dessa forma o rendimento de grãos e o lucro são fatores essenciais. Assim, a utilização de sementes com elevada germinação e vigor e a disponibilidade de nutrientes na dose adequada é de grande importância para se alcançar um estande ideal de plantas e elevado rendimento de grãos (DEUNER *et al.*, 2015).

O rendimento de grãos da soja é definido por peso e o número de grãos por planta e por unidade de área. Dessa forma, vários fatores afetam o número de vagens, o processo de floração e o desenvolvimento reprodutivo da soja. A fase mais sensível no desenvolvimento das vagens está entre R1 e R6, quando ocorre a floração e abscisão da flor. O número de grãos é diretamente influenciado pelo número de nós por planta e pelas vagens em desenvolvimento a partir dos nós. O número de nós por planta também é influenciado pela densidade de plantas. Com isso, o principal elemento para o desenvolvimento de rendimento de grãos é um elevado número de nós e vagens por planta que pode ser alcançado pelo crescimento ideal da planta, dessa forma, destaca-se a importância de adequada fertilização na cultura da soja, desde o início do ciclo (YARA, 2022).

As plantas retiram da natureza todos os nutrientes para constituir seu ciclo vital, sendo os orgânicos, o carbono, o oxigênio e o hidrogênio; e os minerais, que são divididos em dois grupos de acordo com a quantidade demandada pela planta. Os macronutrientes são absorvidos em kg ha^{-1} e são representados pelo nitrogênio

(N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e Enxofre (S). Já os micronutrientes são requeridos em g ha⁻¹ e são boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), e níquel (Ni) (DOMINGOS; LIMA; BRACCINI, 2015). A soja é uma cultura muito exigente em todos os macronutrientes essenciais, e para a máxima eficiência de aproveitamento pela cultura, devem estar disponíveis no solo em quantidades suficientes e em relações equilibradas. A deficiência ou desequilíbrio entre os nutrientes pode acarretar a absorção deficiente de alguns e excessiva de outros nutrientes (SFREDO, 2008).

Entre os nutrientes essenciais para o adequado desenvolvimento e rendimento de grãos elevado da soja, o fósforo se destaca, pois, a maioria dos solos brasileiros apresentam baixos teores de P de forma disponíveis para a cultura. Dessa forma, é necessária a adição para se elevar os teores de forma imediata ou gradual no solo (RAIJ *et al.*, 2001).

Por outro lado, os solos basálticos, geralmente, possuem altos teores de potássio, e os solos originados de arenito apresentam baixos teores de K, sendo necessária a adubação. Os macronutrientes são exportados pelos grãos de soja nas seguintes quantidades, 84% de N, 87% de P, 56% de K, 15% de Ca, 22% de Mg e 65% de S (SFREDO, 2008). Gonçalves Júnior *et al.* (2010) observaram que conforme se aumentou os teores de fósforo e potássio o número de legumes por planta e o rendimento de grãos aumentaram significativamente.

Nas leguminosas, o nitrogênio atmosférico é fixado simbioticamente em amônio pelos nódulos presentes nas raízes e transportado como íon amônio (SFREDO, 2008). Devido, ao crescente rendimento de grãos da soja nos últimos anos, a demanda por nitrogênio tem aumentado. Dessa forma a inoculação das sementes de soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* objetiva introduzir estirpes de bactérias eficientes na fixação biológica de nitrogênio (FBN) e aumentar a população em relação as estirpes presentes no solo, o que aumenta o número e nódulos, a eficiência de FBN e a quantidade de N fixado pela planta (BROCH; RANNO, 2008).

3.4 Relações lineares simples e multivariadas entre nutrientes no solo, plantas e componentes de rendimento em diferentes culturas

Estudos de correlação simples, análise de trilha e correlações canônicas são importantes para analisar as relações existentes entre as variáveis. Dessa forma, o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) é uma estatística bivariada que mede a força, a intensidade ou o grau linear de associação entre as variáveis, sendo que o sinal do coeficiente de correlação linear de Pearson expressa o sentido da correlação; e, sua intensidade é representada por algum valor entre -1 e 1, e a ausência de correlação linear ocorre quando $r = 0$. (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2010).

Vários pesquisadores usam esse tipo de análise estatística em seus trabalhos, como Dalchiavon *et al.* (2012), que utilizaram a análise de correlação linear de Pearson com o objetivo de selecionar os melhores componentes da produção para explicar a variabilidade do rendimento de grãos de arroz de terras altas irrigadas. Neste estudo, o número de espiguetas granadas por panícula apresentou a melhor correlação potencial direta com a produtividade de grãos de arroz. Outros autores, tais como, Toebe *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2016) na cultura do milho, Muller *et al.* (2012) em azevém, Gonçalves *et al.* (2013) em cana-de-açúcar, Brum (2009) em mamoneira, também fizeram uso de análise de correlação simples para explicar as relações simples entre variáveis de plantas e o rendimento de grãos.

A correlação linear simples apenas associa os dados, porém não permite conclusão sobre causa e efeito, não respondendo ao exato tipo de associação que gera o par de caracteres X, Y. Dessa forma, o método desenvolvido para suprir esta limitação foi a análise de trilha, que permite separar os coeficientes de correlação em efeito direto e indireto de variáveis secundárias (explicativas ou independentes) sobre uma variável principal (dependente) (COIMBRA *et al.*, 2005).

Dums (2017) realizou análise de trilha para verificar os efeitos diretos e indiretos de componentes de rendimento sobre o rendimento de grãos na cultura de feijão, na qual constatou que a variável com maior efeito direto sobre o rendimento de grãos por planta é o número de vagens por planta (NVP), nas doses 0, 50 e 100 Kg de N ha⁻¹; e, na dose 150 Kg de N ha⁻¹ foi a variável peso de vagens por planta. As variáveis que atuaram indiretamente sobre o rendimento de grãos por planta via peso médio de vagens por planta foram altura de planta, número de vagens por planta, número de grãos por planta e comprimento médio de vagem por planta.

Cabral *et al.* (2011) também observaram na cultura de feijão que a variável com maior efeito direto sobre a produtividade foi NVP.

Na cultura do milho, Lopes (2007) utilizou a análise de trilha para verificar como o peso dos grãos das espigas de milho esta relacionada diretamente ou indiretamente com as características morfológicas das espigas e se a relação depende do tipo de híbrido simples, triplo ou duplo. O número de filas de grãos por espiga se correlacionou com o peso de grãos nos híbridos duplos. A seleção de espigas com maior peso de 100 grãos e maior número de grãos por espiga possui efeito direto no aumento do peso de grãos por espiga nos híbridos simples e triplo. Já no híbrido duplo, teve efeito somente o número de grãos por espiga.

Outra análise utilizada, é a correlação canônica que tem o intuito de determinar a combinação linear máxima entre dois grupos de variáveis, geralmente denominado de grupo X e grupo Y (LUÍS, 2015). Esta estatística permite analisar as inter-relações de grupos com diferentes números de variáveis, e as associações são explicáveis de modo simples por poucas correlações (CRUZ *et al.*, 2012). Porém, antes de seguir com a análise de correlação canônica, deve-se verificar os pressupostos de normalidade multivariada, homocedasticidade dos resíduos, multicolinearidade e linearidade, para ter maior qualidade e confiabilidade dos resultados (BRUM, 2009). O método detalhado e a equação matemática pode ser visto em Cruz; Regazzi (1997), Mingoti (2005) e Rigão (2009).

Existem diversos trabalhos com cultivos agrícolas que utilizaram a análise de correlações canônicas para entender as relações entre dois grupos de variáveis, dentre esse, pode-se destacar: Brum *et al.* (2011) que utilizaram esta análise com objetivo de identificar as relações entre grupos de variáveis de sementes, plântulas, plântulas adultas, produção de grãos e qualidade de óleo, em dois híbridos de mamoneira. Geremia *et al.* (2015) para avaliar o efeito de fontes de adubação em pastagem de Tifton 85 sobre a fauna edáfica e a relação desta com as variáveis físico-químicas do solo. Carvalho (2015) com objetivo de identificar modelos biométricos que permitam compreender as inter-relações entre caracteres, e direcionar a seleção indireta no melhoramento genético de trigo duplo propósito, e Protásio *et al.* (2012) para verificar as associações existentes as características da madeira de clones de eucalipto e as características do carvão vegetal.

Portanto, as análises de relações multivariadas podem ser muito úteis na identificação de relações de causa e efeito e na determinação de variáveis mais importantes para maximizar o rendimento de grãos dos cultivos agrícolas.

3.5 Relações lineares simples e multivariadas entre nutrientes no solo e componentes de rendimento em soja

Na cultura da soja são encontrados diversos estudos usando as correlações simples. Como por exemplo, Perez *et al.* (2014) que utilizou correlação de Pearson para avaliar quatro conjuntos de dados obtidos em uma unidade de referência de Rede de Agricultura de Precisão, submetida a um sistema de integração lavoura-pecuária envolvendo a sucessão de cultivo de soja no período de verão e pastagem de azevém no inverno, sendo dois referentes ao rendimento da soja e os outros dois referentes a condutividade elétrica do solo.

Ruy *et al.* (2012) avaliaram alguns bioindicadores de qualidade de solo, relacionando-os com o teor de carbono do solo em áreas de produção comercial, com diferentes níveis de rendimento de soja em sistema de plantio direto, no qual os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson e regressão múltipla.

Também é possível encontrar vários trabalhos utilizando análise de trilha. Carvalho *et al.* (2002) em seu trabalho procuraram quantificar as inter-relações entre rendimento de grãos e algumas características agronômicas da soja, como dias para maturação, altura da planta no florescimento e número de nós da haste principal, em um período mais amplo de semeadura (setembro a dezembro), com o objetivo de identificar possíveis critérios de seleção indireta em relação ao rendimento de grãos, avaliando linhas puras derivadas de cruzamentos.

Lima *et al.* (2014), usaram a análise de trilha, de atributos físicos do solo sobre a resistência a penetração de um Latossolo Amarelo. Granemann (2015) também fez uso de análise de trilha, com o objetivo de avaliar a correlação entre os atributos químicos do solo e o rendimento de grãos da soja para cada estimativa de parâmetro do semivariograma (alcance, efeito pepita e patamar), e o desdobramento das correlações em efeito direto e indireto, desejando melhorar o processo de mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo para aplicação em agricultura de precisão.

Trabalhos utilizando correlação canônica na cultura da soja são escassos. Dellagostin (2019) avaliou as inter-relações entre fatores climáticos com o vigor da semente e os componentes de rendimento da soja, na qual para a análise de correlação canônica separou as variáveis em grupo1 (fisiológicos) e grupo 2 (morfológicos e componentes de rendimento). Santos (2013) em seu trabalho verificou a relação entre as variáveis microbianas do solo e as variáveis de fertilidade do solo por meio da análise de correlação canônica. Já Pereira (2016) utilizou a referida análise para verificar as relações existentes entre os caracteres agronômicos de plantas e fisiológicos de sementes de soja.

Não foram encontrados relatos de estudos verificando as relações entre variáveis químicas do solo e componentes de rendimento de grãos de soja por meio da análise de correlação canônica em sistemas integrados de produção agropecuária, o qual será objeto de estudo deste trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e tratamentos

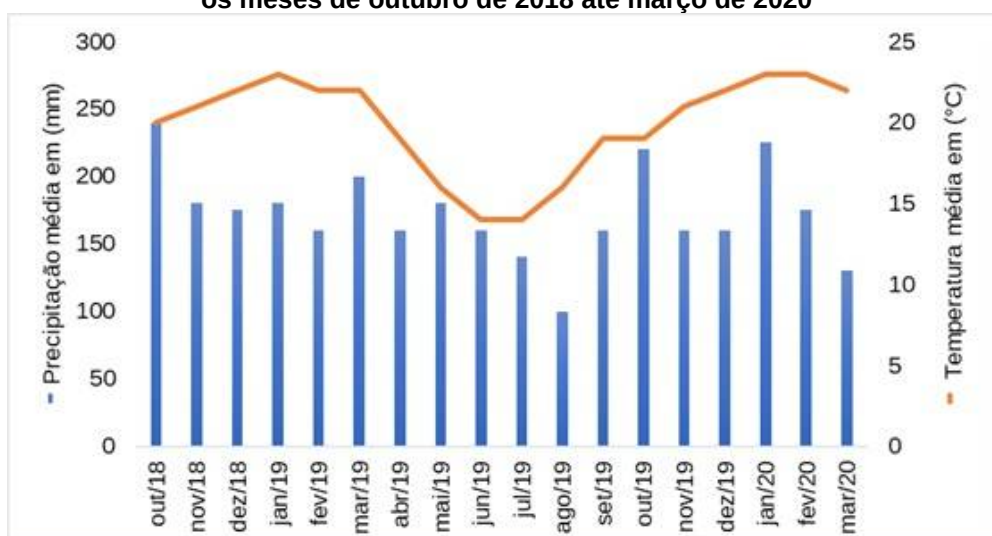
O experimento foi conduzido em uma propriedade rural localizada no município de Vitorino-PR, com clima tipo Cfb segundo a classificação de Köppen (MAAK, 1968). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, com relevo ondulado. Na tabela 1 podemos observar a condição química inicial do solo e na Figura 1 as condições de precipitação e temperatura durante o período experimental.

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

| Profundidade cm | pH- CaCl ₂ | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | K | P mg dm ⁻³ | MO g dm ⁻³ | V % |
|-----------------|--------------------------|------------------------------------------------|-----|------|------|--------------------------|--------------------------|--------|
| | | Ca | Mg | Al | | | | |
| 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 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

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

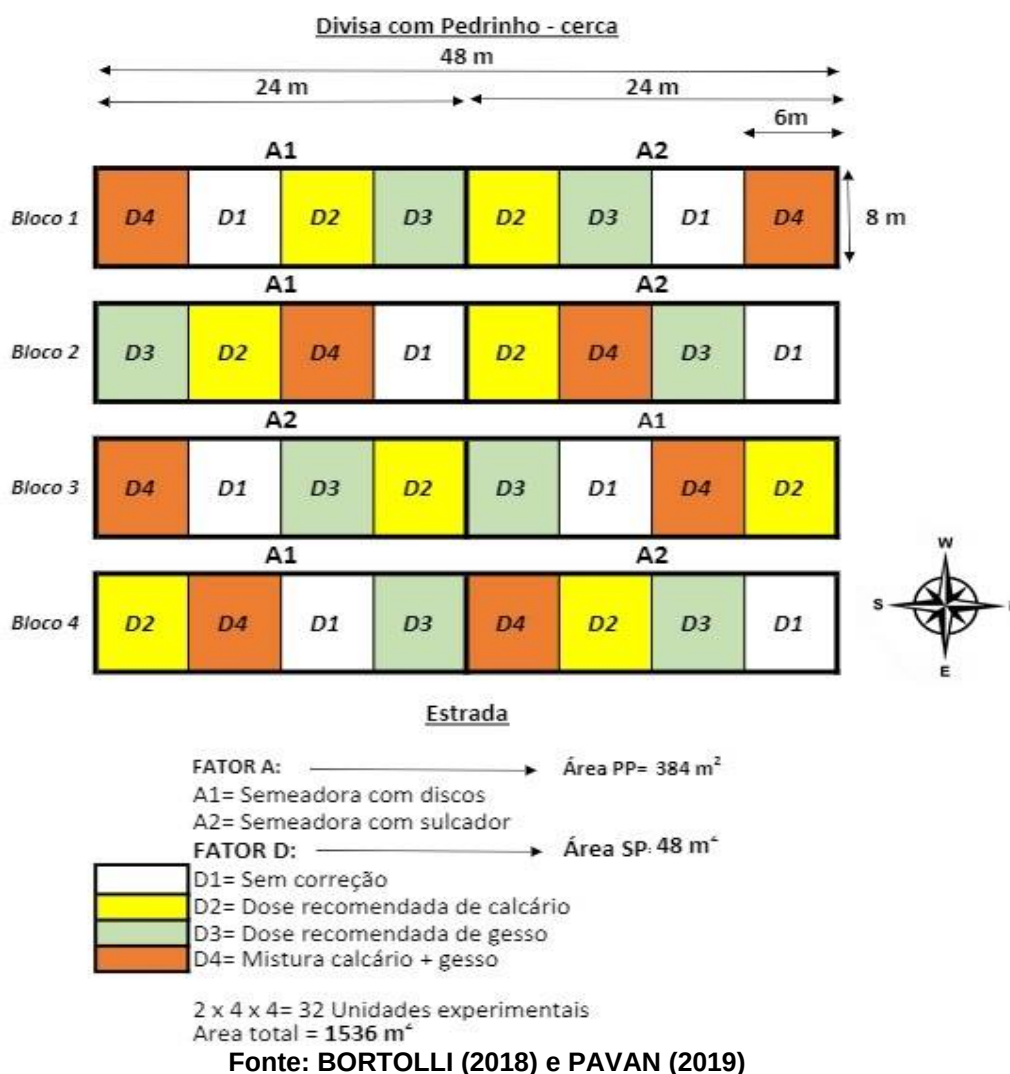


Fonte: Elaborado por RIBAS (2021) com dados IAPAR (2020) e SIMEPAR (2020)

Iniciou-se o primeiro ano de avaliação dos experimentos no mês de maio de 2018 com a semeadura da aveia preta (*Avena Strigosa*), em uma área total de 1536 m², sobre área pastejada de aveia preta no inverno. O método de pastejo utilizado foi de lotação contínua com taxa de lotação variável utilizando três bovinos matrizes da raça Brangus. Aproximadamente uma semana antes da semeadura da soja, a área foi dessecada com aplicação de 1,5 L ha⁻¹ de glifosato.

Em 29 de outubro de 2018 ocorreu a semeadura da cultivar de soja TMG7262 RR®, adotando-se espaçamento de 50 cm entrelinhas.

Figura 2 – Croqui do experimento de área pastejada em esquema bifatorial 2 x 4, em parcelas subdivididas (Fator A= mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de verão – sulcador ou discos desencontrados; e, Fator D= Formas de correção/condicionamento da acidez do solo – dose recomendada de calcário, dose recomendada de gesso, dose recomendada de calcário + dose recomendada de gesso; e, testemunha sem aplicação de corretivo da acidez do solo), no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições.
Vitorino-PR, 2018/2019



O experimento foi organizado em esquema bifatorial (2 x 4) em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas principais, foram utilizados dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura da soja, sendo discos duplos e sulcador tipo haste. Nas subparcelas, foram aplicadas quatro formas de correção/condicionamento do solo: 1) sem correção; 2) dose recomendada de calcário (2000 kg ha⁻¹); 3) dose recomendada de gesso (1000 kg ha⁻¹); e, 4) mistura calcário (2000 kg ha⁻¹) + gesso (1000 kg ha⁻¹). (Figura 2). A adubação foi realizada no sulco com 350 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K 02-20-15.

O segundo ano de experimento ao qual se refere os dados coletados para a elaboração do presente trabalho iniciou-se com o plantio de aveia preta em abril de 2019, em sistema de plantio direto na palha. Foram semeados 100 kg ha⁻¹ de aveia preta com espaçamento entre linhas de 17 cm. Foram aplicados 250 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K 08-20-15 como adubação de base e aos 25 dias após a emergência (DAE), que coincidiu com o início do perfilhamento, foi aplicada a adubação nitrogenada de cobertura.

As coletas de solo para realização da análise química foram efetuadas antes da semeadura da cultura da soja (safra 2019/2020). As amostras foram coletadas com pá de corte em cinco profundidades no perfil do solo (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm). Em seguida, as amostras passaram por processo de secagem em estufa com temperatura controlada de 40 °C durante três a quatro dias, após as amostras foram moídas para a quantificação através da análise de solo das características químicas do solo pela análise de solo: K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Mo (matéria orgânica), Al (alumínio), H+Al (hidrogênio mais alumínio), V % (saturação de bases), S-Al (saturação de alumínio), CTC (capacidade de troca de cations), CTC EF (capacidade de troca de cations efetiva).

Em 23 de outubro de 2019 foi realizada a semeadura da cultura da soja cultivar TMG “7262” em sistema plantio direto, com espaçamento de 0,50 m entrelinhas e densidade de 14 sementes m⁻¹, totalizando um estande esperado de 280.000 plântulas. Foi realizado o mesmo delineamento e tratamentos (somente as parcelas principais receberam os diferentes mecanismos sulcadores – discos duplos e sulcador do tipo haste; nas subparcelas a aplicação das formas de correção/condicionamento do solo foi feita na safra anterior) que a safra 2018/19.

Para estimativa do rendimento de grãos da soja foram coletadas manualmente as plantas de uma área central de quatro metros quadrados (duas linhas de quatro metros cada uma) no dia 10/03/2020. Posterior a colheita os grãos passaram por processo de trilha e então foi realizado a pesagem das amostras na balança de precisão, determinada a umidade e realizada a correção de pesagem para 13% de umidade e o rendimento expresso em kg ha^{-1} .

Neste mesmo dia foram escolhidas aleatoriamente cinco plantas coletadas dos 4 m^2 para quantificação dos componentes de rendimento de grãos:

- Altura de planta (AP, em cm), para cada planta coletada foram medidos com a trena do nível do solo até o ápice da planta, sendo cinco plantas por unidade experimental e após foi realizada a média aritmética;

- Altura de inserção de vagens (AIV, em cm): para cada planta coletada foram medidos com a trena do nível do solo até a primeira inserção de vagens, sendo cinco plantas por unidade experimental e após foi realizada a média aritmética;

- Número de vagens por planta (NVP): foram contados o número de vagens por planta de cinco plantas por unidade experimental e após foi realizada a média aritmética;

- Número de grão por vagem (NGV): para cada vagem coletada foram contados o número de grãos por vagem em cinco plantas por unidade experimental e após foi realizada a média aritmética;

- Rendimento de grãos (REND, em kg ha^{-1}): foram coletadas em cada unidade experimental as plantas de soja presentes em duas linhas de semeadura com quatro metros cada, após foi realizada a contagem de mil grãos e efetuada a pesagem em balança de precisão;

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

- Peso de grãos por planta (PGP, em g): para cada unidade experimental foram coletas as plantas de soja presentes em duas linhas de semeadura com quatro metros cada, após foi realizada a separação dos grãos e efetuada a pesagem em balança de precisão.

4.2 Análises estatísticas

No experimento conduzido sobre área pastejada, inicialmente foi realizada análise de estatísticas descritivas para caracterização das variáveis químicas do solo (K, Ca, Mg, Mo, Al, H+Al, V%, S-Al, CTC, CTC EF) e dos componentes de rendimento de grãos de soja (NVP, NGV, NGP, AIV, AP, PMG, PGP e REND).

Posteriormente foram verificados os pressupostos da análise de correlação canônica e efetuadas a seleção das variáveis. Inicialmente, em cada um dos grupos de variáveis foi verificado o pressuposto de normalidade multivariada utilizando o teste de Shapiro-Wilk multivariado, função `mvShapiroTest` do programa R (VILLASENOR ALVA; ESTRADA, 2009).

Em seguida verificou-se o pressuposto de homoscedasticidade dos desvios por meio de diagramas de dispersão. Dados com valores de desvios padronizados maiores do que 4 e menores do que -4 foram considerados discrepantes e retirados da análise (HAIR *et al.*, 2009).

A linearidade foi verificada observando-se a significância do coeficiente de correlação de Pearson, em nível de 5% de probabilidade de erro. Foram excluídas variáveis que não apresentaram, pelo menos, uma correlação linear significativa com o outro grupo.

Em cada um dos grupos de variáveis, foi avaliada a multicolinearidade pelo número de condição (NC) (MONTGOMERY; PECK, 1982). Variáveis causadoras de multicolinearidade foram eliminadas da análise até a obtenção de um grau de multicolinearidade fraco entre as variáveis.

Em seguida foram obtidas as estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre todas as variáveis de cada um dos grupos (Grupo 1 x Grupo 2; Grupo 3 x 2; Grupo 4 x Grupo 2; Grupo 5 x Grupo 2; Grupo 6 x Grupo 2 e Grupo 7 x Grupo 2).

Por fim, foi efetuada a análise de correlação canônica dos grupos de variáveis químicas do solo -Grupo 1 (H+Al-0-5, Mg-0-5, Ca-0-5, Ca-5-10, Ca-10-20), Grupo 3 (V%-0-5, V%-5-10, V%-10-20), Grupo 4 (CTC-0-5, CTC-5-10, CTC-10-20, CTC-EF-5-10, CTC-EF-10-20,), Grupo 5 (Hal_20_40 e Hal_40_60, Mg_20_40 e Mg_40_60, Ca_20_40 e Ca_40_60), Grupo 6 (K_20_40, K_40_60, V_20_40, V_40_60) e Grupo 7 (CTC_20_40, CTC_40_60, CTC_EF_20_40, CTC_EF_40_60)

com o grupo 2 (componentes de rendimento: altura de planta, altura de inserção de vagens, número de vagens por planta, número de grão por vagem, rendimento de grãos, número de planta por área, peso de 1000 grãos e rendimento de grão).

A verificação dos pressupostos e a análise de correlação canônica foi realizada pelos programas Genes (CRUZ, 2013), R (R Development Core Team, 2021) e Microsoft Office Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O coeficiente de variação fornece a variação dos dados em percentual obtidos em relação à média, portanto quanto menor for o seu valor mais homogêneo serão os dados. É possível classificar a variabilidade de um atributo através da magnitude do seu coeficiente de variação (CV) (FREDDI *et al.*, 2006). Portanto, se o CV for > 10% é classificado como baixo, de 10% < CV ≤ 20% - médio, 20% < CV ≤ 30% - alto e CV > 30% - muito alto (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

Para componentes de rendimento de grãos de soja, cultivada sobre área de aveia preta pastejada no inverno (Tabela 2), NVP, NGV, NGP, AIV, AP, PMG e PGP os valores médios observados foram respectivamente: 49,73; 2,53; 125,50; 24,54 cm; 119,91 cm; 173,78 g e 21,82 g, com CV de 17,90% (médio), 3,07% (baixo), 17,05% (médio), 14,31 % (médio), 5,59% (baixo), 3,70% (baixo) e 17,98% (médio). Para o REND se obteve valor médio de 69,12 sacas ha⁻¹ e CV de 12,87%.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas para as variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura de inserção da primeira vagem (AIV, em cm), altura de planta (AP, em cm), peso de mil grãos (PMG, em g), peso de grãos por planta (PGP, em g), rendimento (REND, em sacas ha⁻¹), matéria orgânica (MO, em g/dm⁻³), alumínio (Al, em cmolc/dm⁻³), hidrogênio mais alumínio (H+Al, em cmolc/dm⁻³), magnésio (Mg, em cmolc/dm⁻³), cálcio (Ca, em cmolc/dm⁻³), potássio (K, em cmolc/dm⁻³), saturação de base (V%, em %), saturação de alumínio (S-AL, em %), capacidade de troca de cátions (CTC, em cmolc/dm⁻³), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC-EF, em cmolc/dm⁻³) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

(continua)

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | CV (%) | Variância | DP |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| Componentes de rendimento | | | | | | |
| NVP | 49,74 | 35,40 | 75,80 | 17,91 | 79,31 | 8,91 |
| NGV | 2,53 | 2,39 | 2,74 | 3,07 | 0,01 | 0,08 |
| NGP | 125,49 | 92,80 | 193,80 | 17,05 | 457,75 | 21,40 |
| AIV | 24,55 | 17,20 | 30,70 | 14,31 | 12,33 | 3,51 |
| AP | 119,91 | 101,60 | 129,20 | 5,59 | 44,88 | 6,70 |
| PMG | 173,78 | 160,80 | 190,00 | 3,70 | 41,29 | 6,43 |
| PGP | 21,83 | 16,18 | 34,38 | 17,98 | 15,41 | 3,93 |
| REND | 69,12 | 47,12 | 90,28 | 12,87 | 79,08 | 8,89 |
| Características químicas do solo | | | | | | |
| MO | 54,03 | 41,64 | 65,82 | 11,50 | 38,62 | 6,21 |
| Al-0-5 | 0,11 | 0,00 | 0,82 | 229,07 | 0,07 | 0,26 |

Tabela 2 – Estatísticas descritivas para as variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura de inserção da primeira vagem (AIV, em cm), altura de planta (AP, em cm), peso de mil grãos (PMG, em g), peso de grãos por planta (PGP, em g), rendimento (REND, em sacas ha⁻¹), matéria orgânica (MO, em g/dm³), alumínio (Al, em cmolc/dm³), hidrogênio mais alumínio (H+Al, em cmolc/dm³), magnésio (Mg, em cmolc/dm³), cálcio (Ca, em cmolc/dm³), potássio (K, em cmolc/dm³), saturação de base (V%, em %), saturação de alumínio (S-AL, em %), capacidade de troca de cátions (CTC, em cmolc/dm³), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC-EF, em cmolc/dm³) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

(continua)

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | CV (%) | Variância | DP |
|------------|-------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| Al-5-10 | 0,23 | 0,00 | 1,46 | 195,18 | 0,19 | 0,44 |
| Al-10-20 | 0,41 | 0,00 | 1,76 | 139,53 | 0,32 | 0,57 |
| Al-20-40 | 0,85 | 0,00 | 2,02 | 78,44 | 0,44 | 0,66 |
| Al-40-60 | 1,12 | 0,00 | 2,33 | 70,27 | 0,62 | 0,79 |
| H+Al-0-5 | 4,53 | 2,27 | 8,52 | 37,86 | 2,94 | 1,71 |
| H+Al-5-10 | 4,89 | 2,96 | 9,00 | 35,33 | 2,98 | 1,73 |
| H+Al-10-20 | 5,42 | 3,23 | 9,31 | 32,24 | 3,06 | 1,75 |
| H+Al-20-40 | 5,95 | 3,23 | 10,45 | 31,40 | 3,49 | 1,87 |
| H+Al-40-60 | 6,69 | 2,96 | 12,13 | 32,86 | 4,83 | 2,20 |
| Mg-0-5 | 4,73 | 1,90 | 6,60 | 24,85 | 1,38 | 1,18 |
| Mg-5-10 | 3,96 | 1,50 | 5,70 | 28,97 | 1,32 | 1,15 |
| Mg-10-20 | 3,21 | 1,20 | 4,80 | 32,93 | 1,12 | 1,06 |
| Mg-20-40 | 2,16 | 0,90 | 3,60 | 36,76 | 0,63 | 0,79 |
| Mg-40-60 | 1,73 | 0,40 | 3,40 | 45,99 | 0,63 | 0,80 |
| Ca-0-5 | 8,19 | 2,90 | 13,50 | 30,41 | 6,21 | 2,49 |
| Ca-5-10 | 5,90 | 2,20 | 9,00 | 31,65 | 3,48 | 1,87 |
| Ca-10-20 | 4,13 | 1,30 | 6,80 | 37,70 | 2,43 | 1,56 |
| Ca-20-40 | 2,50 | 0,80 | 5,80 | 58,70 | 2,15 | 1,47 |
| Ca-40-60 | 2,24 | 0,60 | 6,20 | 76,18 | 2,92 | 1,71 |
| K-0-5 | 0,35 | 0,09 | 1,02 | 69,43 | 0,06 | 0,25 |
| K-5-10 | 0,18 | 0,05 | 0,47 | 63,68 | 0,01 | 0,11 |
| K-10-20 | 0,12 | 0,06 | 0,25 | 45,69 | 0,00 | 0,06 |
| K-20-40 | 0,08 | 0,05 | 0,14 | 32,47 | 0,00 | 0,03 |
| K-40-60 | 0,08 | 0,04 | 0,16 | 41,86 | 0,00 | 0,03 |
| V%-0-5 | 68,56 | 42,54 | 86,47 | 19,28 | 174,70 | 13,22 |
| V%-5-10 | 61,44 | 32,77 | 81,78 | 22,43 | 189,90 | 13,78 |
| V%-10-20 | 52,82 | 21,78 | 77,82 | 29,82 | 248,11 | 15,75 |
| V%-20-40 | 41,95 | 14,79 | 73,21 | 36,09 | 229,21 | 15,14 |
| V%-40-60 | 36,22 | 13,37 | 73,72 | 48,32 | 306,28 | 17,50 |

Tabela 2 – Estatísticas descritivas para as variáveis número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), altura de inserção da primeira vagem (AIV, em cm), altura de planta (AP, em cm), peso de mil grãos (PMG, em g), peso de grãos por planta (PGP, em g), rendimento (REND, em sacas ha⁻¹), matéria orgânica (MO, em g/dm⁻³), alumínio (Al, em cmolc/dm⁻³), hidrogênio mais alumínio (H+Al, em cmolc/dm⁻³), magnésio (Mg, em cmolc/dm⁻³), cálcio (Ca, em cmolc/dm⁻³), potássio (K, em cmolc/dm⁻³), saturação de base (V%, em %), saturação de alumínio (S-AL, em %), capacidade de troca de cátions (CTC, em cmolc/dm⁻³), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC-EF, em cmolc/dm⁻³) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

(conclusão)

| Variável | Média | Mínimo | Máximo | CV (%) | Variância | DP |
|--------------|-------|--------|--------|--------|-----------|-------|
| S,AL-0-5 | 1,59 | 0,00 | 12,91 | 237,13 | 14,29 | 3,78 |
| S,AL-5-10 | 3,68 | 0,00 | 27,74 | 205,00 | 56,92 | 7,54 |
| S,AL-10-20 | 7,47 | 0,00 | 40,44 | 154,67 | 133,52 | 11,56 |
| S,AL-20-40 | 18,60 | 0,00 | 53,37 | 85,27 | 251,59 | 15,86 |
| S,AL-40-60 | 27,13 | 0,00 | 63,00 | 77,14 | 437,80 | 20,92 |
| CTC-0-5 | 15,45 | 7,45 | 21,88 | 29,26 | 20,44 | 4,52 |
| CTC-5-10 | 13,23 | 7,65 | 17,73 | 24,39 | 10,41 | 3,23 |
| CTC-10-20 | 11,83 | 8,14 | 15,39 | 18,31 | 4,69 | 2,17 |
| CTC-20-40 | 10,39 | 7,00 | 14,49 | 18,98 | 3,89 | 1,97 |
| CTC-40-60 | 10,65 | 7,13 | 14,64 | 19,95 | 4,52 | 2,13 |
| CTC,EF-0-5 | 13,39 | 6,12 | 18,84 | 24,76 | 10,99 | 3,32 |
| CTC,EF-5-10 | 10,26 | 5,26 | 14,50 | 25,17 | 6,67 | 2,58 |
| CTC,EF-10-20 | 7,87 | 4,35 | 11,34 | 26,30 | 4,28 | 2,07 |
| CTC,EF-20-40 | 5,58 | 3,79 | 9,47 | 29,03 | 2,62 | 1,62 |
| CTC,EF-40-60 | 5,18 | 3,35 | 9,24 | 34,29 | 3,15 | 1,77 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Valores semelhantes foram encontrados por Pavan (2019) em Latossolo Vermelho Distroférico em área de integração lavoura e pecuária utilizado bovinos da raça Brangus e a cultivar TMG 7262 na safra 2018/2019, para os componentes de rendimento, respectivamente: NVP, NGV, NGP, AIPV, AP, PMG e PGP para valores médios de 59,98; 2,37; 140,91; 17,45 cm; 113,41 cm; 150,94 g e 21,27 g e CV's de 18,05%(médio), 5,82%(baixo), 19,37%(médio), 11,87%(médio), 5,08%(baixo), 3,29%(baixo) e 19,70%(médio). O REND foi de 57,24 sacas ha⁻¹ e CV de

17,69% (médio). Lunard *et al.* (2008) em sistema de integração lavoura pecuária para avaliar a influência de métodos de intensidade de pastejo de ovinos no rendimento da soja cultivada sob palhada de azevém no inverno em um Argissolo Vermelho Distrófico típico observaram CV de 22,55% (alto) no rendimento da soja, 25,90% (alto) para NVP e 10,02% (médio) para PMG. Já Cavalli (2019) com objetivo de avaliar os efeitos do estresse por sombreamento artificial sobre os componentes morfológicos e de rendimento na cultura da soja TMG 7262 RR avaliando os componentes de rendimento obteve valores médios de NVP de 61,42, NGV de 2,43, massa de cem grãos de 16,93 g e rendimento de 5103,92 kg ha⁻¹ (85,06 sacas ha⁻¹) e CVs de 4,39% (NVP), 2,53%(NGV), 2,53%(Massa de cem grãos) e 4,53% (rendimento), sendo os CVs classificados todos como baixo.

Conforme Warrick e Nielsen (1980), o CV para variáveis do solo, mesmo em áreas homogêneas, pode variar de 10% a 1.000%, sendo classificadas como baixa (CV ≤ 12%), média (12 % < CV ≤ 52 %) e alta (CV > 52 %). Entretanto, Vanni (1998) propôs limites menos restritivos para esse parâmetro, sendo CV < 35% média representativa e série de dados homogêneos, CV entre 35 e 65% série de dados heterogênea e média pouco significativa e CV > 65% série de dados muito heterogênea e média sem nenhum significado.

Para as características químicas do solo segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980) para a variável MO obtivemos um CV de 11,50% (baixa). Para as demais variáveis as médias e os CVs variaram bastante em relação as profundidades avaliadas. O CV das variáveis Al apresentou-se alto, variando de 70,27% - 229,07; H+AL (médio) 31,40% - 37,86; Ca (médio – alto) 30,41% - 76,18%; K (médio – alto) 32,47% - 69,43%; S.AL (alto) 77,14% - 237,13%; Mg (médio) 24,85% - 45,99%; CTC EF (médio) 24,74% - 34,29; V% (médio) 19,28% - 48,32% e CTC (médio) 18,31% - 29,26%. A discrepância entre os valores mínimos e os valores máximos das variáveis químicas do solo comprovam a existência de grande variabilidade da área.

Mattioni *et al.* (2013), com o objetivo de estudar, através de ferramentas da agricultura de precisão, a variabilidade da fertilidade do solo em campos de produção de sementes de soja e o efeito na qualidade fisiológica das sementes produzidas encontraram valores médios de 3,2% para matéria orgânica, 0,6 cmol_cdm⁻³ de K, 6,9 cmol_cdm⁻³ de Ca, 2,7 cmol_cdm⁻³ de Mg, 71% de V%, 1,2% Sat.AL,

10,4 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ CTC EF e CVs de 7% (baixo); 24%(médio); 12,8%(médio); 12,2% (médio); 6,9%(baixo); 70,4% (alto) e 10,4%(baixo) respectivamente para cada variável.

Analisando a dependência espacial da fertilidade do solo e sua correlação com o rendimento de grãos da soja em Dourados – MS em Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso na profundidade de 0-20 cm, Londero *et al.* (2020) relataram médias para as variáveis química CTC, H+AL, K, Ca, Mg, V% e MO de 159,60 mmol dm^{-3} , 54,28 mmol dm^{-3} , 3,34 mmol dm^{-3} , 76,44 mmol dm^{-3} , 25,55 mmol dm^{-3} , 65,53% e 37 g.dm^{-3} ; e CVs de 10,1% (baixo), 12,4%(médio), 31,5% (médio); 19,3%(médio), 12,2%(médio), 8,4%(baixo) e 11,2% (baixo) respectivamente.

Lima, Silva e Silva (2013), com o objetivo de avaliar a extensão e a intensidade da dependência da fertilidade espacial de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, cultivado sob plantio direto amostrando o solo nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm avaliou os atributos pH em CaCl_2 , Ca, Mg, Al, P, K, H+Al, CTC, SB, V e MO e também classificando os CVs segundo Warrick e Nielsen (1980) obteve para pH, MO e CTC CVs baixos e para as demais variáveis CVs médios.

Devido a elevada variabilidade, as variáveis Al-0-5, Al-5-10, Al-10-20, Al-20-40, Al-40-60, S.Al-0-5, S.Al-5-10, S.Al-10-20, S.Al-20-40, S.Al-40-60, K-5-10, K-10-20, presentes na tabela 1, foram excluídas da análise de correlação simples de Pearson e da análise de Correlação canônica por que não apresentaram distribuição normal de probabilidade, impedindo o atendimento do pressuposto de distribuição normal multivariada da análise de correlação canônica. A variável K-0-5 foi excluída da análise de correlação canônica por não atender o pressuposto de linearidade (não apresenta nenhum coeficiente de correlação significativo com as variáveis do grupo de componentes de rendimento).

A correlação simples não informa sobre os efeitos diretos e indiretos de um grupo de variáveis em relação a uma variável de maior importância, dessa forma não permite conclusões sobre as relações de causa e efeito. Assim, ao considerar somente as correlações simples na interpretação da magnitude e direção de associação entre variáveis, o pesquisador pode se precipitar e/ou se equivocar sobre os resultados. Além do mais, quando muitas variáveis são correlacionadas, o coeficiente de correlação simples promove informação incompleta, dado que uma

correlação alta entre duas variáveis pode estar ocorrendo devido ao efeito que uma terceira variável estaria exercendo sobre as duas (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Das correlações analisadas entre os grupos 1 e 2 na Tabela 3, 42% dos coeficientes de correlação (28 de 66 totais) foram significativos. Destes 28, onze coeficientes (aproximadamente 17%) ocorrem entre as variáveis de solos com os componentes de rendimento de grãos e o rendimento de grão, sendo grande parte com correlação regular, exceto H+AL 10-20 e PMG com correlação forte. Segundo a classificação de Carvalho *et al.* (2004) 3,03% são coeficientes de correlação podem ser classificados como nulo ($r=0$), 46,97% fracos ($r= 0 - 0,3$) e 30,30% regulares ($r= 0,3 - 0,6$) e 19,7% fortes ($r= 0,6 - 0,9$).

Tabela 3 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do Grupo 1 ((H+Al-0-5) hidrogênio mais alumínio, (Mg-0-5) magnésio 0-5 cm, (Ca-0-5) cálcio 0-5 cm, (Ca-5-10) cálcio 5-10 cm, (Ca-10-20) cálcio 10-20 cm) e do grupo 2 (número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND)) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND | H_Al_0_5 | H_Al_10_20 | Mg_0_5 | Ca_0_5 | Ca_5_10 | Ca_10_20 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| NGV | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| AIV | 0,26 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | | |
| AP | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | |
| PMG | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | |
| PGP | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37 [*] | 1,00 | | | | | | | |
| REND | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35 [*] | 1,00 | | | | | | |
| H_Al_0_5 | -0,09 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | -0,35 [*] | -0,38 [*] | -0,09 ^{ns} | -0,30 ^{ns} | 1,00 | | | | | |
| H_Al_10_20 | -0,14 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,37 [*] | -0,61 [*] | -0,15 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | 0,73 [*] | 1,00 | | | | |
| Mg_0_5 | 0,36 [*] | 0,13 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | -0,55 [*] | -0,65 [*] | 1,00 | | | |
| Ca_0_5 | 0,21 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,41 [*] | 0,12 ^{ns} | 0,36 [*] | -0,66 [*] | -0,60 [*] | 0,46 [*] | 1,00 | | |
| Ca_5_10 | 0,00 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,57 [*] | 0,10 ^{ns} | 0,35 [*] | -0,86 [*] | -0,81 [*] | 0,58 [*] | 0,70 [*] | 1,00 | |
| Ca_10_20 | -0,04 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,41 [*] | 0,17 ^{ns} | 0,46 [*] | -0,72 [*] | -0,72 [*] | 0,42 [*] | 0,62 [*] | 0,84 [*] | 1,00 |

* Significativo; ^{ns} Não significativo, pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

As variáveis MO, H+Al-5-10, e Mg-5-10 foram excluídas da análise de correlação canônica por não atender o pressuposto de linearidade (não

apresentaram nenhum coeficiente de correlação significativo com as variáveis do grupo de componentes de rendimento). A variável Mg-10-20 foi excluída da análise por apresentar multicolinearidade forte (NC= 100,5) com a variável Ca-5-10.

Na tabela 4, observa-se que apenas o primeiro par canônico foi significativo entre os grupos de variáveis 1 (G1=Variáveis químicas do solo-1; E, G2= componentes de rendimento de grãos de soja) em nível de 5% de probabilidade de erro ($\alpha= 0,05$).

As relações expressas pelo primeiro par canônico na tabela 5, indicam que em soja cultivada sobre área de aveia preta pastejada, solos com maior quantidade de cálcio nas profundidades 0-5 cm e 10-20 cm (Ca-0-5 e Ca 10-20), bem como maior quantidade de Magnésio na profundidade 0-5 cm (Mg-0-5); e, menor quantidade de cálcio na profundidade 5-10 cm, e de H+Al na profundidade 0-5 cm (H+Al-0-5) são determinantes de plantas com menor altura de inserção da primeira vagem (AIV), maior número de grãos por vagem (NGV), maior altura de planta (AP), maior peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos (REND).

Tabela 4 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (Grupo 1= variáveis químicas dos solos-1; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Par canônico | Correlação | Qui-quadrado | Graus de liberdade | Valor de p |
|--------------|------------|--------------|--------------------|------------|
| 1 | 0,75 | 46,18 | 30,00 | 0,0298 |
| 2 | 0,68 | 25,55 | 20,00 | 0,1812 |
| 3 | 0,43 | 9,87 | 12,00 | 0,6273 |
| 4 | 0,37 | 4,70 | 6,00 | 0,5834 |
| 5 | 0,19 | 0,96 | 2,00 | 0,6174 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Esse resultado mostra que para incrementar o rendimento de grãos de soja, deve-se preconizar plantas mais altas, porém com menor altura de inserção da primeira vagem e com maior número de grãos por planta, bem como peso de mil grãos, bem como maiores quantidades de cálcio nas profundidades 0-5 cm e 10-20 cm (Ca-0-5 e Ca 10-20) e Magnésio na profundidade 0-5 cm (Mg-0-5) são

determinantes no acréscimo dos componentes de rendimento de grãos e no rendimento de grãos da cultura.

Tabela 5 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: Grupo 1= variáveis químicas do solos-1; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variável | G1= Variáveis químicas do solo-1 |
|------------------|----------------------------------|
| H+Al-0-5 | -0,36 |
| Mg-0-5 | 0,32 |
| Ca-0-5 | 0,64 |
| Ca-5-10 | -0,52 |
| Ca-10-20 | 0,40 |
| Variável | G2 = Componentes de rendimento |
| NGV | 0,65 |
| AIV | -0,38 |
| AP | 0,53 |
| PMG | 0,44 |
| PGP | -0,01 |
| REND | 0,43 |
| Correlação total | 0,75 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Não foram identificados trabalhos verificando as relações multivariadas por meio de correlações canônicas entre as variáveis químicas do solo e componentes de rendimento de grão de soja utilizando análise de correlação canônica em sistema integrado de produção agropecuária ou em cultivo convencional de grãos, dessa forma, na discussão dos resultados deste trabalho serão utilizados trabalhos que utilizaram outras análises mais triviais, mas que serão úteis na compreensão das relações aqui apresentadas.

A elevada produtividade da soja depende da interação entre clima, planta e solo, baseado no uso eficiente e racional de fertilizantes (VITTI; TREVISAN, 2000). Um solo com suprimento adequado de nutrientes, possui condições para o desenvolvimento da planta, afetando diretamente no rendimento dos grãos (BOARD, MODALI, 2005). A presença de alumínio em excesso e deficiência de cálcio, reduz a absorção de água e nutrientes acarretando diretamente na produtividade da soja. Assim, a prática de calagem neutraliza o alumínio do solo e fornece cálcio e

magnésio, aumentando dessa forma a disponibilidade de fósforo e outros nutrientes, elevando a CTC e a atividade microbiana do solo, levando a maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SOUSA; LOBATO, 2004). O magnésio é o principal constituinte da clorofila, sendo fundamental nos processos de fotossíntese e ativação de enzimas, principalmente relacionadas a síntese de carboidrato e outras envolvidas na síntese de ácido nucléicos (SFREDO; BORKERT, 2004).

Lange *et al.* (2021) estudando as relações Ca:Mg no solo e o desenvolvimento da soja e milho conduzido em casa de vegetação com seis tratamentos variando a relação Ca:Mg no solo de 1:01, 02:01, 03:01, 04:01, 05:01 e 06:01 e cinco repetições, por meio da incubação do solo com calcário calcítico e dolomítico, na dose final de 8 t ha⁻¹, observaram que as relações Ca:Mg mais altas no solo (≥ 04:01) no cultivo da soja afetaram positivamente a altura e a massa das plantas, e o rendimento de grãos foi superior nas relações 02:01, 04:01 e 01:01, resultado da maior quantidade de vagens e massa de mil grãos.

Sávio *et al.* (2011) com o objetivo de avaliar a nutrição e as características agrônômicas da soja submetidas a aplicação de calcário em associação a dose de gesso, observou maior rendimento de grãos e dos componentes número de vagens por planta e número de grãos por vagem pela aplicação do calcário.

Tabela 6 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis saturação de base (V%), número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| | V_0_5 | V_5_10 | V_10_20 | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|------|
| V_0_5 | 1,00 | | | | | | | | |
| V_5_10 | 0,90* | 1,00 | | | | | | | |
| V_10_20 | 0,89* | 0,91* | 1,00 | | | | | | |
| NGV | -0,16 ^{ns} | -0,19 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 1,00 | | | | | |
| AIV | -0,10 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 1,00 | | | | |
| AP | 0,43* | 0,33 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1,00 | | | |
| PMG | 0,43* | 0,55* | 0,54* | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1,00 | | |
| PGP | 0,30 ^{ns} | 0,33 ^{ns} | 0,35* | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37* | 1,00 | |
| REND | 0,48* | 0,49* | 0,49* | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35* | 1,00 |

* Significativo; ^{ns} Não significativo, pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Dos coeficientes de variação analisados na tabela 6, 36,11% (13 de 36 totais) foram significativos. Dentre os 13; oito coeficientes (22,22%) ocorreram entre as variáveis de solo com componentes de rendimento e o próprio rendimento de grão, todas com correlação regular. Dessa forma, seguindo a classificação de Carvalho *et al.* (2004), 50% apresentaram coeficiente de correlação fraco, 41,67% regular, 2,78% forte e 5,55% muito forte. Foi observada correlação forte entre as variáveis V% 10-20 e V% 0-5 e correlação muito forte entre V% 5-10 e V% 0-5; e V % 10-20 e V% 5-10.

Tabela 7 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (*Grupo 3= Saturação por bases do solo; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos*), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Par canônico | Correlação | Qui-quadrado | Graus de liberdade | Valor de p |
|--------------|------------|--------------|--------------------|------------|
| 1 | 0,75 | 29,34 | 18 | 0,0444 |
| 2 | 0,43 | 7,63 | 10 | 0,6649 |
| 3 | 0,29 | 2,24 | 4 | 0,6916 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Tabela 8 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: *Grupo 3= Saturação por bases do solo; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos* de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variável | G3= Saturação por bases do solo |
|------------------|---------------------------------|
| V%-0-5 | 0,05 |
| V%-5-10 | 0,59 |
| V%-10-20 | 0,38 |
| Variável | G2 = Componentes de rendimento |
| NGV | 0,02 |
| AIV | -0,11 |
| AP | 0,36 |
| PMG | 0,58 |
| PGP | 0,02 |
| REND | 0,58 |
| Correlação total | 0,75 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Na tabela 7, somente o primeiro par canônico foi significativo entre os grupos das variáveis (G3= Saturação por base do solo; E, G2= componentes de rendimento de grãos) em nível de 5% de probabilidade de erro.

As relações apresentadas pelo primeiro par canônico na tabela 8, mostram que em soja cultivada sobre área de aveia preta pastejada, solos com maior saturação de base nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm ($V\%_{5-10}$ e $V\%_{10-20}$), são determinantes de plantas com menor altura de inserção de primeira vagem (AIV), maior altura de planta (AP), maior peso de mil grãos (PMG) e maior rendimento (REND).

Vários fatores determinam a absorção de nutriente pela planta, como os tipos de colóides, pH, equilíbrio entre a quantidade provável no solo e a concentração do nutriente da solução do solo. Cátions como potássio, cálcio e magnésio são atraídos e adsorvidos na superfície de colóides do solo e a porcentagem desses cátions que ocupam a capacidade de troca potencial é chamada de saturação por bases ($V\%$) a qual é um indicativo de fertilidade dos solos, sendo que níveis elevados de saturação por bases indicam que existem grandes quantidades de cátions, proporcionando a diminuição da atividade dos íons H^+ e do alumínio trocável do solo (Al^{3+}) (GORSKI *et al.*, 2019). Os efeitos do calcário na correção da acidez do solo já são bastante conhecidos (PÁDUA *et al.*, 2008), na redução do efeito de tóxico de alumínio (ZAMBROSI *et al.*, 2007) e no aumento da saturação por bases (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Fageria *et al.* (2012) realizaram um estudo em casa de vegetação para determinar a influência da aplicação de calcário e gesso na produtividade e nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho cultivado com soja constataram que o calcário e gesso aumentaram significativamente o rendimento de grãos. A calagem aumentou o pH do solo, Ca e Mg trocável, saturação por bases e CTC e diminuiu significativamente a acidez total ($H+Al$), zinco e ferro disponível no solo. No caso do gesso, o incremento das doses aumentou significativamente apenas o cálcio trocável, saturação por bases e a CTC.

Nascente e Carvalho (2016) realizaram um trabalho com intuito de determinar o efeito da aplicação anual de gesso e calcário na superfície sem incorporação na correção do perfil do solo e seus efeitos na nutrição, componentes de rendimento e produtividade da soja em SPD. Com isso, a aplicação de calcário

acarretou em maiores alterações nos atributos do solo, elevando os valores de pH, aumento na disponibilidade de cálcio e magnésio e diminuição dos teores de alumínio e hidrogênio mais alumínio, o que proporcionou elevação da CTC e saturação por bases na profundidade de 0-10 cm, dois anos após a primeira aplicação do corretivo. Porém, os efeitos foram mais pronunciados na camada mais superficial do solo, com poucas alterações na camada 10-20 cm, apenas magnésio, alumínio e ferro, e nenhuma alteração nos atributos químicos na camada de 20-40 cm. A adição de calcário resultou aumento da massa de grão da soja e consequentemente aumentos significativos no rendimento de grãos e isso pode ser consequência das alterações ocasionadas ao solo pela aplicação do corretivo, tais como: aumento do pH, maior disponibilidade de cálcio e magnésio, saturação por base e CTC. Nas safras subsequentes, segunda e terceira, também observaram aumento no rendimento de grãos da soja com a aplicação de calcário.

Tabela 9 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP) e rendimento (REND) e do grupo 4, capacidade de troca de cátions (CTC) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_EF) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variáveis | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND | CTC 0 5 | CTC 5 10 | CTC 10 20 | CTC _EF_0 5 | CTC _EF_5 10 | CTC _EF_10 20 |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| NGV | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| AIV | 0,26 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | | |
| AP | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | |
| PMG | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | |
| PGP | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37* | 1,00 | | | | | | | |
| REND | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35* | 1,00 | | | | | | |
| CTC_0_5 | -0,27 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,36* | 0,40* | 1,00 | | | | | |
| CTC_5_10 | -0,16 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,35* | 0,36* | 0,88* | 1,00 | | | | |
| CTC_10_20 | - | 0,40* | -0,22 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,43* | 0,56* | 0,77* | 0,71* | 1,00 | | |
| CTC_EF_0_5 | 0,31 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 1,00 | | |
| CTC_EF_5_10 | 0,01 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | 0,51* | 0,07 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,49* | 1,00 | |
| CTC_EF_10_20 | -0,01 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,41* | 0,17 ^{ns} | 0,40* | 0,11 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,28 ^{ns} | 0,48* | 0,85* | 1,00 |

* Significativo; ^{ns}Não significativo, pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Foram observados (Tabela 9) apenas 10 coeficientes de correlação significativos dentre os 36 existentes entre as variáveis do Grupo 4 de solos (CTC_0_5, CTC_5_10, CTC_10_20, CTC_EF_0_5, CTC_EF_5_10 e CTC_EF_10_20) com as variáveis do Grupo 2 de componentes de rendimento (NGP, AIV, AP, PMG, PGP, REND). Todos os coeficientes apresentaram magnitude regular (CARVALHO *et al.*, 2004), com valores variando de 0,35 relação entre CTC_5_10 e PGP a 0,56, maior coeficiente observado entre CTC_10_20 e REND.

As variáveis CTC_EF_0_5, AP e AIV não atenderam o pressuposto de linearidade (Tabela 9) e por isso foram excluídas da análise de correlação canônica. Os demais pressupostos, normalidade multivariada, homogeneidade de variâncias e multicolinearidade foram todos atendidos sem necessidade de exclusão de variáveis dos grupos 2 e 4.

Apenas o primeiro par canônico foi significativo entre os grupos de variáveis 4 (G4= capacidade de troca de cátions e capacidade de troca de cátions efetiva) e do Grupo 2 (G2= componentes de rendimento) em nível de 5% de probabilidade de erro (Tabela 10).

As relações expressas pelo primeiro par canônico (Tabela 11) indicam que em soja cultivada sobre área de aveia preta pastejada solos com maior CTC-10-20, CTC-EF-5-10 e maior CTC-0-5, bem como menor CTC-5-10 e CTC-EF-10-20 são determinantes de plantas de soja com maior REND, menor NGV e maior PGP.

Tabela 10 – Pares canônicos, correlação total, valor da estatística de teste Qui-quadrado, graus de liberdade e valor de p do Teste de Razão de Verossimilhança para a independência entre dois grupos de variáveis (¹Grupo 4= variáveis químicas do solos-3; e, ²Grupo 2= componentes de rendimento de grãos), ($\alpha=5\%$) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Par canônico | Correlação | Qui-quadrado | Graus de liberdade | Valor de p |
|--------------|------------|--------------|--------------------|------------|
| 1 | 0,73 | 34,45 | 20 | 0,0232 |
| 2 | 0,62 | 14,97 | 12 | 0,2431 |
| 3 | 0,26 | 2,27 | 6 | 0,8933 |
| 4 | 0,13 | 0,46 | 2 | 0,79452 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Tabela 11 – Coeficientes do primeiro par canônico da análise de Correlação Canônica entre dois grupos e variáveis: Grupo 4= variáveis químicas do solos-4; e, Grupo 2= componentes de rendimento de grãos de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variável | G4-CTC/CTC efetiva |
|------------------|--------------------------------|
| CTC-0-5 | 0,26 |
| CTC-5-10 | -0,50 |
| CTC-10-20 | 1,09 |
| CTC-EF-5-10 | 0,53 |
| CTC-EF-10-20 | -0,18 |
| Variável | G2 = Componentes de rendimento |
| NGV | -0,46 |
| PMG | 0,06 |
| PGP | 0,11 |
| REND | 0,78 |
| Correlação total | 0,73 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A CTC é a soma das cargas negativas nas partículas da fração argila e matéria orgânica retendo os cátions cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. Sua importância se dá não apenas na retenção dos cátions, mas também da água, além de ter relação direta com a estrutura e consistência do solo (SOUZA; LIMA e TEIXEIRA., 2009). De forma geral, a CTC está ligada com a capacidade que o solo tem em trocar cátions com a solução do solo, interferindo dessa maneira na disponibilidade de nutrientes da solução para as plantas, também, podendo ser influenciada pela partícula que compõe a estruturação do solo, pH, material coloidal e matéria orgânica do solo (VERZUTTI, 2021).

Em razão da relação direta com a fertilidade do solo, quanto maior a CTC do solo maior será sua fertilidade. Dessa forma, podemos dizer que a CTC pode ser usada como um critério para estabelecer o manejo da fertilidade do solo. A calagem realizada corretamente e a elevação dos teores de matéria orgânica do solo são as principais fatores na concepção do manejo que podem acarretar no aumento da CTC do solo. Alguns solos podem ter CTC melhor que outros pelo fato da relação com a textura do solo, independente do manejo adotado. A CTC pH 7 mostra a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia pronunciar se o pH fosse 7, já a CTC efetiva mostra a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis, sem considerando o H⁺ (PREZOTTI; GUARÇONI., 2013). De modo geral

a diferença entre a CTC pH 7 e a efetiva é a quantidade de cátions representada pelo íon H⁺ que podem ser neutralizados por íons originários de calagem como o OH⁻ (LABORSOLO, 2017).

Zándona *et al.* (2015) observou que quando foi realizada aplicação de gesso agrícola e calcário a CTC a pH 7 do solo aumentou na camada de 0-10 cm, sendo um aumento importante para a fertilidade do solo, pois proporciona aos coloides do solo maior capacidade de reter cátions como cálcio, magnésio e potássio que são importantes nutrientes para o crescimento das plantas. Zándona (2013) com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de gesso agrícola, sem e com calcário nos atributos químicos do solo e no rendimento de milho e soja no SPD, observou que o gesso agrícola aumentou a produtividade de grãos de milho e soja, com maior intensidade até 2 t ha⁻¹, com 9,3% para milho e 11,3 e 11,4% para soja, sem e com o calcário respectivamente. A CTC a pH 7 do solo aumentou expressivamente após a aplicação de gesso agrícola e do calcário, permitindo dizer que a associação de gesso e calcário proporciona um aumento na CTC em todo o perfil do solo, enquanto a aplicação isolada de gesso não traz esse efeito.

A análise de trilha possibilita o desdobramento dos coeficientes de correlação simples em efeitos diretos e indiretos sobre a variável principal, onde as estimativas são obtidas por meio de equações de regressão. Granemann (2015) utilizou a análise de trilha com o intuito de avaliar a correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade da soja, para cada estimativa de parâmetro do semivariograma, e o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, com o objetivo de melhorar o processo de mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo para a aplicação de agricultura de precisão. Assim, os resultados alcançados a partir da análise de trilha dos parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos do solo, mostraram que somente o Fe, Mg, Mn, MO, P e saturação por bases exerceram efeitos diretos e indiretos sobre o rendimento da soja.

Lourente *et al.* (2012) avaliaram por meio de correlação canônica atributos químicos e microbiológicos do solo com o objetivo de estimar a máxima correlação entre as combinações lineares das variáveis microbiológicas e químicas do solo. Para o estudo da correlação canônica entre os atributos químicos e microbiológicos foram considerados os dados obtidos nos sistemas de cultivo, ou seja, plantio direto

e convencional no verão, de forma a verificar o impacto do sistema de rotação de culturas e ausência de revolvimento sobre os atributos do solo estudados. Conclui-se que o teor de matéria orgânica do solo, mais do que sua qualidade, favorece o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo. Neste trabalho os atributos químicos tiveram relativamente menor importância do que os atributos microbiológicos. O qMIC (quociente microbiano) foi um dos mais importantes indicadores de qualidade do solo.

Rosset *et al.* (2015) usaram a análise de variáveis canônicas com o propósito de avaliar a sensibilidade das diferentes frações da matéria orgânica em discriminar os diferentes sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região Oeste do Paraná. As áreas estudadas foram com diferentes tempos de adoção do sistema plantio direto no sistema de sucessão de culturas de soja no verão e milho/trigo no inverno. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, determinando-se o teor de carbono orgânico total e carbono das frações químicas, físicas e oxidáveis da matéria orgânica. A partir da análise canônica para as três frações estudadas, os escores das duas primeiras variáveis canônicas explicaram mais de 80% da variação total. Os atributos que contribuíram de forma mais acentuada para a discriminação dos sistemas de manejo foram o carbono não humificado, ácidos fúlvicos, humina, carbono orgânico total e as frações F1 e F3, além de matéria orgânica particulada e estoque de carbono da matéria orgânica mineral. As frações químicas e físicas discriminaram de maneira mais acentuada os diferentes sistemas de manejo.

Aproximadamente 8% dos coeficientes de correlação entre as variáveis de solo (Grupo 5 HAI_20_40, HAI_40_60, Mg_20_40, Mg_40_60, Ca_20_40, Ca_40_60) com o grupo 2= componentes de rendimento (NGV, AIV, AP, PMG, PGP e REND) foram significativos (Tabela 12). Apenas o REND apresentou correlação significativa, mas de magnitude fraca a regular com Mg_20_40, Mg_40_60 e Ca_40_60, indicando que as variáveis de solo estudadas no Grupo 5 não influenciam linearmente os componentes de rendimento. Dessa forma, não há possibilidade de utilizar a análise de correlação canônica e também não faz sentido usar a análise de trilha usando REND como variável principal e as variáveis do grupo 5 como secundárias, pois as mesmas não explicam de maneira satisfatória as variações no REND.

Tabela 12 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 5, hidrogênio mais alumínio (Hal_20_40 e Hal_40_60), magnésio (Mg_20_40 e Mg_40_60), cálcio (Ca_20_40 e Ca_40_60) e do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grãos por planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variáveis | Hal_20_40 | Hal_40_60 | Mg_20_40 | Mg_40_60 | Ca_20_40 | Ca_40_60 | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|------|
| Hal_20_40 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Hal_40_60 | -0,21 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Mg_20_40 | -0,46* | -0,10 ^{ns} | 1,00 | | | | | | | | | |
| Mg_40_60 | -0,30 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | 0,79* | 1,00 | | | | | | | | |
| Ca_20_40 | -0,49* | -0,15 ^{ns} | 0,82* | 0,76* | 1,00 | | | | | | | |
| Ca_40_60 | -0,42* | -0,28 ^{ns} | 0,75* | 0,83* | 0,91* | 1,00 | | | | | | |
| NGV | 0,00 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 1,00 | | | | | |
| AIV | -0,09 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 1,00 | | | | |
| AP | -0,13 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,28 ^{ns} | 0,33 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,28 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1,00 | | | |
| PMG | -0,31 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,24 ^{ns} | 0,24 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1,00 | | |
| PGP | 0,01 ^{ns} | -0,28 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37* | 1,00 | |
| REND | -0,10 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,43* | 0,39* | 0,34 ^{ns} | 0,41* | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35* | 1,00 |

* Significativo; ^{ns}Não significativo, pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Tabela 13 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis do grupo 6, potássio (K_20_40 e K_40_60), saturação de base (V_20_40 e V_40_60) e do grupo 2, número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grão planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variáveis | K_20_40 | K_40_60 | V_20_40 | V_40_60 | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| K_20_40 | 1,00 | 0,52 ^{ns} | 0,38 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,51 ^{ns} |
| K_40_60 | 0,52 ^{ns} | 1,00 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,51 ^{ns} |
| V_20_40 | 0,38 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 1,00 ^{ns} | 0,87 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,46 ^{ns} |
| V_40_60 | 0,19 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 0,87 ^{ns} | 1,00 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,41 ^{ns} |
| NGV | 0,12 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 1,00 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,07 ^{ns} |
| AIV | 0,06 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 1,00 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,24 ^{ns} |
| AP | -0,15 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1,00 | 0,22 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,04 ^{ns} |
| PMG | -0,15 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1,00 | 0,37 ^{ns} | 0,12 ^{ns} |
| PGP | 0,16 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37 ^{ns} | 1,00 | 0,35 ^{ns} |
| REND | 0,51* | 0,51* | 0,46* | 0,41* | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35 ^{ns} | 1,00 |

* Significativo; ^{ns}Não significativo, pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Apenas 17% (4 de 24 coeficientes de correlação entre os dois grupos de variáveis, Grupo 6- K_20_40, K_40_60, V_20_40, V_40_60 com o grupo 2= componentes de rendimento- (NGV, AIV, AP, PMG, PGP e REND) foram significativos (Tabela 13). Apenas o REND apresentou correlação significativa, mas regular com o K_20_40, K_40_60, V_20_40 e V_40_60, indicando que as variáveis de solo estudadas no Grupo 6 não influenciam linearmente os componentes de rendimento. Dessa forma, não há possibilidade de utilizar a análise de correlação canônica para explicar as relações entre as referidas variáveis de solo e o rendimento de grãos de soja.

Comportamento semelhante ao apresentado nas tabelas 12 e 13 foi observado na tabela 14 quando se avaliou as relações lineares entre as variáveis do Grupo 7 de solo (CTC_20_40, CTC_40_60, CTC_EF_20_40, CTC_EF_40_60) e do Grupo 2 de componentes de rendimento (NGV, AIV, AP, PMG, PGP e REND), onde apenas um coeficiente de correlação foi significativo e de magnitude regular ($r=0,44$ entre CTC_EF_40_60 e REND).

Tabela 14 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson para as variáveis capacidade de troca de cátions (CTC_20_40 e CTC_40_60), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_EF_20_40 e CTC_EF_40_60) e do grupo 2 número de grãos por vagem (NGV), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de planta (AP), peso de mil grãos (PMG), peso de grão planta (PGP), rendimento (REND) de 32 coletas de um experimento conduzido com a cultivar de soja TMG 7262, com oito tratamentos (dois mecanismos sulcadores para a semeadura da cultura de grãos x quatro formas de correção/condicionamento do solo), conduzido em parcelas subdivididas no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições sobre área de aveia preta pastejada no inverno. Pato Branco, 2019/2020

| Variáveis | CTC_20_40 | CTC_40_60 | CTC_EF_20_40 | CTC_EF_40_60 | NGV | AIV | AP | PMG | PGP | REND |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|------|
| CTC_20_40 | 1 | | | | | | | | | |
| CTC_40_60 | 0,77* | 1 | | | | | | | | |
| CTC_EF_20_40 | 0,10 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 1 | | | | | | | |
| CTC_EF_40_60 | 0,53* | 0,49* | 0,49* | 1 | | | | | | |
| NGV | -0,24 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 1 | | | | | |
| AIV | -0,16 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 1 | | | | |
| AP | 0,02 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 1 | | | |
| PMG | -0,25 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 1 | | |
| PGP | 0,24 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,27 ^{ns} | 0,24 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,37* | 1 | |
| REND | 0,29 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,44* | -0,07 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,35* | 1 |

* Significativo; ^{ns}Não significativo, pelo teste tem nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Portanto, as relações lineares simples expressas nas tabelas 12, 13 e 14 entre as variáveis de solo coletadas nas profundidades de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm, indicam que os nutrientes disponíveis nessas profundidades não explicam a variação nos componentes de rendimento e no REND na cultura da soja cultivada sobre área de aveia pastejada. Isso provavelmente se deve a profundidades que as raízes alcançam, pois, segundo Neto *et al.* (2001) o calcário superficial do solo geralmente corrige a acidez na camada incorporada enquanto as camadas mais profundas, abaixo de 20 cm, continuam ácidas com teores tóxicos de alumínio e menor teor de bases. Essa situação acarreta barreira química para o crescimento das raízes em profundidade (RAIJ, 2011), podendo comprometer a absorção de água e nutrientes, principalmente em condições de déficit hídrico (ZANDONÁ *et al.*, 2015).

Por apresentar maior solubilidade e mobilidade vertical no solo, o uso do gesso agrícola vem sendo recomendado como forma de complementar o manejo de acidez, devido a aplicação de gesso sobre a superfície exercer efeitos na naturalização de alumínio tóxico em subsuperfície. Além disso, o gesso agrícola contém cálcio e enxofre e ao solubilizar na camada superficial do solo, forma pares iônicos com o sulfato de potássio e sulfato de magnésio que são transportados para as camadas subsuperficiais (CAIRES *et al.*, 2003). Portanto, a aplicação de gesso, pode ser uma alternativa para maior distribuição do sistema radicular no perfil do solo (CAIRES *et al.*, 2001).

Zándona *et al.* (2015) com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de gesso agrícola, com e sem calcário nos atributos químicos do solo e no rendimento de grãos de milho e soja em SPD, concluiu que o gesso agrícola aumenta os teores de cálcio e distribui o magnésio para as camadas 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade e diminui os teores de alumínio na camada de 20-40cm. A aplicação de calcário aumentou o pH na camada de 0-10 cm e o pH não foi alterado pela aplicação de gesso. O rendimento de grãos de milho e soja foi incrementado com o gesso. Em doses de até duas toneladas por hectare teve incremento de 9,3% para milho e 11,4% e 11,3% com e sem calcário, respectivamente, para a soja. Pauletti *et al.* (2014) com o objetivo de avaliar em longo prazo a aplicação conjunta de gesso e calcário nos atributos químicos de um solo em SPD, observaram que a aplicação de calcário corrigiu o pH, aumentou a concentração de cálcio e magnésio e diminuiu os

teores de alumínio nas camadas superficiais do solo, já o gesso, reduziu a saturação por alumínio e elevou as concentrações de cálcio e enxofre no perfil do solo, porém lixiviou magnésio. Houve aumento do rendimento de grãos de milho e soja e da aveia preta. O gesso favoreceu o rendimento do milho, trigo e da soja apenas quando ocorreu deficit hídrico e ocorreu deficiência de magnésio em altas doses de gesso quando não ocorreu deficiência hídrica.

6 CONCLUSÕES

Nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm a maioria das variáveis de solo possuem teores médios adequados, o que não acontece nas camadas de 20-40 e 40-60. A média do rendimento de grãos da soja foi de 69,12 sacas por hectare, sendo superior a média obtida na safra 2020/2021 no estado do Paraná que foi de 58,95 sacas por hectare.

Maior número de relações lineares simples significativas e coeficientes mais fortes ocorrem entre variáveis de solo coletadas nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm com os componentes de rendimento e o rendimento de grãos do que entre variáveis de solo coletadas nas profundidades 20-40 e 40-60.

Para incrementar o rendimento de grãos de soja cultivada sobre área de aveia preta pastejada, deve-se preconizar plantas mais altas, com menor altura de inserção da primeira vagem, maior número de grãos por planta, peso de mil grãos e maior quantidade de cálcio nas profundidades 0-5 cm e 10-20 cm e Magnésio na profundidade 0-5 cm. Solos com maior saturação de base nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm, são determinantes de plantas com menor altura de inserção de primeira vagem, maior altura de planta, maior peso de mil grãos, e maior rendimento. Maior capacidade de troca de cátions na profundidade 10-20 cm, CTC efetiva 5-10 cm e maior CTC 0-5 cm, bem como menor CTC 5-10 cm e CTC efetiva 10-20 cm são determinantes para a obtenção de maior rendimento de grãos, menor número de grãos por vagem e maior peso de grãos por planta.

REFERÊNCIAS

- 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**. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2005.
- ARAÚJO, V. M. *et al.* A biomassa residual do pasto não determina o rendimento da soja em um sistema integrado de produção agropecuária. In: **Zootecnia Brasil, 55 Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 28 Congresso Brasileiro de Zootecnia**, Goiânia, 2018.
- ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; ASSMANN, T. S. **Lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. IAPAR. Londrina, PR. 2008.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al.* Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, 2009.
- BOARD, J.E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybeans. **Crop Science**, v. 45, p. 1790-1799. 2005.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: História e Estatística. 1987. Londrina – PR. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/446431>. Acesso em: 01 mai. 2019.
- BONETTI, J. A. *et al.* Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112. 2015.
- BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 743-753, 2013.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. **Tecnologia de produção de soja e milho**, p. 5-36, 2008.
- BROCH, D. L. *et al.* Influência no rendimento de plantas de soja pela aplicação de fósforo, calcário e gesso em um latossolo sob plantio direto. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 211-220, 2008.
- BRUM, B. *et al.* Correlações canônicas entre variáveis de semente, plântula, planta e produção de grãos em mamoneira. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, 2011.
- BRUM, B. **Relações entre variáveis de: Sementes, Plântulas, Plantas, Produção e Óleo em Mamoneira**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2009.
- CABRAL, P. D. S. *et al.* Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.

CAETANO, L. A. M. **Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

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

CAIRES, E. F. *et al.* Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.

CARDOSO, J. A. E.; PERES, G. C. M.; LAMBERT, A. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18 p. 1981, 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A. *et al.* Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1363-1371, 2010.

CARRÃO PANIZZI, M. C.; SILVA, J. B. Soja na alimentação humana: qualidade na produção de grãos com valor agregado. In: **Congresso de la Soja del Mercosur** - Foro de la Soja. Rosario, Argentina, p. 1-3, 2011.

CAVALLI, H.F. **Componentes morfológicos e de rendimento da soja (CV. TMG 7262 RR) em condição de sombreamento artificial**. 57 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

CARVALHO, F. I. F. *et al.* **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento genético vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142p.

CARVALHO, I. R. *et al.* Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 690-697, 2015.

CARVALHO, C. G. P. *et al.* Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.

COIMBRA, J. L. M. *et al.* Conseqüências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 347-352, 2005.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção nacional de grãos é estimada em 269,3 milhões de toneladas na safra 2021/22**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4579-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-269-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22.%20Acesso%20em:%2028%20de%20abr.%20de%202022>. Acesso em: 28 abr. 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2021). **Produção de grãos tem previsão de aumento de 5,7%, chegando a 271,7 milhões de t.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3989-producao-de-graos-tem-previsao-de-aumento-de-5-7-chegando-a-271-7-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 28 abr. 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2021/22, sétimo levantamento.** Brasília, v. 9, n. 2, 2022.

CONTE, O. *et al.* Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum.** v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** n. 2, p. 390. Viçosa, 1997.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, UFV, p. 390, 1994.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Editora UFV, Viçosa, p. 508. 2012.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias,** v. 33, n. 5, p. 1629-1641, 2012.

DAMS, R. O. **Desempenho de sulcadores no plantio de soja em solo com diferentes níveis de compactação.** TCC, (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

DEDORDI, G. F. **Crescimento radicular da cultura da soja sob níveis de compactação do solo e mecanismos sulcadores.** 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

DELLAGOSTIN, Simone Morgan. **Rendimento, qualidade física e fisiológica de sementes de soja em resposta a níveis de vigor, distribuição de fertilizante e variáveis climatológicas.** 71f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

DEUNER, C. *et al.* Rendimento e qualidade de sementes de soja produzidas sob diferentes manejos nutricionais. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 38, n. 3, p. 357-365, 2015.

DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis,** v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.

DUMS, H. **Teores de Clorofila, componentes de Rendimento e o Rendimento de feijoeiro em Sistema de Integração Lavoura Pecuária**. 53 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

EMBRAPA. **História da soja**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em: 28 abr. 2022.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2020/21)**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 28 abr. 2022.

FAGERIA, N. K. *et al.* Influência do calcário e gesso na produção e nas propriedades químicas do solo cultivado com soja. In: **VI Congresso brasileiro de soja, 2012**, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: anais. Brasília, DF, Embrapa, 2012.

FAO. An international consultation on integrated croplivestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. **Integrated Crop Management**, v. 13, p. 64, 2010.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67–77, 2015.

FERRAZZA, J. M. **Antecipação da adubação potássica da soja aplicada na pastagem hibernal em sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

FRANCETTO, T. R. *et al.* Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 542-554, 2015.

FRANCHIN, M. F. **Intensidades de pastejo e mecanismos sulcadores sobre o desenvolvimento do milho no sistema de integração lavoura pecuária**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

FREDDI, O. S. *et al.* Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 113-121, 2006.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.7, n.12, Goiânia, 2011.

FURTINI Neto, A. E. *et al.* Fertilidade do solo. **UFLA/FAEPE**. Lavras, p. 261, 2001.

GEREMIA, E. V. *et al.* Fauna edáfica em pastagem perene sob diferentes fontes de nutrientes. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 4, p. 17-30, 2015.

GERMINO, R.; BENEZ, S. H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 85-92, 2006.

GORSKI, M. R. et al. Variabilidade espacial da saturação por bases e da saturação por alumínio do solo, numa Catena do Pampa, cultivada com soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 5, p. 3660-3667, 2019.

GRANEMANN, D. C. **Efeitos diretos e indiretos de parâmetros dos semivariogramas referentes aos atributos químicos do solo sobre a produtividade de grãos de soja**. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

GONÇALVES, R. R. V. et al. Análise da relação entre os perfis de NDVI obtidos dos sensores AVHRR/NOAA e MODIS nas áreas produtoras de cana-de-açúcar em São Paulo. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

GUERA, K. C. S.; FONSECA, A. F.; RIBEIRO, F. Estoques de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em sistema integrado de produção sob aplicação fosfatos. In: **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo – RPCS**, Ponta Grossa, 2019.

GURGACZ, F. **Semeadura da soja em sistemas de rotação de culturas e integração agricultura-pecuária em um Latossolo sob sistema de plantio direto**. 69 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

HAIR, Joseph F. et al. Análise multivariada de dados. **Bookman editora**, 2009.

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 jan. 2021.

LABORSOLO. **CTC a pH 7,0 calculada, efetiva e determinada: entenda as diferenças**, 2017. Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/ctc-a-ph-70-calculada-efetiva-e-determinada-entenda-as-diferencas>. Acesso em: 03 de jun. 2022.

LANGE, A. et al. Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021.

LIMA, R. P.; SILVA, A. R.; OLIVEIRA, D. M. S. Análise de trilha de atributos físicos na resistência à penetração de um latossolo amarelo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 1, n. 1, p. 65-74, 2014.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, p. 16-23, 2013.

LONDERO, R. et al. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-8, 2020.

- LOPES, S. J. *et al.* Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.
- LOURENTE, E. R. P. *et al.* Atributos químicos e microbiológicos do solo avaliados por meio de correlações canônicas. In: **XXX Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas**, Fertbio, SBCS, Viçosa, 2012.
- LUÍS, I. E. **Análise de correlação canônica: extensões e aplicações**. Dissertação de Mestrado em Estatística Matemática e Computação, Universidade Aberta. Lisboa, 2015.
- LUNARDI, R. *et al.* Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 795-801, 2008.
- MATTIONI, N. M. *et al.* Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 656-661, 2013.
- MENESES, A. T. **Emergência e crescimento inicial de soja submetido a adubação mineral e doses crescentes de biofertilizante bovino**. 23 f. Graduação em Agronomia (TCC) - Universidade Federal da Paraíba. Areia - PB, 2017.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG, 2005.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York, J. Wiley, 1982.
- MÜLLER, L. *et al.* Correlações de Pearson e canônica entre componentes da matéria seca da forragem e sementes de azevém. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 086-093, 2012.
- NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. Calcário e gesso afetando fertilidade do solo, nutrição e produtividade de grãos da soja. In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água**, Foz do Iguaçu, 2016.
- 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. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1481-1490, 2008.
- PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.
- PAVAN, A. **Rendimento de grãos e decomposição de resíduos de soja em cultivo tradicional e em sistema de integração lavoura-pecuária**. 56 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2019.
- PEREIRA, E. M. **Estratégias de seleção e efeito de armazenamento de sementes em populações segregantes de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2016.

PEREZ, N. B. *et al.* Condutividade elétrica do solo e produtividade: uso no sistema de integração lavoura-pecuária para determinar zonas de manejo durante o cultivo de soja. In: **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. Embrapa, Brasília, p. 252-259, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. **FEALQ**, Piracicaba, p. 309, 2002.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M, A. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. **Incap**, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.incap.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 317-326. 2012.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2021.

RAIJ, B.; *et al.* Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Instituto Agrônomo**, Campinas, 2001.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, 2011.

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**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2021.

RIGÃO, M. H. **Correlação canônica para identificação de caracteres importantes na seleção precoce de tubérculos de batata**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ROWLING J. K. 7 frases inspiradoras de J. K. Rowling. Disponível: <https://revistagalileu.globo.com/Cultura/noticia/2016/07/7-frases-inspiradoras-de-j-k-rowling.html>. Acesso: 10 jun. 2022.

ROSSET, J. S. *et al.* Análise multivariada das frações químicas, físicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo na região Oeste do Paraná. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**. 2015.

RUY, R. *et al.* Carbono orgânico e atributos microbiológicos em solo agrícola com diferentes níveis de produtividade de soja em sistema de plantio direto. In: **XXX Reunião Brasileira De Fertilidade Do Solo E Nutrição De Plantas**. Maceió, p. 1-4. 2012.

SANTOS, J. L. S. **Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de cerrado cultivado com soja**. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SÁVIO, F. L. *et al.* Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2011.

SCHEFFER, B.; TIECHER, T. Adubação sistêmica em um sistema integrado de produção agropecuária de soja-ovinos de corte na produtividade da soja. In: **Salão de Iniciação Científica XXX SIC**, Porto Alegre, 2018.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: **Embrapa Soja**, 2008.

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

SIMEPAR – Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. **Boletim climatológico**. Disponível em: http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim_climatologico?page=2. Acesso em: 20 jan. 2021.

SIQUEIRA, R. Milho: Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: **XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**. 2008.

SILVA, A. R. *et al.* Associação entre caracteres morfo-agronômicos em variedades de milho crioulo. **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. 2016.

SILVA, M. R. **Aplicação superficial de calcário e gesso em sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. p. 88. 2016.

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

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação, 2. ed. Brasília, **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 416, 2004.

SOUZA, A. R.; FERNANDES, J. J. **Efeito do período de molhamento foliar na ocorrência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na soja (*Glycine max*)**. Uberlândia, 2008.

SOUZA, T. T.; LIMA, A. B.; TEIXEIRA, W. G. O aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo através da aplicação de carvão vegetal em um latossolo amarelo na Amazônia central. In: **61º Reunião Anual da SBPC**, 2009. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/resumos/resumos/5950.htm>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SOUZA, E. D.; *et al.* **Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. p. 1-7. 2018.

TIECHER T. *et al.* Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

TOEBE, M. *et al.* Dimensionamento amostral para estimação de coeficientes de correlação em híbridos de milho, safras e níveis de precisão. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 16-24, 2015.

TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Compactação do solo, resposta da produção de milho e dinâmica do pool de nutrientes do solo em um sistema integrado de cultivo e pecuária em Illinois. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p. 1211-1218, 2008.

TRENTIN, R. G. **Desempenho de sulcadores no desenvolvimento e produtividade da soja em solo submetido a diferentes níveis de compactação**. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

USDA – U.S Department of Agriculture. World Agricultural Production. 2021. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/commodities/soybeans>. Acesso em: 28 abr. 2022.

VANNI, S.M. Modelos de regressão: Estatística aplicada. São Paulo, **Legmar Informática**, p. 177, 1998.

VERZUTTI, J. CTC do solo: 6 perguntas para ficar por dentro do assunto! **Agropós**. Disponível em: <https://agropos.com.br/ctc-do-solo/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

VILLASENOR-ALVA, J. A.; ESTRADA, E. G. Generalization of Shapiro–Wilk's Test for Multivariate Normality. **Journal Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 38, n. 11, p. 1870-1883, 2009.

VITTI, G. C; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. Piracicaba, **Potafos**, Informações Agronômicas, v.90, p.1-16. 2000.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine Max L.*)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. 2014.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, p.319-344, 1980.

YARA. **Soluções para culturas: Soja**. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/soja/aumentando-a-produtividade-da-soja/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

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**, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; *et al.* Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137, 2015.

ZANDONÁ, R. R. **Gesso agrícola e calcário na produtividade de milho e soja no sistema plantio direto.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Pampa, Itaqui – RS, 2013.