

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE AGRONOMIA

Arthur Vinícios Chiamulera

**Atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de  
calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta**

Curitibanos

2022

Arthur Vinícios Chiamulera

**Atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.  
Orientador: Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt

Curitibanos

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Chiamulera, Arthur Vinícios

Atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta / Arthur Vinícios Chiamulera ; orientador, Djalma Eugênio Schmitt, 2022.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Propriedades físicas do solo. 3. Propriedades químicas do solo. 4. Produtividade do trigo. 5. Modos de aplicação de calcário e fertilizantes. . I. Schmitt, Djalma Eugênio . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

Rodovia Ulysses Gaboardi km3

CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC

TELEFONE (048) 3721-4174 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

ARTHUR VINÍCIOS CHIAMULERA

**Atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de  
calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitibanos, 14 de julho de 2022.

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Dr.(a) Analu Mantovani

Membro da banca examinadora

Universidade do Oeste de Santa Catarina

Prof. Dr. Antônio Lunardi Neto

Membro da banca examinadora

Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ser meu alicerce, meu guia, minha energia e meu chão em qualquer momento desta jornada desafiadora.

Aos meus nonos, Santo José Chiamulera e Jovelina Iracema Prando Chiamulera, que sempre fizeram tudo e um pouco mais por mim.

A minha família, sendo um pilar crucial para me manter estudando.

Ao meu orientador, Dr. Djalma Eugênio Schmitt, por todos os ensinamentos e conselhos profissionais e pessoais nesses três anos e meio de grupo de estudos. Levarei todos os conhecimentos, ideias, “puxões de orelha”, e principalmente, a amizade desta pessoa, que possui um grandioso coração, para a vida. O meu muito obrigado.

As pessoas que me motivaram a seguir em frente sempre. E também, as pessoas que tentaram me desmotivar e julgar, fazendo de combustível para alcançar meus objetivos.

A minha pequena super gigante amiga Beatriz Nogatz, ou mais conhecida como presente mais especial que esses anos de Universidade me proporcionou.

Aos meus amigos de infância e que fiz ao longo da graduação. Em especial aos de Lacerdópolis e ao Quinteto Fantástico.

Aos professores da UFSC - Curitibanos pelo conhecimento repassado e motivação para aprender sempre mais. Em especial, ao professor Dr. Antônio Lunardi Neto, que além de passar seu vasto conhecimento, me proporcionou grandes lições para a vida com suas “passagens” (nunca esquecerei do meu amiguinho e nem dos churrascos, afinal, temos que marcar mais um já).

As pessoas que compartilhei momentos nesses cinco anos de vivência, que de alguma forma, contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

*A todos que contribuíram de alguma forma ao longo da realização desse objetivo,  
Meu Muito Obrigado!*

## RESUMO

O Brasil apresenta solos com elevados teores de acidez naturalmente, dificultando o cultivo de plantas cultivadas pela presença de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), que é fitotóxico para as mesmas. Para corrigir a acidez, a adoção de corretivos tornou-se essencial, sendo aplicado com incorporação ou superficialmente. Além disso, após a aplicação de calcário é recomendado a correção da fertilidade para o fósforo (P) e potássio (K) e a manutenção em teores adequados quando diagnosticados pela análise de solo. O objetivo desse estudo foi avaliar os atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta. O experimento foi conduzido a campo na fazenda experimental da UFSC Campus Curitibanos, com delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas 3x3+2 com 3 repetições. Os tratamentos foram compostos pelo modo de aplicação de calcário, sendo P1 = incorporado; P2 = superficial a lanço, P3 = sem aplicação (Testemunha) e as subparcelas, compostas pelo modo de aplicação de fertilizantes, A = sem P correção e sem manutenção de P e K; B = correção P e manutenção de P e K em superfície; C = correção P e manutenção de P e K em linha; Na parcela com calcário incorporado, foram adicionados os tratamentos: D = correção P incorporado e manutenção P e K linha; E = correção P incorporado e manutenção P e K superfície. A adubação de correção foi realizada com fertilizante fosfatado e a manutenção com fertilizante potássico e fosfatado de acordo com a recomendação para produção de 4 ton ha<sup>-1</sup> de trigo. Foi cultivado trigo entre os meses de julho a novembro de 2021, utilizando a cultivar Agile. Após 12 meses da aplicação de calcário, coletou-se solo em amostras com estrutura preservada e indeformada nas camadas 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 25, 25 – 30, 30 – 35 e 35- 40 cm, para avaliar as propriedades físicas e químicas. Para avaliar a produtividade do trigo, foi colhido na área útil das parcelas 6 m<sup>2</sup> e debulhado em trilhadora, e a massa de grãos obtida serviu para estimar para 1 ha<sup>-1</sup>. A densidade do solo (Ds) e porosidade total do solo (PT) foram modificadas com a aplicação de calcário incorporada e superficial na camada 20 – 25 cm e 30 – 35 cm, já o pH em água sofreu poucas alterações, devido ao solo apresentar alto potencial tampão, que resulta em dificuldades de modificação de pH, necessitando de elevadas doses de calcário. Os teores de H<sup>+</sup>Al e  $Al^{3+}$  diminuíram quando o pH  $\geq$  5,5. O teor de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) foi incrementado até os 15 cm de profundidade com a aplicação calcário incorporado, e obteve uma concentração maior na camada 0 - 5 cm quando aplicado superficialmente, já os teores de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) não tiveram incrementos no solo, independente do modo de aplicação. A produtividade do trigo foi superior para a correção de P e manutenção em linha de P e K, não sendo influenciada pela calagem após 12 meses da aplicação.

**Palavras-chave:** Solos. Calagem. Fertilizantes. Trigo. Manejo de aplicação.

## ABSTRACT

Brazil has soils with naturally high levels of acidity, making it difficult to cultivate cultivated plants due to the presence of exchangeable aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ), which is phytotoxic for them. To correct acidity, the adoption of correctives has become essential, being applied with incorporation or superficially. In addition, after lime application, fertility correction for phosphorus (P) and potassium (K) is recommended and maintenance at adequate levels when diagnosed by soil analysis. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical attributes of the soil subjected to different modes of application of lime and fertilizers in a no-till system. The experiment was carried out in the field at the experimental farm at UFSC Campus Curitibanos, with a randomized block design in a 3x3+2 split-plot scheme with 3 replications. The treatments were composed by the method of lime application, where P1 = incorporated; P2 = surface spread, P3 = without application (Witness) and the subplots will be composed by the fertilizer application method, A = without P correction and without P and K maintenance; B = correction P and maintenance of P and K on the surface; C = correction P line and maintenance of P and K line; In the plot with incorporated lime, the following treatments were added: D = correction P incorporated + maintenance P and K line; E = embedded P correction + surface P and K maintenance. Correction fertilization was performed with phosphate fertilizer and maintenance with potassium and phosphate fertilizer according to the recommendation for production of 4 ton ha<sup>-1</sup> of wheat. Wheat was grown between July and November 2021, using the Agile cultivar. After 12 months of lime application, soil was collected in samples with preserved and undisturbed structure in layers 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 25, 25 – 30, 30 – 35 and 35 - 40 cm, to evaluate the physical and chemical properties. To evaluate the wheat yield, 6 m<sup>2</sup> was harvested in the middle of the plots and threshed on a threshing machine, and the grain mass obtained was used to estimate for 1 ha<sup>-1</sup>. Soil density (Ds) and total soil porosity (PT) were modified with the application of incorporated and superficial limestone in the 20 – 25 cm and 30 – 35 cm layers, whereas the pH in water suffered few changes, due to the soil presenting high buffer potential, which results in difficulties in pH modification, requiring high doses of limestone. The H<sup>+</sup>Al and  $\text{Al}^{3+}$  contents decreased when the pH  $\geq$  5.5. The calcium content ( $\text{Ca}^{2+}$ ) was increased up to 15 cm depth with the application of incorporated limestone, and it obtained a higher concentration in the 0 - 5 cm layer when applied superficially, whereas the magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) contents did not increase in the soil, regardless of application mode. Wheat yield was higher for P correction and P and K line maintenance, not being influenced by liming after 12 months of application.

**Key words:** Soils. Liming. Fertilizers. Wheat. Application management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui do experimento.....	28
Figura 2 – Dados meteorológicos de precipitação e temperatura média durante o período de 01 de agosto de 2021 a 29 de novembro de 2021 coletados na estação meteorológica da UFSC .....	29
Figura 3 – Adubação em cobertura e calcário incorporado em profundidade.....	30
Figura 4 – Semeadura direta do trigo. ....	31
Figura 5 – Abertura das trincheiras e coleta de solo de amostras com estrutura preservada. ..	32
Figura 6 – Análise de pH em água e SMP das amostras de solo coletadas nas camadas 0 – 40 cm de profundidade. ....	34
Figura 7 – Avaliação de $Al^{3+}$ das amostras de solo coletadas nas camadas 0 – 40 cm de profundidade.....	35
Figura 8 - Efeitos da calagem sobre a produtividade do trigo em $kg\ ha^{-1}$ em um Cambissolo Háplico em sistema de semeadura direta.....	39
Figura 9 – Efeito dos modos de adubação de P e K na densidade do solo (Ds) (a e b) e porosidade total (PT) (c e d) do solo. (a) Ds em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c) PT em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de .....	40
Figura 10 – – Efeito dos modos de adubação de P e K no pH $H_2O$ (a e b), nos teores de $H^+Al$ (c e d) e teores de $Al^{3+}$ (e e f) do solo. (a) pH $H_2O$ em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b)	

comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c) H+Al em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (e) Al<sup>3+</sup> em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (f) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado. ....42

Figura 11 - Efeito dos modos de adubação de P e K nos teores de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) (a e b) e teores de magnésio (Mg<sup>2+</sup>) (c e d) do solo. (a) Ca<sup>2+</sup> em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c) Mg<sup>2+</sup> em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado. ....44

Figura 12 - Produtividade do trigo em sistema de semeadura direta inicial sob efeitos dos modos de aplicação de fertilizantes P e K (superficial, em linha de semeadura e testemunha). (a) produtividade em kg ha<sup>-1</sup> quando analisado em todos os modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) produtividade em kg ha<sup>-1</sup> quando analisado somente na calagem incorporada. ....46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efeito da calagem sobre os parâmetros físicos e químicos de um Cambissolo Háplico .....	36
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al <sup>3+</sup>	Alumínio trocável
C	Carbono orgânico
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio trocável
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
cm	Centímetros
CTC	Carga de Troca de Cátions
Ds	Densidade de solo
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
H+Al	Acidez potencial
ha <sup>-1</sup>	Hectare
K	Potássio
kg	Quilograma
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare
KCl	Cloreto de potássio
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetros
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio trocável
Mn <sup>2+</sup>	Manganês
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PRNT	Poder Relativo Neutralizante Total
PT	Porosidade total do solo
SMP	Shoemaker, McLean e Pratt
SSD	Sistema de semeadura direta

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\leq$	Menor ou igual que
$\geq$	Maior ou igual que
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	<b>Objetivos Gerais</b> .....	<b>16</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1	ACIDEZ DO SOLO .....	17
2.2	CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO.....	19
2.2.1	<b>Modos de aplicação de corretivos</b> .....	<b>22</b>
2.3	RECOMENDAÇÕES PARA ADUBAÇÃO DE P E K EM CULTURAS DE GRÃOS E FORMA DE APLICAÇÃO .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	27
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	27
3.3	DADOS CLIMÁTICOS .....	28
3.4	CALAGEM E ADUBAÇÕES .....	29
3.5	SEMEADURA .....	30
3.6	CICLO CULTURAL E COLHEITA .....	31
3.7	COLETA DE SOLO.....	32
3.8	ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS .....	32
3.9	ANÁLISE ESTÁTISTICA.....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
4.1	EFEITOS DA CALAGEM.....	36
4.1.1	<b>Parâmetro físicos do solo</b> .....	<b>36</b>
4.1.2	<b>Parâmetros químicos do solo</b> .....	<b>37</b>
4.1.3	<b>Produtividade</b> .....	<b>38</b>
4.2	EFEITOS DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) EM FUNÇÃO DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO .....	39
4.2.1	<b>Parâmetros físicos do solo</b> .....	<b>39</b>
4.2.2	<b>Parâmetros de acidez do solo</b> .....	<b>41</b>
4.2.3	<b>Teores de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) no solo</b> .....	<b>44</b>
4.2.4	<b>Produtividade do trigo</b> .....	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que limita a produtividade das plantas cultivadas, é a elevada acidez. Esse atributo é uma condição de diminuição dos teores de macronutrientes e elevação dos teores de íons hidrogênio ( $H^+$ ) e elementos fitotóxicos, como o alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ). Segundo Ernani (2016) e Rheinheimer *et al.* (2018), quase a totalidade dos solos brasileiros, são naturalmente ácidos em virtude, do alto grau de intemperismo e da intensa lixiviação a que foram submetidos. O pH dos solos ácidos do Brasil, comumente, varia de 3,8 a 5,5. As causas da acidez estão relacionadas com a mineralização, decomposição da matéria orgânica (MO), que libera ácidos orgânicos e inorgânicos, lixiviação, práticas de manejo errôneas ou rudimentares, que provocam erosões e escoamento superficial, exportação pela planta, chuvas ácidas, uso de fertilizantes e exsudação de íons pelas raízes (BAMBOLIM *et al.*, 2015).

Quando a acidez é elevada, é necessário aplicar corretivos de acidez, os mais utilizados são os calcários agrícolas, por serem mais disponíveis e economicamente viáveis. A aplicação pode ser feita por métodos de incorporação ou superficialmente. Os calcários agrícolas, variam conforme a granulometria, composição, poder de reação e neutralização, entretanto o mais aplicado e recomendado é o dolomítico. A aplicação de calcário no solo ( $CaCO_3 + MgCO_3$ ) aumentará o pH, fazendo que o  $Al^{3+}$  precipite em forma de hidróxido, e aumente os teores de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ). Para a aplicação de calcário nas áreas com sistema de semeadura direta (SSD), atualmente, recomenda-se, antes de se iniciar o sistema, com a aplicação incorporada, uma aração e duas gradagens, e as futuras aplicações, serão feitas somente superficialmente (MIGUEL *et al.*, 2010).

Além da calagem, uma prática requente na agricultura é a adubação, que visa dispor parte dos nutrientes essenciais em quantidades suficientes para o adequado desenvolvimento das plantas cultivadas. Para a região sul do Brasil, há três tipos de adubação para as culturas de grãos, correção, manutenção e reposição. A adubação de correção é usada em solos com teores de fósforo (P) e potássio (K) menores que o teor crítico para a cultura. Logo, a adubação de manutenção consiste em adicionar as quantidades de P e K exportadas para os grãos das culturas mais a quantidade estimada de perdas no solo, podendo variar conforme a cultura, expectativa de rendimento e o sistema de cultivo (CQFS – RS/SC, 2016). Firmano (2017), cita que a adubação em qualquer sistema de produção tem sua eficiência maximizada somente quando não há restrições químicas, físicas e biológicas no solo.

Os modos de aplicação de calcário e fertilizantes interferem na velocidade e na capacidade de reação no solo. Para Bortolanza e Klein (2015), a incorporação em profundidade

do calcário fará com que as partículas do corretivo tenham contato mais íntimo com as partículas do solo, deixando mais eficaz a solubilidade e a correção. Quando aplicado superficialmente, a reação de neutralização fica dependente das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além da dose, tempo de aplicação e granulometria do calcário. De maneira geral, as reações são mais lentas. A adubação em linha demonstra mais eficiência na disponibilidade de P para as plantas, pois concentra mais o nutriente perto da raiz, evitando que seja fortemente adsorvido nas cargas. Já o K, para Lange *et al.* (2019), por ter maior mobilidade, tem excelente distribuição vertical e horizontal em profundidade. Os autores ainda citam que a melhor estratégia a se adotar com esse nutriente, é a aplicação superficial. Entretanto, para Rafain *et al.* (2020), a adubação em superfície pode favorecer o aumento de concentração na camada 0 – 5 cm, fazendo que o sistema radicular diminua seu crescimento em profundidade, logo, em época de seca ou escassez hídrica, faz com que a planta limite seu crescimento radicular, assim, reduzindo a produtividade da cultura.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal importantíssimo na base alimentar mundial e considerado uma gramínea anual de inverno. É uma planta com grande flexibilidade e que apresenta uma influência significativa de fatores genéticos, ambientais e de manejo, assim, atuando sobre os componentes produtivos. A cultura tem importância na rotação de culturas no sistema de semeadura direta na região sul do Brasil. O trigo é mediantemente tolerante a acidez do solo, sendo que interfere na divisão e alongamento celular ocasionando a inibição do crescimento radicular e diminuindo a eficiência na absorção de água e nutrientes, e conseqüentemente, afetando a produtividade, crescimento e desenvolvimento da planta. A aplicação de calcário e adubos tem influência direta sobre o maior número de perfilhos e espigas, produtividade e qualidade das sementes e grãos para a panificação, além dos nutrientes serem componentes essenciais das duas proteínas, glutenina e gliadina, que dão a força de glúten a farinha (MAZZUCO, 2019; SOUZA; FERRAZ; COELHO; MATIELLO, 2020).

As hipóteses de estudo são: (I) o trigo apresentará maior produtividade com a incorporação do calcário em relação ao calcário superficial no primeiro ano do sistema de semeadura direta; (II) a densidade de solo será maior nos solos com prática de incorporação de calcário nas camadas subsuperficiais;

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Avaliar a produtividade do trigo (*Triticum aestivum* L.) e os atributos físicos e químicos do solo submetidos a diferentes modos de aplicação de calcário e fertilizantes em sistema de semeadura direta.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os efeitos da calagem e modos de aplicação de adubação de P e K nas propriedades físicas (densidade e porosidade total) do solo em um Cambissolo Háplico;
- Analisar os efeitos da calagem e os modos de aplicação de adubação de P e K nas propriedades químicas do solo (pH em água, acidez potencial, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis) em um Cambissolo Háplico;
- Determinar a produtividade do trigo após um ano da aplicação de calcário;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ACIDEZ DO SOLO

Os solos brasileiros naturalmente são muito ácidos e pobres quimicamente, com variável presença de alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), sendo normalmente fitotóxicos e limitante a produção vegetal. Essa condição de acidez do solo é consequência da remoção das bases do solo e origem de íons  $\text{H}^+$ . Já o  $\text{Al}^{3+}$ , é um dos componentes mais importantes da acidez potencial do solo porque reage com a água, liberando íons  $\text{H}^+$ , sendo observada em  $\text{pH} \leq 5,5$ . Em solos com  $\text{pH} \geq 5,5$ , o  $\text{Al}^{3+}$  encontra-se em formas precipitadas (NATALE *et al.*, 2012).

A acidez do solo é expressa em valores de pH, que representa a atividade iônica de  $\text{H}^+$ . Em termos técnicos, a acidez que demonstra a concentração de  $\text{H}^+$  na solução é denominada de acidez ativa, enquanto, a acidez potencial representa a soma de todas as fontes  $\text{H}^+$  nos componentes sólidos do solo, incluindo, MO,  $\text{Al}^{3+}$  e argila (ERNANI, 2016).

A acidificação do solo é decorrente da ação do intemperismo químico (hidrólise) no material de origem do solo. Promovem a remoção de cátions básicos da CTC ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e K), com conseqüente aumento em solução da atividade de cátion ácidos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ). Em regiões de alta pluviosidade, os solos tendem a apresentar maior acidificação, pela carreação dos cátions básicos a partir da solução do solo, processo denominado de lixiviação. Outras fontes de acidez são potencializadas por práticas agrícolas, dentre elas, aplicação de fertilizantes e revolvimento do solo e naturais, absorção e exportação de nutrientes pelas plantas cultivadas e a mineralização da MO pela microbiota do solo gerando desprotonação de grupos carboxílicos, fenólicos e alcoólicos e liberando íons  $\text{H}^+$ . A respiração celular dos microrganismos e das raízes, produzem gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) por ser um ácido fraco e começa liberar quantidades de  $\text{H}^+$  quando o  $\text{pH} \geq 5,0$ , pois abaixo desse valor,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , ele fica numa forma indissociável. Já a nitrificação, que é a conversão de N amoniacal em N nítrico, gera dois íons  $\text{H}^+$ , convertendo uma molécula de amônia em nitrito. Quando as moléculas de nitrato são lixiviadas, carregam consigo K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , devido a estes elementos estarem eletricamente neutros na solução do solo. Alguns fertilizantes minerais tem caráter acidificante, como, a ureia, superfosfato triplo, MAP e DAP, e ainda, enxofre elementar. A ureia, por exemplo, tem o processo de nitrificação comentado anteriormente, formando íons  $\text{H}^+$ , enquanto, para os fosfatados solúveis em água, dependerá do valor da constante de dissociação ácida ( $\text{pK}_a$ ) para saber se irá acidificar a solução do solo (ERNANI, 2016; AULER, 2018).

Reações do intemperismo químico (hidrólise) de argilominerais são representadas nas equações 1, 2 e 3:



Reações pela decomposição da MO são representadas nas equações 4 e 5:



Reações pela produção de  $\text{CO}_2$  pela respiração vegetal e decomposição pelos microrganismos são representadas pelas equações 6, 7 e 8:



Reações pela nitrificação são representadas pelas equações 9 e 10:

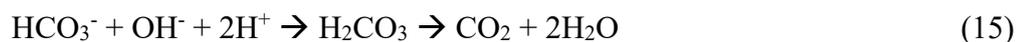


Reação pela lixiviação de cátions básicos são representadas pelas equações 11 e 12:



Reação pelo uso de fertilizantes – exemplo da reação de ureia – são representadas pelas equações 13, 14 e 15:





O  $\text{Al}^{3+}$  age na planta cultivada de forma intra e extracelular causando distúrbios morfofisiológicos. Quando o  $\text{Al}^{3+}$  entra dentro das células, causa lise celular, diminui a divisão celular quando se liga ao grupo fosfato do DNA e também a expansão celular, pela alteração do funcionamento do complexo de Golgi. Na ação extracelular, o  $\text{Al}^{3+}$  alcança as células por difusão ou fluxo de massa, ligando-se a parede celular e membrana plasmática, impedindo a absorção dos outros nutrientes essenciais e limitando a permeabilidade de entrada de água na célula. Outros efeitos são baixa absorção de  $\text{Ca}^{2+}$ , P e  $\text{Mg}^{2+}$ , haja vista pela diminuição do tamanho das raízes primárias e laterais ou ainda deixando-as grossas e curtas, baixa formação de pelos radiculares e susceptível a doenças fúngicas, todavia, também ocorre a redução de acúmulo de biomassa e produtividade (AULER, 2018).

Nos Cambissolos Háplicos dos Campos de Curitiba, a rocha-mãe é o basalto da Formação Gramado, caracterizada por ser uma rocha vulcânica extrusiva, que apresenta minerais primários, principalmente piroxênios e feldspatos cálcicos, geralmente quando bem intemperizados, apresentam quantidades significativas de nutrientes ao solo. Entretanto, segundo Abraão (2018), esses solos, demonstram teores elevados de argila, variando de 64 a 85%, associado ao alto teor de óxidos de ferro, que é em torno de  $190 \text{ g kg}^{-1}$ . Além disso, pH em condições de acidez elevada, baixa saturação de bases e elevado teor de MO, haja visto que estão presentes em regiões de altitudes expressivas e de baixas temperaturas, resultado num solo, com alto poder tampão.

O poder tampão ou capacidade de *buffer* é definido na química e na fertilidade do solo, como resistência do solo em alterar o pH, sendo que essa condição é bem visível em solos argilosos ou muito argilosos ou com altos teores de matéria orgânica (MO). Isso é consequência desses solos possuírem maiores CTC. Nessa condição, o solo mesmo quando corrigido com calcário, somente neutraliza os íons  $\text{H}^+$  da solução do solo e os outros íons  $\text{H}^+$  presentes na superfície dos colóides são liberados para a solução para manter o equilíbrio, e assim, resistem ao aumento do pH, necessitando de doses elevadas de corretivos agrícolas (CARMO; SILVA, 2013; BATISTA *et al.*, 2018).

## 2.2 CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

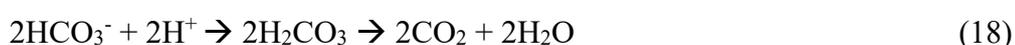
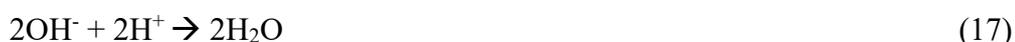
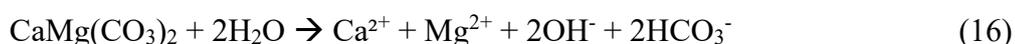
A calagem consiste na aplicação de corretivos agrícolas para neutralizar a ação de cátions das reações ácidas, principalmente  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , presentes na solução do solo. A prática é um investimento que o produtor sempre visa um melhor retorno econômico, trazendo benefícios tanto para o solo quanto em produtividade (CAIRES; JORIS, 2016).

Para uma correta indicação da necessidade de calagem, é necessário que seja feita análise química do solo e posteriormente, realizada a interpretação. Essas análises possibilitam um diagnóstico das condições químicas atuais do solo, evitando doses baixas ou excessivas. Para solos com acidez elevada, recomenda-se que seja efetuada a análise a cada cultivo, até que os níveis deixem de ser críticos.

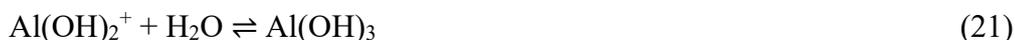
Geralmente, o calcário, é o corretivo mais utilizado nesta prática por ser amplamente disponível e viável economicamente, porém, é um produto de baixa solubilidade em água e sua ação neutralizante depende de superfície de contato com as partículas do solo e da umidade do solo. O produto é obtido a partir da moagem de rocha calcária, de natureza sedimentar ou metamórfica, que há presença dos minerais calcita e dolomita, cujos seus constituintes são o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) e o carbonato de magnésio ( $MgCO_3$ ). Contudo, em função da origem geológica e da mineralogia da rocha calcária, os teores de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$  podem variar, e assim, são classificados em dolomítico, calcítico e magnesiano. O primeiro precisa ter concentrações de  $MgO$  acima de 12%, enquanto o segundo tem que haver concentrações menores que 5% e o terceiro estar entre 5% a 12%. De modo geral, o calcário dolomítico é o mais utilizado pelos produtores rurais e recomendado pelos responsáveis técnicos.

O calcário inicia o processo de correção solubilizando os carbonatos formando bicarbonatos e liberando hidroxilas, que neutralizam íons hidrogênio em solução formando  $H_2O$ , que posteriormente, precipitara o  $Al^{3+}$ , deixando na forma não tóxica  $Al(OH)_3$ . A concentração de  $Al^{3+}$  e  $H^+$  é diretamente proporcional, logo, quando o pH for aumentando, esses dois elementos terão concentrações diminuídas (ERNANI, 2016; AULER, 2018).

Reações do calcário quando aplicado no solo são representadas pelas equações 16, 17 e 18:



Reação de precipitação do  $Al^{3+}$  são representadas pelas equações 19, 20, 21 e 22:



As reações dependem das características físicas (granulometria da partícula) e químicas (Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT) do calcário. As partículas mais finas, de diâmetro menor que 0,053 mm, reagem imediatamente no solo, se houver umidade, enquanto partículas maiores levam meses a anos para reagirem completamente (RODRIGHERO *et al.*, 2015). A análise química da qualidade dos calcários, envolve a determinação do poder neutralizante (PN) e a reatividade das partículas (RE), que determinarão o PRNT. Quanto maior o PN do corretivo, tende a ser maior a presença de ácidos neutralizantes, apresentando maior eficiência na correção, além de promover a reação com menor tempo (CQFS – RS/SC, 2016; SOUZA *et al.*, 2019).

O efeito residual do calcário depende muito do PRNT. De acordo com Wenneck *et al.* (2021), calcários com partículas menores que 0,053 mm podem reagir totalmente em um mês, enquanto calcários de partículas entre 0,84 a 2,00 mm necessitam de até 60 meses para a reação total. Cravo *et al.* (2012) verificaram que a aplicação de calcário dolomítico testado em Latossolo Amarelo distrófico de textura média demorou cerca de 50 meses para reduzir o pH e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e aumentar os teores de  $\text{Al}^{3+}$ .

Segundo Joris *et al.* (2013), calagem também pode influenciar indiretamente das propriedades físicas do solo, atuando sobre a agregação das partículas, entretanto Auler *et al.* (2017) contrasta a informação, afirmando que há aumento da dispersão das argilas, redução da floculação e da estabilidade dos agregados. Outros trabalhos apresentam dados que a aplicação de calcário não interfere na parte física do solo.

As plantas apresentam variações quanto à faixa ideal de pH, à função das exigências das mesmas em nutrientes e à tolerância ao  $\text{Al}^{3+}$ , sendo que no Manual de Recomendações de Calagem e Adubação de RS e SC (CQFS – RS/SC, 2016) a recomendação para cultura de grãos, exceto arroz irrigado, é pH 6,0. Portanto, além da elevação do pH, há liberação de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que vão para as cargas negativas criadas na MO, nos argilominerais, nos óxidos de Fe e de Al pelo aumento de pH e as desobstruídas pela precipitação de  $\text{Al}^{3+}$ . A atividade microbiana do solo é favorecida, principalmente, para a colonização de fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de N. Outro fator muito importante é a diminuição dos sítios de cargas positivas dos oxihidróxidos de Fe e Al, minimizando a adsorção de fosfatos.

### 2.2.1 Modos de aplicação de corretivos

Os corretivos agrícolas são aplicados de forma superficial, incorporada com preparo primário e secundário de solo e em sulco de cultivo. Como o movimento vertical do calcário é lento, devido a sua baixa solubilidade com a água, além dos produtos formados pelas reações serem pouco móveis no solo, o principal modo de aplicação utilizado é o incorporado. A calagem deve ser realizada três a seis meses antes da semeadura da cultura de interesse econômico, pelo tempo mínimo de reação do calcário no solo, ou ainda, antecipando a época chuvosa, para que as reações de hidrólise sejam favorecidas. Outra alternativa é a aplicação de calcário antes da semeadura direta da cultura de inverno com entrelinha de 0,17 a 0,20 m, para diminuir a exposição do solo aos efeitos do revolvimento do solo.

No início de um sistema de semeadura direta, é recomendado fazer a aplicação incorporada de calcário em profundidade e futuramente aplicações somente superficiais, porém, a ação de neutralização é mais lenta em subsuperfície, principalmente em solos com cargas variáveis. A aplicação de calcário deve ser em superfície, após implantação, pois uma das premissas do SSD é a mínima mobilização do solo. A migração das partículas mais finas em profundidade, dependerá do fluxo de infiltração de água. Segundo Rodighero *et al.* (2015), a aplicação de calcário superficial aumentou o pH nas camadas 0 – 5 cm e em menor magnitude a faixa de 5 – 10 cm, utilizando calcário calcítico e dolomítico com PRNT 90%, nos primeiros 12 meses. A explicação segundo os autores para esses resultados, é a utilização de calcários com granulometrias mais finas, que migram mais facilmente no perfil do solo. Pauletti *et al.* (2014) complementam que somente após 72 meses da aplicação superficial de calcário, ele migrará as camadas subsuperficiais 10 – 20 cm carregado pela água pelos poros do solo.

A incorporação do calcário no início do sistema de semeadura direta diminui a saturação por  $Al^{3+}$  na camada 0 – 20 cm, principalmente, em solos com altos teores. Também a uma mistura mais homogênea entre as partículas do solo e calcário, solubilizando em menos tempo. Para a grande maioria das culturas de grãos essa aplicação para neutralizar de 0 – 20 cm é interessante, pois o sistema radicular se concentra mais nessa camada, favorecendo o seu desenvolvimento. Gonzatto (2014), relata que solos de alto poder tampão onde houve calagem com incorporação sofrem reacidificação lentamente. Segundo Narimatsu *et al.* (2014), a calagem incorporada influencia o crescimento das raízes em profundidade em SSD inicial, pois diminui a resistência de penetração no solo e descompacta-o, além de melhorar a aeração.

A ação do calcário no solo, aplicado em superfície, é restrita, pois os ânions resultantes da sua dissolução, responsáveis pela neutralização da acidez, são consumidos nas reações com

outros cátions ácidos ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ) na camada de deposição de calcário. Os efeitos são observados em gradiente, das camadas superficiais para as subsuperficiais, constituindo a chamada frente de alcalinização, cuja taxa de progressão depende além das características do corretivo, da disponibilidade de água, da dose aplicada, do tempo decorrente e das características físico-químicas do solo (DEUS, 2014).

Segundo Nobile *et al.* (2015), a calagem superficial não alterou os atributos químicos em profundidades num período de dois anos. Já Caires *et al.* (2015), relata que a calagem superficial poderá trazer resultados significativos a longo prazo, tendo como premissa, o uso de calcários com alta reatividade, precipitação anual acima de 1000 mm e sistema de semeadura direta com manutenção de palhada em grandes quantidades (TOMELERO; SCHMIDT; DE BONA, 2019).

Em solos com alto teor de MO, como são os solos de Curitiba, de modo geral, o revolvimento pode diminuir em 20% os estoques de carbono na camada 0 – 10 cm após vinte meses da aplicação de calcário. Mas, tanto a calagem incorporada como a superficial dos seis aos doze meses após a aplicação, aumentam os teores de C no solo em 40% na camada 10 – 20 cm. Pensando nisso, a mobilização do solo pode ocasionar em solos de altitude menos pontos negativos que os imaginados anteriormente (FIDALSKI; TORMENA, 2014).

### 2.3 RECOMENDAÇÕES PARA ADUBAÇÃO DE P E K EM CULTURAS DE GRÃOS E FORMA DE APLICAÇÃO

No sul do Brasil, a três tipos de adubação, a de correção, de manutenção e reposição, esta, sendo somente utilizada quando o nível dos nutrientes no solo é “muito alto” e haverá uma reposição do quanto foi exportado pelos grãos. Adubação de correção é usada em solos com teores de fósforo (P) e potássio (K) forem menores que o teor crítico para a cultura. É recomendada a aplicação corretiva de forma total ou gradual, conforme o aporte financeiro do produtor rural, e realizada na implantação do sistema de semeadura direta a lanço ou linha em culturas de menor espaçamento ou incorporado juntamente com o calcário. Já a adubação de manutenção consiste em adicionar as quantidades de P e K exportadas para os grãos das culturas mais a quantidade estimada de perdas no solo. Ela varia com a cultura, produtividade esperada e sistema de cultivo (CQFS – RS/SC, 2016).

Um dos principais nutrientes que influenciaram na tomada de decisão será o P, que tem muita afinidade com óxidos, a textura do solo irá dizer se o nutriente ficará disponível na

solução do solo (P-solução) ou se ligará aos óxidos (fração P-lábil e P-não-lábil) e ficará indisponível (MACHADO *et al.*, 2011).

A aplicação em superfície permite que o processo de semeadura ocorra de forma mais rápida se a janela de semeadura for curta, sem necessidade de abastecimentos frequentes da semeadora-adubadora com os fertilizantes, e também permite distribuir a quantidade total, ou parcial, de forma antecipada ou após a semeadura. Já na aplicação em linha de semeadura, os nutrientes ficam mais facilmente disponíveis e são absorvidos pelo sistema radicular, porém em quantidades excessivas, podem causar distúrbios metabólicos. A aplicação de altas doses de  $K_2O$  em linha, acima de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ , deve ser evitada, em razão do efeito salino e em razão das perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos, com baixa capacidade de troca de cátions (BATISTA *et al.*, 2018).

Para a adubação em linha de semeadura em solos mais argilosos, recomenda-se de 6 a 12 cm de profundidade (CAI *et al.*, 2014; GOMES *et al.*, 2016). As vantagens são observadas no arranque da cultura a campo, favorecendo a alongação do mesocótilo, emergência de plântulas e a absorção dos nutrientes. Também contribui positivamente na altura de planta, diâmetro de colmo, peso da matéria seca da parte aérea e massa seca de raiz (TEIXEIRA *et al.*, 2018).

Segundo Rafain *et al.* (2020), a adubação em superfície pode favorecer o aumento de concentração na camada 0 – 10 cm, fazendo que o sistema radicular diminua seu crescimento em profundidade, logo, em época de seca ou escassez hídrica, faz com que a planta sofra mais para encontrar água, assim, reduzindo a produtividade da cultura. Guareschi *et al.* (2011), em experimento realizado em Latossolo Vermelho distroférico, evidenciaram que na aplicação de P em superfície, quinze dias antes da semeadura, o fertilizante revestido por polímeros conferiu uma maior produção de matéria seca, número de vagens e produtividade de grãos em comparação aos fertilizantes convencionais.

Em solos com teores muito baixo, baixo e médio de P, o nutriente quando aplicado superficialmente ou incorporado, tende a ser adsorvido mais facilmente pelos colóides, deixando grande parte indisponível para a absorção da planta. Já quando aplicado no sulco de cultivo, diminui a área de contato com os colóides e deixa mais próximo da raiz, que por difusão é absorvido. O uso de micorrizas arbusculares ou *Azospirillum* spp. tem mostrado resultados significativos em aumentar a área de superfície das raízes em busca do nutriente fosfatado (LIMA *et al.*, 2015; LIEBERT, 2017).

O movimento do P e K presentes na solução para a absorção das raízes ocorrem por difusão. A difusão consiste no contato íon-raiz por diferença de gradiente de concentração entre

solução do solo e pelos absorventes das raízes. Os nutrientes se movem em curta distâncias, da solução do solo que possui alta concentração para próximo da raiz, que possui baixa concentração. O processo é afetado pela umidade, densidade do solo, teor de argila, mineralogia e quantidade de P e K na solução do solo. A absorção de P e K é favorecida quando o sistema radicular possui grande crescimento e desenvolvimento (BERGAMIM, 2018).

Em solos argilosos e com altos teores de oxihidróxidos de Fe e Al, a aplicação de P pode apresentar baixa eficiência, pois o P precipita e fica complexado, na forma de fosfato indisponível. A aplicação em superfície de P, devido a sua baixa mobilidade no solo, pode ser realizada somente quando houver uma elevada fertilidade no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Com a adoção do sistema de semeadura direta, a aplicação superficial de P formará um gradiente elevado do nutriente na camada 0 – 5 cm, podendo limitar o crescimento em profundidade do sistema radicular das plantas cultivadas (DOS SANTOS *et al.*, 2008).

A adoção de um sistema de semeadura direta em longo prazo, altera a dinâmica dos nutrientes pela presença das formas orgânicas dos minerais (VIEIRA *et al.*, 2013). Nesse sistema, é possível a formação de linhas de P residual, uma reserva de acúmulo a longo prazo no solo (ZUCARELI *et al.*, 2018). Castoldi *et al.* (2012) e Castro *et al.* (2016) relatam que solos em SSD (sem revolvimento) e com altos teores de MO podem bloquear os sítios de adsorção de P na superfície dos colóides, pela presença dos ácidos húmicos, málico e acético. Também há um aumento de P orgânico pela manutenção dos resíduos vegetais sob o solo, logo, quando mineralizado (processo lento) será utilizado como fonte de P pelas plantas. Assim, há uma eficiência no aproveitamento de adubos fosfatados pela redistribuição de P orgânico no solo, atuando como uma forma mais estável do elemento e menos suscetível à fixação.

O P é um dos macronutrientes fundamentais para auxiliar nos processos metabólicos da planta de trigo, dentre eles, fotossíntese, respiração celular, transferência de genes e energia, constituinte das moléculas ADP e ATP, e também de parede celular. A disponibilidade de P reflete no aumento de número de espigas, pois ele estimula o enraizamento e o perfilhamento. Salgado (2017) apresentou resultados de incremento de produtividade do trigo com aumento de doses de P em sulco de semeadura, quando elevou de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para 60 kg ha<sup>-1</sup>, e ainda, obteve maior concentração de P no limbo foliar.

Segundo Bonfim-Silva *et al.* (2010), a adubação fosfatada para a cultura do trigo tem efeito de correlação positiva entre número de folhas e altura de planta, pois em estádios iniciais da cultura, a sua disponibilidade proporcionará um estande mais vigoroso e uniforme, além disso, influenciará positivamente na qualidade fisiológica do trigo semente. Para Marin *et al.* (2015), grãos com maiores concentrações de P na constituição, são os que mais contribuem

para o aumento da produtividade. Em situações de deficiência de P, o crescimento da parte aérea é afetado pelo dreno forte que as raízes se transformam para crescerem em profundidade (LOS GALETTO, 2016). Silva *et al.* (2010) observaram que nos tratamentos onde não foi adicionado P na semeadura de trigo, as sementes germinaram e emergiram, mas, as plântulas apresentaram-se raquíticas e com coloração púrpura nas folhas, sintomas característicos da deficiência de P.

Para a adubação de K, a forma de aplicação dependerá da textura do solo e da concentração do nutriente na solução, pois a passagem do K da forma trocável para a não trocável pode ser rápida, podendo ocorrer elevadas perdas por lixiviação devido a sua alta solubilidade. Júlio *et al.* (2016) observaram que a adubação em linha e o parcelamento em linha mais cobertura (2/3 do total em cobertura e 1/3 em sulco de semeadura) trazem respostas melhores a produtividade em solos da região Sul, oriundos de rocha basáltica. Resultados já demonstraram que a aplicação em cobertura de K no estágio de perfilhamento pleno ou até o início da formação do primórdio floral, tem sido importante para o enchimento de grãos, produtividade, maior resistência a doenças fúngicas e desenvolvimento da planta.

O K tem forte interação com o N, ajudando a ser absorvido pela planta e sendo translocado a parte aérea, além disso, o crescimento e desenvolvimento do trigo é mais pronunciado com estes dois nutrientes juntos. O K é o nutriente mais móvel no *continuum* solo-planta-atmosfera, apresentando função de auxílio na translocação de fotoassimilados, síntese de proteínas e na ativação enzimática. Esse nutriente não é constituinte de nenhuma molécula, entretanto contribui em várias atividades bioquímicas, sendo um ativador de grande número de enzimas, regulador da pressão osmótica, além de atuar na abertura e fechamento dos estômatos. (ECCO *et al.*, 2018).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

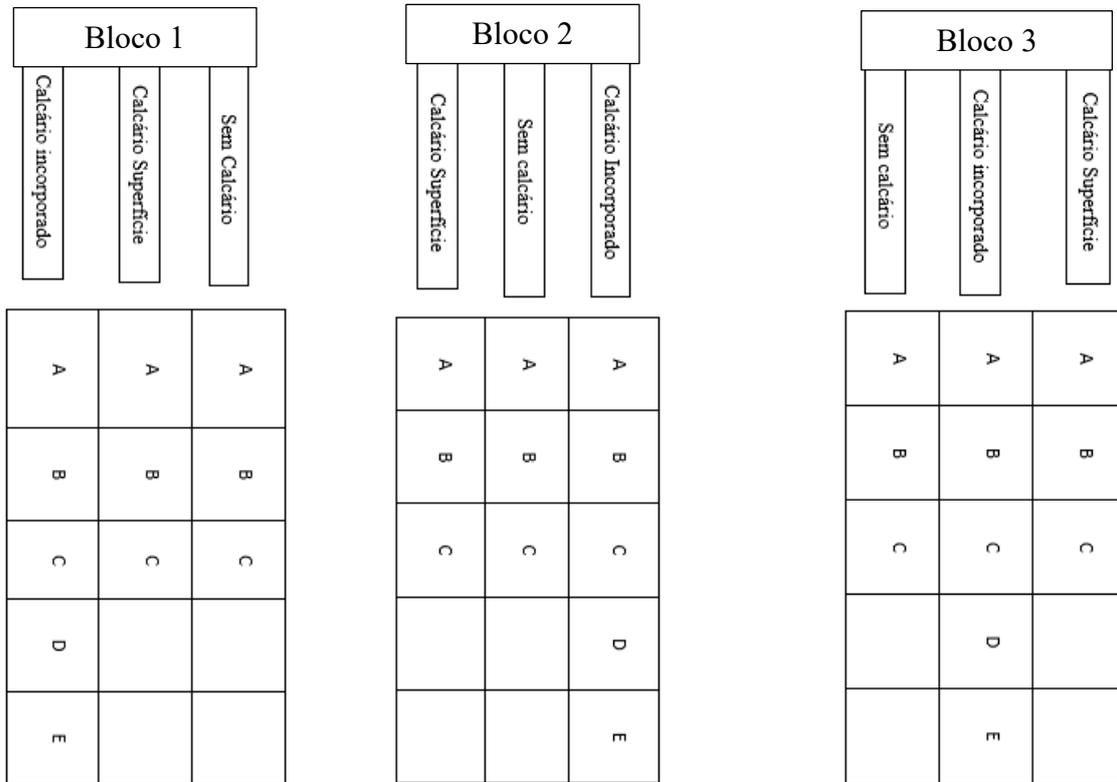
O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, localizado no município de Curitibanos, no Planalto Central de Santa Catarina (27°16'44.7"S 50°30'08.2"O) com altitude média é de 1010 metros. Segundo a classificação de Köppen, o município está em uma região de clima tipo Cfb (clima temperado e verão ameno) segundo a CLIMATE-DATA (2022), apresentando pluviosidade média anual é de 1678 mm. O solo predominante na área é classificado como Cambissolo Háplico de textura argilosa pela EMBRAPA (SiBCS, 2018).

#### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida 3x3+2 com 3 repetições. As parcelas foram compostas pelo modo de aplicação de calcário, sendo P1 = incorporado; P2 = superficial a lanço, P3 = sem aplicação (Testemunha) e as subparcelas serão compostas pelo modo de aplicação de fertilizantes, A = sem P correção e sem manutenção de P e K; B = correção P e manutenção de P e K em superfície; C = correção P linha e manutenção de P e K em linha; Na parcela com calcário incorporado, foram adicionados os tratamentos: D = correção P incorporado + manutenção P e K linha; E = correção P incorporado + manutenção P e K superfície. As unidades experimentais apresentam 8 x 8 m, totalizando 64 m<sup>2</sup> (Figura 1).

Entretanto, como é um esquema incompleto, possuindo dois tratamentos adicionais e pensando em viabilizar o uso de máquinas agrícolas no experimento, nas análises estatísticas, precisou ser manipulado em parcelas subdivididas os tratamentos 3x3 (parcelas com calcário incorporado, calcário superficial e sem calcário e subparcelas A, B e C) e em delineamento em blocos casualizados (DBC), somente o efeito da calagem incorporada.

Figura 1 – Croqui do experimento.



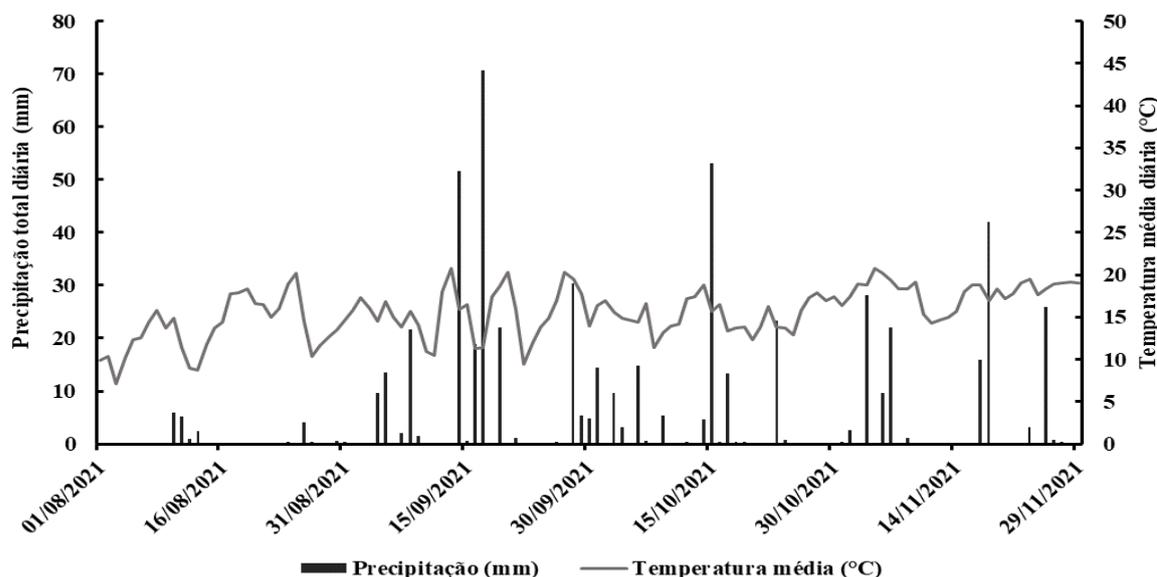
Legenda: A = Sem P Correção + Sem P e K Manutenção (testemunha)  
 B = P correção superficial + P e K Manutenção superficial  
 C = P Correção linha + P e K Manutenção linha  
 D = Correção P incorporado + P e K Manutenção linha  
 E = P Correção incorporado + P e K Manutenção superfície  
 Fonte: autor (2020)

### 3.3 DADOS CLIMÁTICOS

Durante o período de avaliação do experimento a região de Curitiba – SC, 09 de julho a 29 de novembro, passou por épocas muito frias, com presença de neve e geadas brancas e negras dos dias 12 a 23 de julho, que por falta de marcação na estação meteorológica não está representada na figura 2, além de períodos de seca no mês de julho a agosto e excesso de precipitação, como foi o caso de setembro a outubro. No mês de novembro, a precipitação e dias de chuva foram variados.

A temperatura média ficou entre os 7,1° a 20,8°C e a precipitação total atingiu 577,2 mm durante o ciclo, sendo que a maior quantidade de chuva ocorreu dia 17 de setembro, com 70,6 mm, sem contar 23 dias que houve falha na estação meteorológica da UFSC.

Figura 2 – Dados meteorológicos de precipitação e temperatura média durante o período de 01 de agosto de 2021 a 29 de novembro de 2021 coletados na estação meteorológica da UFSC campus Curitibanos - SC.



Fonte: autor (2022)

### 3.4 CALAGEM E ADUBAÇÕES

Antes da instalação do experimento a área era conduzida com cultivo de pinus até 2009, e em seguida pousio. A partir de 2016 a área passou a ser cultivada com grãos, aveia preta no inverno e milho/soja no verão. Em outubro de 2020, antes da instalação do experimento, foi realizada uma análise de solo na camada de 0-20 cm. Os resultados foram os seguintes: pH H<sub>2</sub>O = 5,2; pH SMP = 5,2; CTC pH 7,0 = 15,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 42,54 %; Al = 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 9,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Argila = 58,75 %; P = 7,56 mg dm<sup>-3</sup>; K = 152,10 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 3,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 2,74 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Matéria orgânica (MO) = 4,6%. Para a interpretação foi utilizado o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS – RS/SC, 2016).

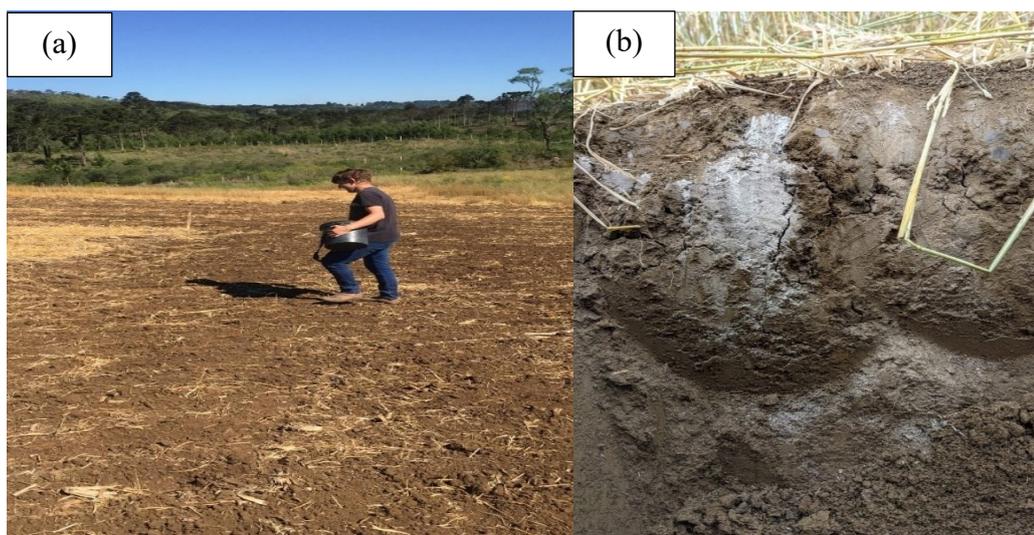
Primeiramente foi calculada a quantidade de calcário para a correção do solo, neste caso segundo o índice SMP, para pH de referência das culturas de grãos, 6,0. Como o pH SMP foi 5,2, precisou 8,3 ton ha<sup>-1</sup> de calcário, entretanto, o calcário dolomítico disponível tinha PRNT 80%, precisando assim, de 10,4 ton ha<sup>-1</sup>. Após a aplicação de calcário em dose total, no tratamento com calcário incorporado houve preparo primário, realizado a partir de uma aração e duas gradagens até 20 cm de profundidade, e em seguida submeteu-se a um preparo secundário, com uma grade niveladora para deixar o solo pronto para cultivo.

Os teores de P foram considerados baixos, todavia, os teores de K alto, segundo o Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (CQFS, RS/SC, 2016). Neste caso, a recomendação de correção de P foi de 80 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$ . A fonte de P foi superfosfato triplo, com 45% de  $P_2O_5$ , equivalente a 177,78 kg de STF  $ha^{-1}$ . Para a adubação em linha foi utilizado a semeadora-adubadora para a prática.

Após a aplicação de calcário e fertilizantes para correção (P) e manutenção (P e K), foi realizado o plantio de soja (*Glycine max*) e em sucessão a cultura da aveia preta (*Avena strigosa*), como cobertura de solo, entre maio e junho, antes da implantação do trigo (*Triticum aestivum*). Para a adubação de manutenção da cultura tritícola, considerou-se uma expectativa de rendimento de 4 ton  $ha^{-1}$  de grãos. Para a manutenção de P, aplicou-se 60 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , usando como fonte STF a 45% de  $P_2O_5$ , equivalente a 133,3 kg  $ha^{-1}$  de STF. Já para a manutenção de K, aplicou-se 40 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$ , sendo a fonte utilizada cloreto de potássio a 58% de  $K_2O$

Foi aplicado 60 kg  $ha^{-1}$  de N, sendo 20 kg  $ha^{-1}$  na base e o restante em cobertura, após 45 DAS (dias após a semeadura), conforme a recomendação do Manual. A aplicação de ureia em base foi feita a lanço, para haver maior uniformidade, no dia da semeadura, 09/07/2021, e em cobertura, no dia 25 de agosto. A figura 3a e 3b representam a aplicação de adubação superficial e o calcário incorporado no perfil do solo após 12 meses, respectivamente.

Figura 3 – Adubação em cobertura e calcário incorporado em profundidade.



Fonte: autor (2020)

### 3.5 SEMEADURA

A semeadura do trigo foi realizada no dia 09 de julho de 2021, de forma mecanizada com uma semeadora-adubadora. A cultivar escolhida foi a Agile, de ciclo precoce e possuía tratamento de semente industrial (TSI). Como seu poder germinativo era de 90%, semeou-se 66 sementes por metro linear com espaçamento entre linhas de 17 cm.

Inicialmente, semeou-se as parcelas sem adubo em linha e posteriormente acrescentou-se adubo na caixa de adubo, e foi semeado as parcelas com adubo em linha. Isso, gerou mais confiabilidade das futuras respostas e menor compactação do solo, pois evitou de ficar passando com o trator em cima das parcelas várias vezes sem necessidade. Na figura 4, observa-se os implementos usados na semeadura direta de trigo.

Figura 4 – Semeadura direta do trigo.



Fonte: autor (2021)

### 3.6 CICLO CULTURAL E COLHEITA

As verificações de manejo, como monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas, na área de cultivo eram feitas quinzenalmente no início de estabelecimento da cultura. As aplicações de defensivos agrícolas, fungicidas, herbicidas e inseticidas, foram realizados da seguinte forma: quando as plantas alcançaram 50% do estágio reprodutivo, foi realizado o tratamento fúngico contra Brusone (*Pyricularia grisea*) e Giberela (*Gibberella zeae* S.). Entretanto, com a época chuvosa do fim de setembro e início de outubro, atrasou a data de aplicação, favorecendo o aparecimento das doenças fúngicas durante o restante do ciclo, influenciando diretamente sobre a produção final.

A colheita do trigo foi realizada no dia 29 de novembro. Ao centro da parcela foi medido 6 m<sup>2</sup> com estacas e cortado o trigo com roçadeira, além de ser colocado em sacos de rafia previamente identificados para deixar 7 dias em estufa para secar ao ar. A trilha ou debulha das espiguetas foi realizado no dia 04 de dezembro de forma mecanizada com uma trilhadora

acoplada no trator. Cada amostra foi pesada e a produtividade foi estimada por hectare à umidade de 13%.

### 3.7 COLETA DE SOLO

A campo, foi aberto mini trincheiras de 50 cm de largura, 50 cm de comprimento e 50 cm profundidade em cada parcela, para a coleta em profundidade das camadas 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 25, 25 – 30, 30 – 35, 35 – 40 cm. Foram realizadas coletas de amostras com estruturas preservadas para as análises de densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) (Figura 5a, 5b e 5c). Além disso, foram coletadas amostras sem estrutura preservada nas mesmas camadas para as análises químicas.

As amostras com estrutura preservada foram colocadas em bandejas e inundados por 24 horas. Após esse tempo, foram pesados para saber a massa de solo úmido e colocados em estufa de fluxo de ar contínuo para secar a 105° C por 48 horas, e novamente, pesados ao fim do processo, para determinar a massa de solo seco.

As amostras de solo para a análise química foram secadas em estufa de secagem a 60° C por uma semana para secarem, antes de serem trituradas por um pilão manual e peneiradas com peneiras de 2 mm de granulometria.

Figura 5 – Abertura das trincheiras e coleta de solo de amostras com estrutura preservada.



Fonte: autor (2021)

### 3.8 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

As metodologias utilizadas para as análises físicas e químicas de solo, constam no Manual de Análise de Solo, Plantas e outros Minerais de Tedesco *et al.* (1995) e o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (2011).

Com os dados de massa de solo úmido e seco, volume do anel volumétrico (cilindro) e da água, foi calculado a densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) do solo. Representação abaixo das equações 23 e 24.

$$PT (\%) = \frac{\text{volume de água (diferença da massa do solo saturado e solo seco)}}{\text{volume do cilindro}} \quad (22)$$

$$Ds (\text{g cm}^3) = \frac{\text{massa do solo seco}}{\text{volume do cilindro}} \quad (23)$$

Para a avaliação de pH em água, utilizou-se a proporção 1:1, sendo, 10 gramas de solo triturado para 10 ml de água destilada. Acrescentou-se essas medidas em um copo plástico (50 ml), agitando com um bastão de vidro, para deixar homogênea a amostra. Após repouso por 30 minutos, mistura novamente com um bastão a amostra e afere o pH em água para a avaliação da acidez ativa com um pHmetro calibrado (Figura 6). Posteriormente, acrescentou-se 5 ml da solução tampão SMP pH 7,5 com uma pipeta, misturou-se novamente com um bastão, ficou em repouso por 20 minutos e após a agitação foi feita a leitura do pH SMP.

Com a determinação do pH SMP realizada, foi calculado o teor de H+Al, representado na equação 25.

$$H+Al (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \frac{e^{(10,665 - 1,1483 \times \text{pH SMP})}}{10} \quad (24)$$

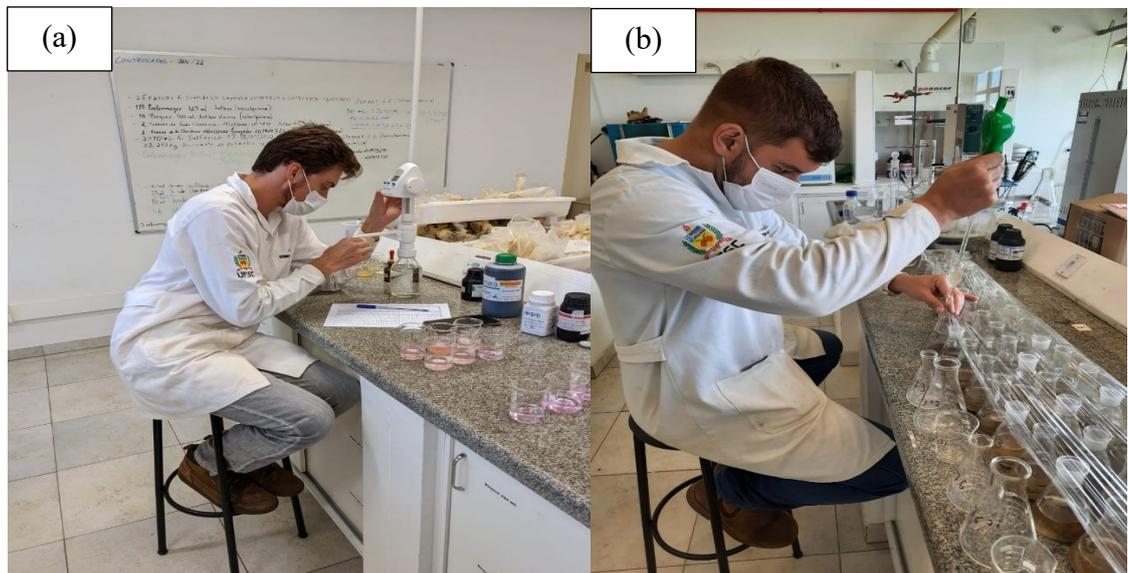
Figura 6 – Análise de pH em água e SMP das amostras de solo coletadas nas camadas 0 – 40 cm de profundidade.



Fonte: autor (2021)

Para a avaliação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , foi adicionado 4,5 gramas de solo em um Erlenmeyer e acrescentado 90 ml de  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  com proveta. Foram colocadas as amostras em um agitador horizontal circular por cerca de duas horas a 180 rpm. Após, retirou-se do agitador e deixou-se por 16 horas em repouso, para a decantação. Com uma pipeta de 25 ml, extraiu-se alíquotas para as análises de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , colocando em Erlenmeyers separados (Figura 7b). O  $\text{Al}^{3+}$  foi titulado com  $\text{NaOH}$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  na presença de indicador fenolftaleína (Figura 7a). Já o  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  foi determinado por complexometria na presença de indicador negro de eriocromo e titulado com a solução padronizada de  $\text{EDTA}$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ . Para a determinação de  $\text{Ca}^{2+}$  somente, adicionou-se nas amostras cerca de 30 mg de ácido ascórbico sendo titulado com a solução padronizada de  $\text{EDTA}$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  na presença de corante Calcon. O teor de  $\text{Mg}^{2+}$  foi estimado pela diferença do teor de cálcio e magnésio juntos pelo teor de cálcio.

Figura 7 – Avaliação de  $Al^{3+}$  das amostras de solo coletadas nas camadas 0 – 40 cm de profundidade.



Fonte: autor (2022)

### 3.9 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Os dados inicialmente foram avaliados estatisticamente em delineamento de blocos casualizados (DBC) esquema de parcelas subdivididas 3x3, com 3 formas de calagem, incorporada, superficial e sem calagem e 3 modos de adubação, em linha de cultivo, superficial e sem adubação (tratamento A, B e C). Quando significativo, realizou-se o teste de Tukey com 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR.

Em seguida, foi realizado um teste de variância somente nos tratamentos com calcário incorporado, testando os tratamentos A, B, C, D e E, pois, esse tinha dois tratamentos adicionais, correção de P incorporado e manutenção em linha (D) e correção de P incorporado e manutenção superficial (E). Novamente, quando os resultados foram significativos, realizou-se o teste de Tukey com 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EFEITOS DA CALAGEM

Os efeitos da calagem sobre os atributos físicos e químicos do solo estão descritos estatisticamente na tabela 1.

Tabela 1 – Efeito da calagem sobre os parâmetros físicos e químicos de um Cambissolo Háplico ao longo de um perfil de 0 – 40 cm.

Parâmetro	Calcário	Camadas (cm)							
		0 – 5	5 – 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35- 40
Ds (g/cm <sup>3</sup> )	Incorporado	0,98	1,07	1,07	1,11	1,08 b	1,12	1,13	1,08
	Superfície	1,02	1,12	1,11	1,09	1,06 b	1,10	1,11	1,10
	Sem calcário	0,89	1,10	1,12	1,14	1,13 a	1,12	1,15	1,11
PT (g/cm <sup>3</sup> )	Incorporado	0,62	0,57	0,56	0,54	0,54	0,55	0,56 a	0,53
	Superfície	0,60	0,55	0,55	0,54	0,55	0,55	0,54 b	0,53
	Sem calcário	0,59	0,55	0,56	0,54	0,53	0,53	0,53 c	0,54
pH H <sub>2</sub> O	Incorporado	5,9	5,6	5,5	4,9	4,7	4,5	4,7	4,5 a
	Superfície	5,9	5,6	5,2	4,7	4,6	4,4	4,4	4,3 ab
	Sem calcário	5,5	5,0	4,8	4,4	4,5	4,5	4,4	4,2 b
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Incorporado	3,57 a	3,96	4,58 a	9,31	13,15	15,27	15,93	14,85
	Superfície	4,12 ab	6,20	10,24 b	13,99	15,77	15,85	16,87	18,97
	Sem calcário	7,08 b	8,24	11,56 b	16,85	17,05	16,44	18,68	19,75
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Incorporado	0,10	0,20	0,42	1,64	3,31	3,41	3,91	4,21
	Superfície	0,27	0,58	1,36	2,83	3,54	3,93	4,20	4,24
	Sem calcário	0,39	0,91	2,14	3,21	4,17	4,17	4,69	4,48
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Incorporado	4,73 ab	4,85 a	4,36 a	2,57	1,62	0,99	1,21	0,82
	Superfície	6,02 a	4,06 ab	2,92 ab	1,78	1,22	0,98	0,98	0,80
	Sem calcário	3,99 b	3,18 b	1,83 b	1,20	1,05	0,92	0,88	0,76
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Incorporado	2,90	2,99	2,97	1,82	1,68	1,72	1,53	1,35
	Superfície	2,53	2,85	2,39	1,82	1,60	1,49	1,21	1,17
	Sem calcário	2,93	2,68	1,80	1,74	1,47	1,19	1,13	0,98

Ds: Densidade do solo; PT: Porosidade total do solo; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio trocável; H+Al: Acidez potencial não trocável; Al<sup>3+</sup>: Alumínio trocável ou acidez potencial trocável; pH H<sub>2</sub>O: Potencial hidrogeniônico; Médias seguidas por letra em coluna se diferem entre si segundo o teste Tukey (p ≤ 0,05).

Fonte: autor (2022)

#### 4.1.1 Parâmetro físicos do solo

Os valores de densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) foram modificados pelo efeito da calagem apenas nas camadas 20 – 25 e 30 – 35 cm, respectivamente. Na camada 20 – 25 cm, a Ds foi maior quando não houve aplicação de calcário, enquanto a aplicação incorporada de calcário na camada 30 – 35 cm apresentou maior PT, diferindo-se dos demais tratamentos. Segundo Personi (2012), essa redução de Ds pode ser atribuída ao aumento da

atividade dos cátions bivalentes na CTC do solo, fenômeno potencializado pela calagem, promovendo uma ação floculante maior pela presença de óxidos de ferro, além de ter formado mais agregados.

De modo geral, aparentemente os parâmetros analisados estão entre os intervalos críticos descritos na literatura para um solo argiloso,  $D_s$  0,9 a 1,7 g dm<sup>-3</sup> e  $PT \geq 50\%$ , favorecendo o crescimento radicular para as plantas cultivadas. Neste caso, todas as amostras obtiveram mais de 50% do espaço total do solo de poros, o que não está causando problemas físicos. Esses valores de  $D_s$  e  $PT$  podem ser relacionados com os teores de MO que são altos no solo.

Luciano *et al.* (2010) evidenciaram que os parâmetros são afetados linearmente pelo teor de MO, estabilidade dos agregados, histórico da área, tipo de manejo e tempo de adoção do sistema de semeadura direta. Os resultados descritos pelos autores com a adoção de sistema de semeadura direta em um ano, foram semelhantes a este trabalho. Segundo Wendling *et al.* (2012), o sistema de semeadura direta aumenta a  $D_s$  e diminui a  $PT$ , reduzido a quantidade de macroporos e aumentando os microporos. Em relação a  $PT$  no perfil do solo, Pignataro Netto *et al.* (2009) também observaram mínima variação entre camadas.

#### 4.1.2 Parâmetros químicos do solo

Os resultados de pH H<sub>2</sub>O testando apenas aplicação de calcário diferenciou-se nas camadas 35 – 40 cm, aonde o pH foi superior na aplicação incorporada em relação aos tratamentos sem calcário. O pH com calcário incorporado variou de 5,9 na camada 0 – 5 cm para 4,5 na camada 35 – 40 cm, enquanto na aplicação superficial o pH variou de 5,9 a 4,3. Os tratamentos sem aplicação de corretivo, variou pH de 5,5 a 4,2.

Já os teores de H<sup>+</sup>Al demonstraram que o calcário incorporado diminuiu os valores na camada 0 – 5 cm e 10 – 15 cm comparado com os tratamentos sem calcário. De maneira semelhante ao pH em água, houve elevação dos teores em profundidade de H<sup>+</sup>Al em todos os tratamentos. Os teores de Al<sup>3+</sup> não obtiveram diferenças entre as aplicações ao longo do perfil do solo.

Os dados de acidez ativa (pH H<sub>2</sub>O) e acidez potencial (H<sup>+</sup>Al e Al<sup>3+</sup>) demonstram que a acidez tende a ser menor nas camadas superficiais e incrementada em profundidade. A campo pode-se observar nas coletas de solo, que houve mínima migração vertical de calcário, pois ainda estava solubilizando, principalmente, nas parcelas com calcário incorporado (Figura 3b). Também pode-se analisar que a incorporação do calcário, apresentou pH  $\geq 5,5$  até a camada 10

– 15 cm, ou seja, não haverá impedimentos para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular por presença de alumínio tóxico, pois este estará precipitado, facilitando a absorção dos nutrientes essenciais. Os teores de  $H^+Al$  nas camadas 20 – 40 cm, em todos os tratamentos, demonstram uma estimativa das cargas negativas, que podem ser desobstruídas caso eleve-se o pH do solo. Assim, pode-se notar que o solo apresenta alto poder tampão, o que está associado aos altos valores de MO e de argila. A elevação do pH pode diminuir a lixiviação de cátions e favorecer a absorção dos nutrientes na solução do solo.

Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  com a aplicação superficial de calcário foi superior na camada 0 – 5 cm comparado com o tratamento sem calcário, bem como, o tratamento com calcário incorporado demonstrou teores mais elevados comparado novamente com as parcelas sem calcário, nas camadas 5 – 10 cm e 10 – 15 cm. Os teores de  $Ca^{2+}$  variaram de 0,82 a 4,85  $cmol_c dm^{-3}$  para a calagem incorporada e de 0,80 a 6,02  $cmol_c dm^{-3}$  para a calagem superficial, enquanto a testemunha variou os teores de 0,76 a 3,99  $cmol_c dm^{-3}$ . Já os teores de  $Mg^{2+}$  variaram de 1,35 a 2,99  $cmol_c dm^{-3}$  para a aplicação incorporada de calcário e de 1,17 a 2,85  $cmol_c dm^{-3}$  para a aplicação superficial, todavia, a testemunha apresentou teores entre 0,99 a 2,93  $cmol_c dm^{-3}$ .

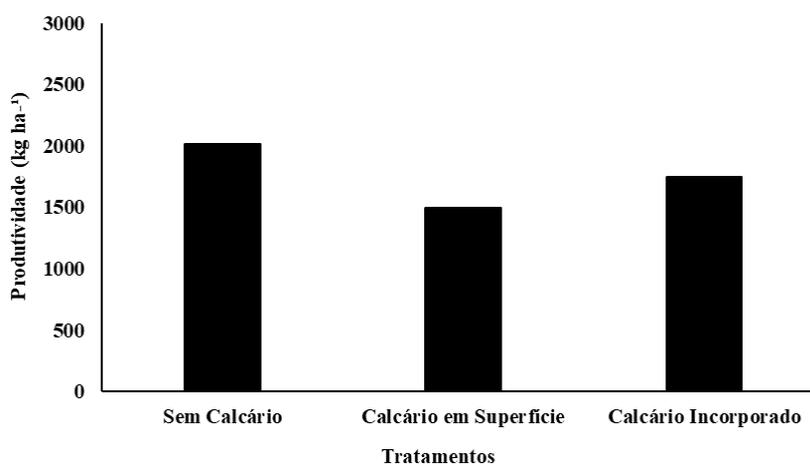
Os teores de  $Ca^{2+}$ , segundo o manual de calagem e adubação para os estados de RS e SC, são considerados altos até os 15 cm de profundidade do solo para a calagem incorporada, apresentando nível médio na camada 15 – 20 cm e abaixo de 20 cm, os teores são classificados como baixos. Os tratamentos com calagem incorporada apresentaram teores altos até 10 cm de profundidade, de 10 – 15 cm níveis médios e no restante do perfil, até 40 cm, teores baixos. As parcelas sem calcário apresentaram teores médios até 10 cm e nas camadas subsequentes demonstram teores baixos. Os teores de  $Mg^{2+}$  são altos em todos os tratamentos, exceto na camada 35 – 40 cm da testemunha, que é considerado teor médio.

A incorporação (uma aração e duas gradagens) distribuiu melhor o calcário nas camadas 0 – 20 cm, todavia, não foi encontrado o maior teor de  $Ca^{2+}$  nesse tratamento, e sim, em superfície, pois a migração do calcário é lenta, concentrando os teores de  $Ca^{2+}$  na camada 0 – 5 cm, sendo que Rodighero *et al.* (2015) encontraram resultados semelhantes a esses. Em vários trabalhos testando aplicação superficial de calcário, as respostas significativas de acréscimos de teores dos nutrientes nas camadas abaixo de 5 cm, começam a surgir com 48 meses após a aplicação, diferentemente da aplicação incorporada, que reage e solubiliza mais rápido no solo.

#### 4.1.3 Produtividade

Analisando a produtividade do trigo, observa-se que não houve efeito da aplicação de calcário (Figura 8). Sendo que nos tratamentos sem calcário, a média de produtividade foi superior, 2018 kg ha<sup>-1</sup>, comparado com a calagem incorporada, 1745 kg ha<sup>-1</sup> e em superfície, 1497 kg ha<sup>-1</sup>.

Figura 8 - Efeitos da calagem sobre a produtividade do trigo em kg ha<sup>-1</sup> em um Cambissolo Háplico em sistema de semeadura direta.



Fonte: autor (2022)

Provavelmente, como o calcário não reagiu totalmente no solo e esse solo ter sido cultivado por vários anos, possuindo uma fertilidade construída, as respostas do calcário na produtividade das plantas cultivadas será analisada em longo prazo. Viera *et al.* (2013) demonstraram que o trigo e os cereais de inverno são mais tolerantes a acidez, entretanto são sensíveis a deficiência de P e K, o que pode ser um indicativo dos dados obtidos nesse trabalho para a variável produtividade.

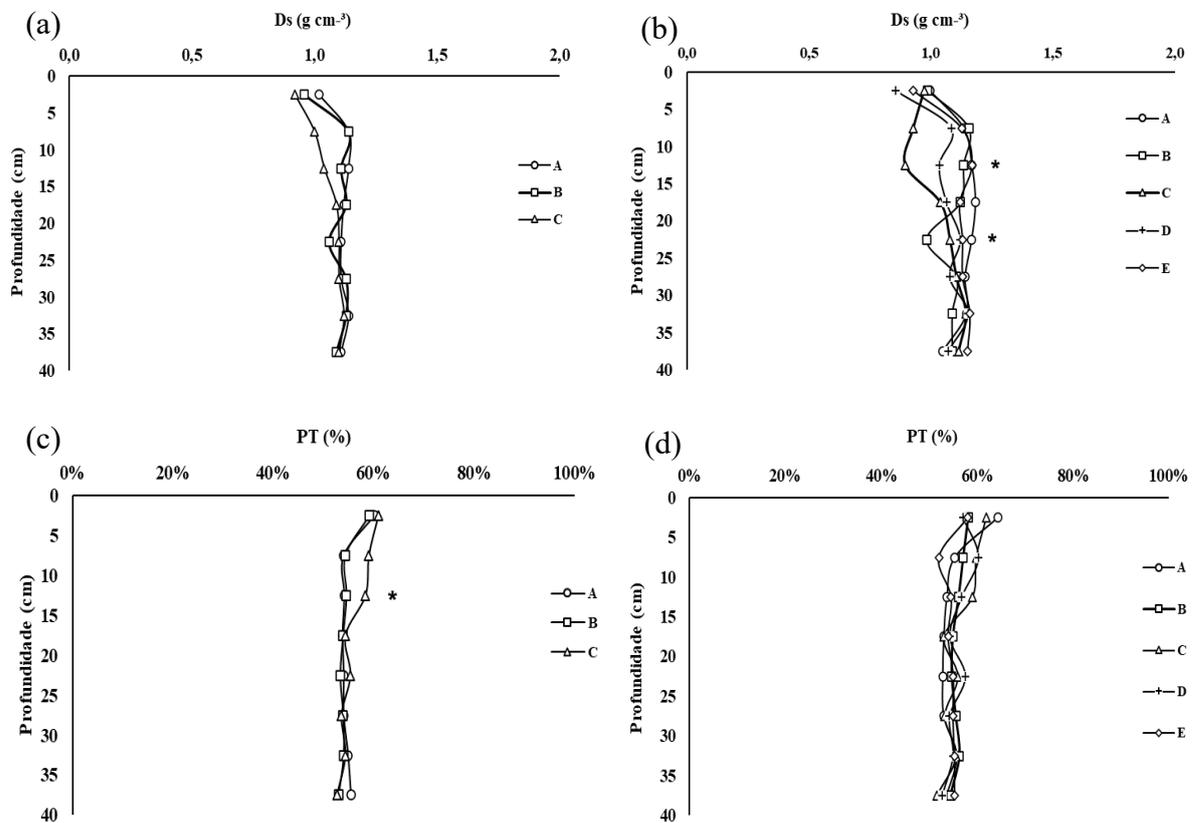
## 4.2 EFEITOS DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) EM FUNÇÃO DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO

### 4.2.1 Parâmetros físicos do solo

Abaixo serão apresentados os efeitos dos modos de adubação (testemunha (A), superficial (B) e em linha (C)) dentro dos modos de aplicação de calcário (tratamentos com calagem incorporada, superficial e sem calcário). Devido a calagem incorporada apresentar dois

tratamentos adicionais (D e E), foi testado os efeitos dos modos de adubação de P e K somente nas parcelas com calcário incorporado (Figura 9).

Figura 9 – Efeito dos modos de adubação de P e K na densidade do solo (Ds) (a e b) e porosidade total (PT) (c e d) do solo. (a) Ds em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c) PT em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado.



Onde, \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ). As letras nas legendas das figuras correspondem: em que A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície;

Fonte: autor (2022)

A Ds não apresentou diferenças quando comparamos os modos de aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calagem (Figura 9a), variando de 0,92 a 1,14 g cm<sup>-3</sup>. Já quando comparamos os modos de aplicação de fertilizantes apenas quando o calcário

foi incorporado (Figura 9b), podemos verificar maiores valores de Ds quando a adubação foi realizada com correção de P incorporada e manutenção de P e K em superfície (E) e correção de P e manutenção de P e K em superfície (B) na camada 10 – 15 cm em relação aos demais tratamentos. A adubação com correção de P incorporada e manutenção de P e K em linha (D) e correção de P incorporada e manutenção de P e K em superfície (E) apresentaram maiores valores de Ds na camada 20 – 25 cm, sendo superior a testemunha (A), a aplicação de correção de P e manutenção de P e K em superfície (B) e correção de P e manutenção de P e K em linha (C).

A PT apresentou maiores valores quando a adubação foi realizada com correção de P e manutenção de P e K em linha (C) na camada 10 – 15 cm, sendo superior (Figura 9c). Já dentro da calagem incorporada, não houve efeito dos modos de aplicação de fertilizantes, variando os valores entre 52,7 a 60,9% ao longo do perfil do solo (Figura 9d).

De modo geral, tanto Ds quanto PT, apresentaram dados ideais para o cultivo em solos com alto teor de argila e MO. Os modos de aplicação de calcário interferem mais nos resultados de Ds e PT do que os modos de aplicação de fertilizantes, mas, o sistema de semeadura direta tende ao longo dos anos diminuir a Ds e aumentar PT, conforme Pessoni (2012). Para Pádua *et al.* (2015), a Ds pode variar conforme a gênese do solo, relevo, manejo, profundidade do perfil, umidade, teor de MO e argila, CTC pH 7,0 e H+Al. Diferentemente do que o autor encontrou em seus resultados, quando cita que a Ds de um Cambissolo não varia após a profundidade de 20 cm, este trabalho demonstrou variabilidade na camada 20 – 25 cm.

Analisando somente esses dois parâmetros de propriedades físicas, o crescimento radicular não será um impeditivo para as plantas cultivadas, como também, haver uma boa infiltração de água no perfil, podendo ser um importante carreador de nutrientes para camadas mais profundas.

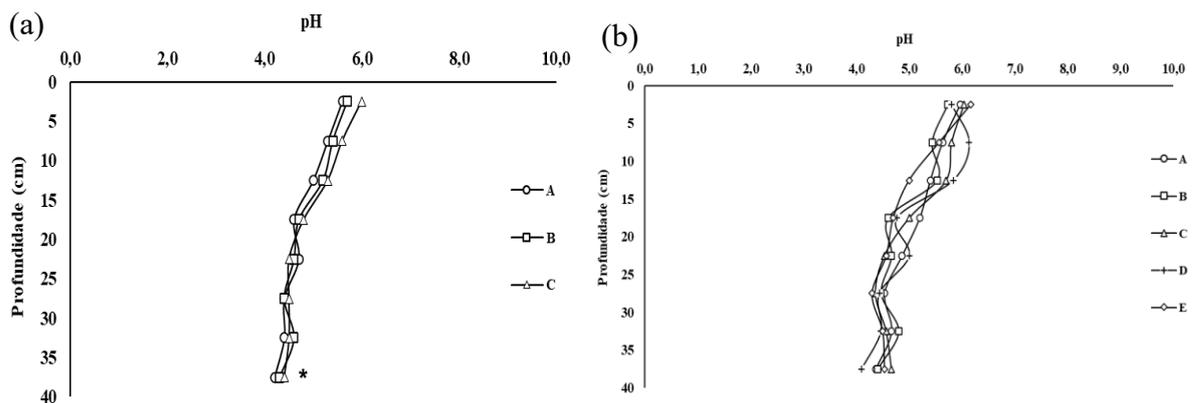
#### **4.2.2 Parâmetros de acidez do solo**

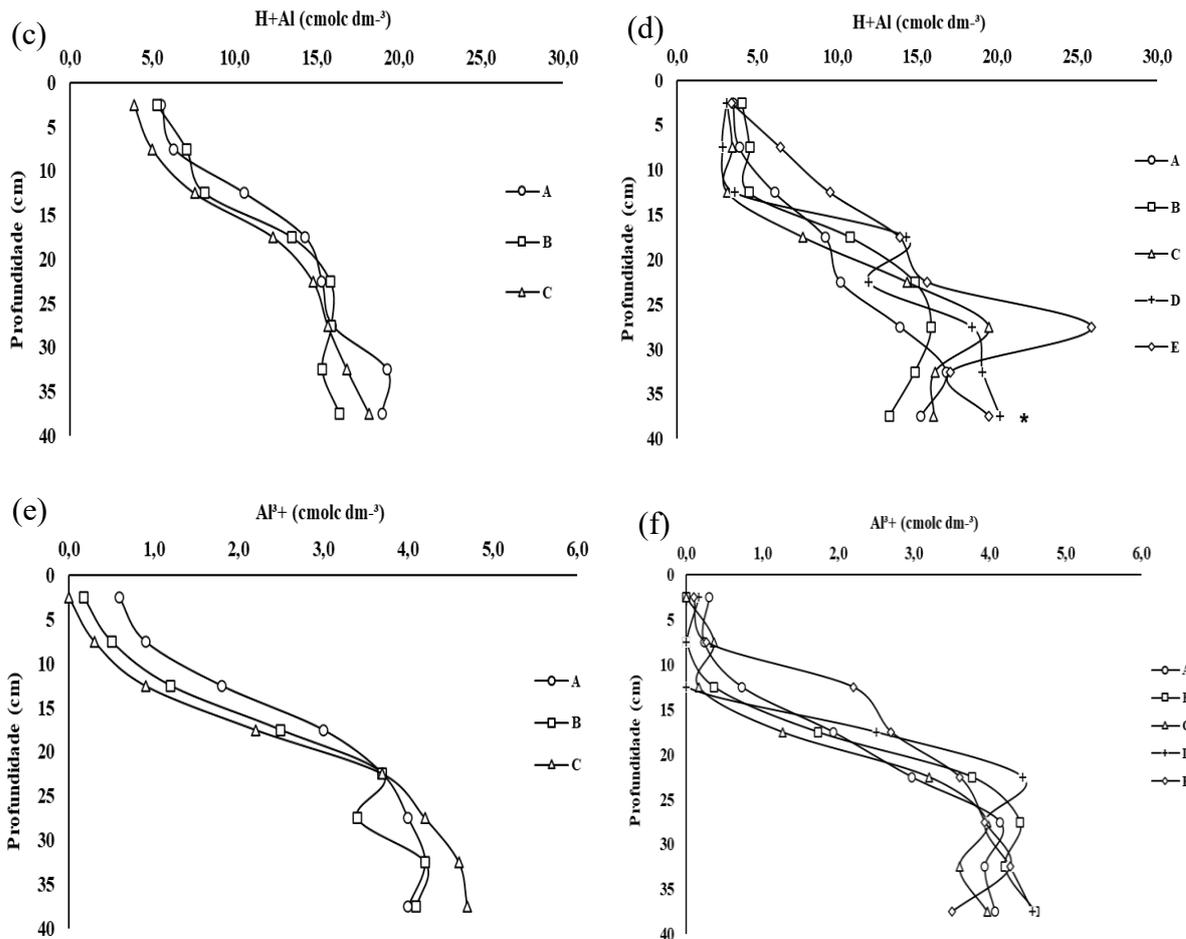
O pH H<sub>2</sub>O apresentou efeitos da adubação de P e K dentro dos modos de aplicação de calcário, na camada 35 – 40 cm (Figura 10a). O pH foi maior aonde a adubação foi com correção de P e manutenção em linha de P e K (C) comparado com a testemunha (A). O H+Al demonstrou efeitos dos modos de aplicação de fertilizantes P e K somente nas parcelas com calcário incorporado, na camada 35 – 40 cm (Figura 10d). Os teores de H+Al com correção de P e manutenção de P e K superficial (B) foi menor comparado com a adubação de correção com

P incorporado e manutenção de P e K em linha (D) e de correção de P incorporado e manutenção de P e K superficial (E).

Os teores de  $H^+Al$  e  $Al^{3+}$  não apresentaram diferenças em função dos modos de aplicação de fertilizantes (Figura 10c e 10e). Esses resultados demonstram pouco conclusivos ainda, devido ao experimento ser de curto prazo ou dois cultivos, além disso, espera-se que a aplicação de fertilizantes fosfatados nos cultivos sucessores aumente a acidez do solo em magnitude pequena, necessitando de tempo para “enxergar” diferenças. Outro fator que faz apresentar poucas diferenças nos valores de pH,  $H^+Al$  e  $Al^{3+}$  inicialmente, é o alto poder tampão deste solo que está correlacionado com o alto teor de MO e argila.

Figura 10 – Efeito dos modos de adubação de P e K no pH  $H_2O$  (a e b), nos teores de  $H^+Al$  (c e d) e teores de  $Al^{3+}$  (e e f) do solo. (a) pH  $H_2O$  em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c)  $H^+Al$  em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (e)  $Al^{3+}$  em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (f) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado.





Onde, \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ). As letras nas legendas das figuras correspondem: em que A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície;

Fonte: autor (2022)

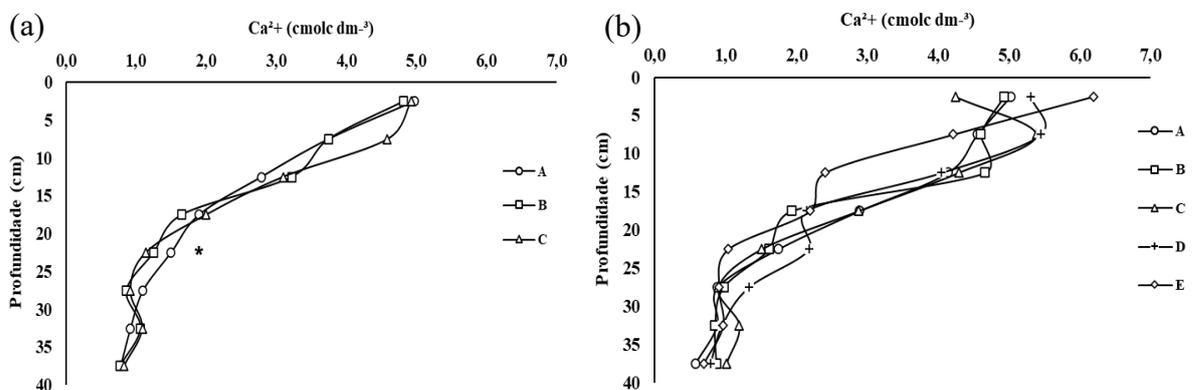
Independente do modo de aplicação analisado, as camadas superficiais de 0 – 15 cm apresentaram teores de  $Al^{3+}$  baixos ou nulo, devido ao pH ser superior a 5,5, entretanto, entretanto, nas camadas subsequentes, principalmente, de 20 – 40 cm, o teor do elemento fitotóxico aumentou linearmente para todos os tratamentos. Esse maior teor  $Al^{3+}$  é devido as dificuldades de correção do solo, pois não há implementos que incorporem o calcário em 20 – 40 cm de profundidade, necessitando que haja migração vertical de calcário, porém esse processo ocorre a longo prazo. Outro fator que pode ajudar a explicar tais resultados, é que comumente em profundidade, nas coletas, encontrava-se resíduos florestais não decompostos totalmente, pressupondo que a liberação dos ácidos orgânicos durante o processo inicial de decomposição pode ter influenciado na acidez do solo. Além disso, segundo Barbosa (2018), o teor de  $Al^{3+}$  é elevado em profundidade, independente do sistema de cultivo, em solos com

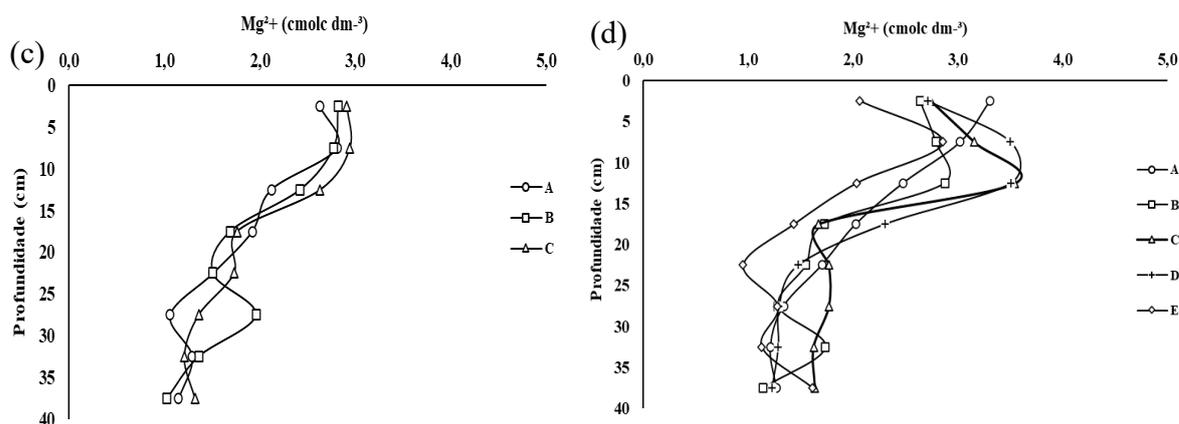
elevado teor de MO. E também, quando adotado o sistema de semeadura direta, a palhada decomposta tende a aumentar o poder tampão do solo, dificultado a variação do pH.

#### 4.2.3 Teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram maiores na testemunha (A) em relação a correção de P e manutenção de P e K em linha (C) na camada de 20 – 25 cm. Para as demais camadas não houve diferença entre as formas de aplicação de fertilizantes, tanto testando em todas as formas de aplicação de calcário (figura 11a) quanto testando na as formas de aplicação de fertilizantes dentro da aplicação incorporada de calcário (Figura 11b). Cabe ressaltar que até a camada 0 – 10 cm, os teores são considerados adequados, mas nas camadas inferiores a essa, são considerados teores médios a baixo. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  analisando os modos de aplicação de fertilizantes, foram semelhantes em todos os tratamentos e em cada camada. Na camada 0 – 10 cm, os teores foram mais elevados em todos os tratamentos, devido a fertilidade construída já ao longo de vários anos com cultivos sucessivos. Mas, quando analisado somente o modo de aplicação incorporado, os tratamentos obtiveram teores de  $\text{Ca}^{2+}$  superiores de até os 15 cm de profundidade, possivelmente, acrescentado pela liberação dos cátions presentes no calcário.

Figura 11 - Efeito dos modos de adubação de P e K nos teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (a e b) e teores de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) (c e d) do solo. (a)  $\text{Ca}^{2+}$  em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado; (c)  $\text{Mg}^{2+}$  em função dos modos aplicação de fertilizantes dentro dos modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (d) comparando os modos de aplicação de fertilizantes somente nas parcelas com calcário incorporado.





Onde, \* = diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ). As letras nas legendas das figuras correspondem: em que A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície;

Fonte: autor (2022)

Já os teores de  $Mg^{2+}$  não apresentaram diferenças entre as formas de adubação de P e K e nem ao modo incorporado ao longo do perfil do solo (Figura 11c e 11d). Analisando os resultados dos modos de aplicação de fertilizantes, os teores de  $Mg^{2+}$  não elevaram comparando com a análise de solo realizada antes da implantação do sistema de semeadura direta, porém, o modo incorporado novamente apresentou teores superiores até os 15 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Bossolani *et al.* (2021) e Pessoni (2012), que demonstram que o acréscimo de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  é possível com aplicação de calcário, sendo que a incorporação traz resultados mais rápidos, pois tem mais área de contato para gerar a solubilização do pó de rocha, ou seja, a adubação não tem interferência nos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ .

Segundo Almeida *et al.* (2005) apud Parize (2012), o comportamento do  $Mg^{2+}$  dependerá do tipo de calcário usado e solo, além da sucessão de cultivos. O  $Ca^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$  possuem propriedades químicas muito similares, como grau de valência, raio iônico, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja uma competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença excessiva de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro. Agronomicamente, a relação 3:1 é a mais aceita entre os profissionais da área (ALMEIDA, 2020).

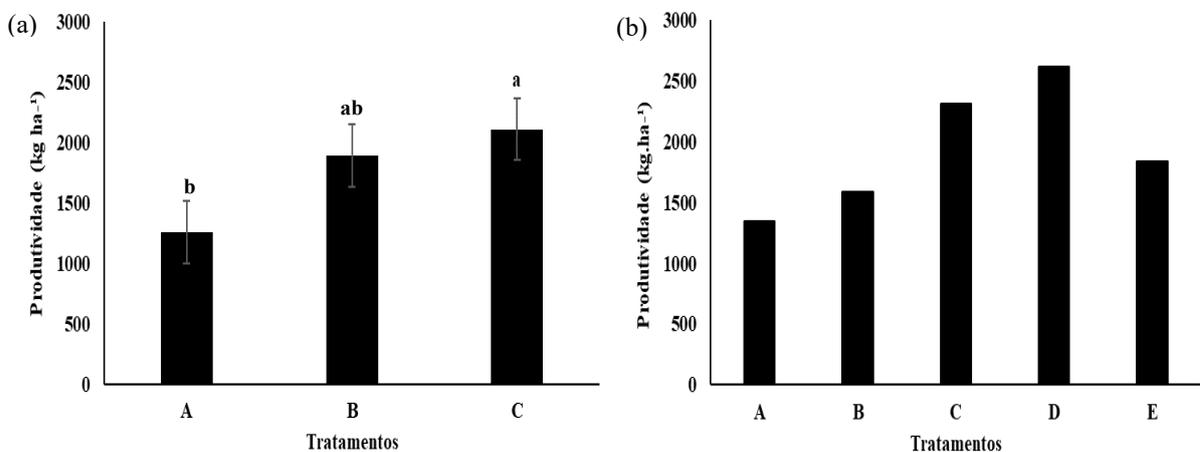
#### 4.2.4 Produtividade do trigo

Os modos de aplicação de fertilizantes de P e K afetaram significativamente a produtividade do trigo (Figura 12a). A correção de P e manutenção de P e K em linha (C) apresentou produtividade superior comparado a testemunha (A). A produtividade com adubação em linha foi de 2111 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para a adubação superficial foi de 1893 kg ha<sup>-1</sup> e sem adubação, 1258 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação em linha incrementou a produtividade em 11,5% em relação a aplicação superficial e em 68% em relação a testemunha.

Quando testado o efeito dos modos de aplicação de fertilizantes P e K somente nas parcelas com calcário incorporado, foi possível observar que não houve efeito sobre produtividade de trigo (Figura 12b). Porém quando o P correção é incorporado no sulco de cultivo ou em profundidade, as médias de produtividade foram superiores a testemunha (A) e com correção de P e manutenção de P e K em superfície (B).

Figura 12 - Produtividade do trigo em sistema de semeadura direta inicial sob efeitos dos modos de aplicação de fertilizantes P e K (superficial, em linha de semeadura e testemunha).

(a) produtividade em kg ha<sup>-1</sup> quando analisado em todos os modos de aplicação de calcário (incorporado, superficial e testemunha) e (b) produtividade em kg ha<sup>-1</sup> quando analisado somente na calagem incorporada.



Onde, as letras em cima da barra (DMS = Diferença Média Significativa) representam a diferença estatística significativa pelo Teste Tukey ( $p < 0,05$ ). As letras nas legendas das figuras correspondem: em que A = sem correção de P e sem adubação de manutenção de P e K; B = correção superficial de P e adubação de manutenção de P e K em superfície; C = correção de P em linha e adubação de manutenção de P e K em linha; D = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em linha; E = correção de P incorporada e adubação de manutenção de P e K em superfície;

Fonte: autor (2022)

O Cambissolo Háptico tem origem proveniente de rochas de basalto, possui altos teores de óxidos de ferro, principalmente, goethita, que adsorvem muito fortemente P pela face do

crystal, deixando-o na forma indisponível ou P não-lábil (VILAR *et al.*, 2010). Neste caso, a adubação em linha deixa o fósforo mais próximo da raiz para ser absorvido, pois diminui a fixação nos óxidos de Fe e Al pela diminuição da área de contato com os mesmos, logo, este tende a ser usado mais facilmente pelas plantas de modo geral, apresentando melhores médias de produtividade em curto prazo.

Cambruzzi (2014) e Ecco *et al.* (2018), evidenciaram que a adubação fosfatada tem grande importância nos índices produtivos do trigo, apresentando as melhores produtividades, quando a dose recomendada é aplicada no solo. O teor de K no solo já era alto, sendo essenciais para funções primordiais da planta, entretanto, segundo Lago (2014), quando os teores são altos de K, a resposta com a adubação potássica na produtividade é menos pronunciada. Observando os resultados, a produtividade média mais alta do trabalho ficou abaixo da média nacional de 2893 kg ha<sup>-1</sup>, o que pode ser explicada pelas condições climatológicas durante a segunda quinzena de setembro e meados de outubro, quando teve elevada precipitação (Figura 2).

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a porosidade total apresentou valores acima dos 50% e densidade do solo foi inferior a  $1,13 \text{ g dm}^{-3}$ . Sendo assim, aparentemente, esse solo não apresenta impedimentos físicos para o crescimento e desenvolvimento radicular em profundidade.

Também foi possível verificar que aplicação de calcário incorporado elevou o pH e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , todavia diminuiu os teores de  $\text{H}^+\text{Al}$ , na camada 0 – 15 cm no perfil do solo (0 – 40 cm). Além disso, a adubação de correção de P e manutenção de P e K em linha incrementou a produtividade do trigo, o que provavelmente pode estar relacionado a maior disponibilidade de P e K próximo das raízes das plantas.

## REFERÊNCIAS

- ABRAÃO, R. **Comparação de atributos químicos e granulometria em solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem no Planalto Serrano de Santa Catarina.** TCC (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, p.55, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/189423>>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- ALMEIDA, K. M. **Características químicas, fisiológicas e produtividade de batata influenciadas pelo magnésio e calagem.** Dissertação de Mestrado – UFV, Viçosa, MG, p. 47, 2020. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/28902/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2022.
- AULER, A. C. **Efeitos de corretivos da acidez do solo associados ao gesso agrícola sobre os atributos físicos e químicos do solo.** Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa, p.143, 2018. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2536/1/Andre%20Carlos%20Auler.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- AULER, A. C.; PIRES, L. F.; PINEDA, M. C. Influence of physical attributes and pedotransfer function for predicting water retention in management systems. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.21, n.11, p.746 - 51, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dJTLFPPnRDZbk5SPTDmGwSz/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- AZADI, A.; BAGHERNEJAD, M. Application of Kinetic Models in Describing Soil Phosphorus Release and Relation with Soil Phosphorus Fractions across Three Soil Toposequences of Calcareous Soils. **Eurasian Soil Science**, v.52, n.7, p. 778 – 92, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1134/S1064229319070019>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- BARBOSA, T. M. **Atributos químicos e frações da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo sob cultivo de cebola (*Allium cepa* L.).** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, p. 87, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/193615/PAGR0416-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. Capítulo 4 – Literatura científica, **SciELO Livros**, Maringá, PR, p.113 – 62, 2018. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/bv3jx/pdf/brandao-9786586383010-06.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2022.
- BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N. F.; SEBEN JR, G. F.; FERBONINK, G. F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Rev. Agric. Neotropical**, Cassilândia, MS, v. 2, n. 3, p.34 – 8, 2015. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/277/680>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

BELLINASO, R. J. S. **Formas de aplicação de fósforo sob calagem incorporada e superficial: efeito na acidez, disponibilidade de nutrientes e resposta de culturas.**

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, p.99, 2019. Disponível em:

<[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22010/DIS\\_PPGCS\\_2019\\_BELLINASO\\_ROQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22010/DIS_PPGCS_2019_BELLINASO_ROQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 16 mai. 2022.

BERGAMIM, A. Compactação do solo em sistemas intensivos de produção. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, SP, n.164, p.12, 2018. Disponível em:

<[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1E1C245FC067BF268325837F00418422/\\$FILE/Page1-12-164.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1E1C245FC067BF268325837F00418422/$FILE/Page1-12-164.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOBRINHO, A. F. S.; CANEPELLE, C.

**Desenvolvimento de plantas de trigo submetidas a adubação fosfatada em Latossolo do Cerrado.** Centro Cientif. Conhecer, Goiânia, GO, v.6, n.11, p.7, 2010. Disponível em:

<<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/desenvolvimento%20de%20plantas.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2022.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. Trigo: do plantio a colheita. **Editora UFV**, Viçosa, MG, p.260, 2015.

BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. **Estabilidade de agregados, retenção hídrica e resistência mecânica a penetração em Cambissolo sob dois modos de aplicação de calcário e gesso.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, RN, p.4, 2015.

Disponível em: <<https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/824.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

BORTOLUZZI, E. C.; PARIZE, G. L.; KORCHAGIN, J.; DA SILVA, V. R.;

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 262 – 71, 2014. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XL7Qb5QP3b6bRcjYSYQjzJp/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; PORTUGAL, J. R.; MORETTI, L. G.; GARCIA, A.; RODRIGUES, V. A. et al. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield.

**European Journal of Agronomy**, v.128, p.13, 2021. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030121000800>>. Acesso em: 05 jun. 2022.

CAI, H.; MA, W.; ZHANG, X.; PING, J.; YAN, X.; LIU, J.; REN, J. Effect of subsoil tillage depth on nutrient accumulation, root distribution, and grain yield in spring maize, **Crop Journal**, v.2, n.5, p.297–307, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514114000361#:~:text=The%20results%20indicated%20that%20subsoil,nutrient%20accumulation%2C%20and%20increased%20yield.>>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, Ponta Grossa, PR, v. 66, p.41 – 53, 2015. Disponível em: <[https://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/marcelo\\_muller\\_caires2015.pdf](https://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/marcelo_muller_caires2015.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2022.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **Informações Agrônomicas**, n.154, p.17 – 21, 2016. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/issue/IA-BRASIL-2016-154>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

CAMBRUZZI, A. J. **Resposta da cultura do trigo à adubação de base com doses crescentes de nitrogênio e fósforo com sementes coinoculadas com *Rizobactérias***. Tese de Conclusão de Curso (Agronomia), UFFS – Campus Laranjeira do Sul, RS, p.46, 2014. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/110/1/CAMBRUZZI.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2022.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. **Relação entre matéria orgânica e argila com o poder tampão de saturação por bases de diferentes solos de Minas Gerais**. XXXIV CBCS - SBCS, Florianópolis, SC, p.4, 2013. Disponível em: <<https://www.sbc.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2230.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Rev. Trópica**, v.6, n.1, p.6, 2012. Disponível em: <<https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/344>>. Acesso em: 21 jun. 2022.

CASTRO, G. F.; MOREIRA, S. G.; SOUSA, S. S.; VITOR, C. M. T. Adubação fosfatada a lanço em culturas anuais sob sistema de semeadura direta. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 4, p. 117 – 29, 2016. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/17000/1/artigo.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CLIMATE-DATA. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2022. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/curitibanos-28590/>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIZADE DO SOLO (CQFS – RS/SC). Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11.ed., **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul**, p.376, 2016.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, n.36, p. 895 – 907, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/f3BQJ6NP6fFbtXhZ6zfqWkH/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E.; ROSA, A. C. **Informações Técnicas para Trigo e Triticale - Safra 2016**. Biotrigo Genética, Passo Fundo, RS, p.228, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355291/1729833/Informacoes+Tecnicas+Trigo+e+Triticale+Safra+2016.pdf/12cba90b-6483-4e41-b95e-089a06451f61>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

DEUS, A. C. F. **Aplicação de corretivos de acidez do solo na implantação do sistema plantio direto**. Tese de Doutorado – UNESP, Botucatu, SP, p.112, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/110936/000800310.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.32, n.1, p.2653 – 9, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/yC9stDHF4VzxKgLCsZnQ3Wj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

DOS SANTOS, R. D.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Rev. Ciênc. Rural**, v.38, n.2, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/CGKVc6BnjKqMGzf38RmCpDb/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

ECCO, M.; DUARTE, R. P.; POTTKER, V. L.; REUTER, R. J.; LENHARDT, V. L.; ROCHA, H. G. A.; MULLER, A. L. Adubação potássica em cobertura na cultura do trigo. **Rev. Cultivando o Saber**, v.9, n.3, p. 316 – 29, 2018. Disponível em: <[https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando\\_o\\_saber/5b97c48545aaf.pdf](https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/5b97c48545aaf.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2022.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed., Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, v.1, p. 99-200, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104933/1/Manual-de-Mtdos-de-Anilise-de-Solo.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2.ed., Lages, SC, **Departamento de Solos e Recursos Naturais – CAV/UDESC**, p.256, 2016.

FIDALSKI, R. Y. J.; TORMENA, C. A. A incorporação de calcário em sistema plantio direto consolidado reduz o estoque de carbono em macroagregados do solo. **Rev. Ciên. Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.1962 – 5, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/tH4VpgNGxy6yGQxzQhRXTZJ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FERRAZ, F. S.; COELHO, C. J.; MATIELLO, R. R. Caracterização fenotípica de linhagens de trigo quanto à tolerância ao alumínio em solução mínima. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.10, p. 78996 – 79008, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/18371/14830>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

FIRMANO, R.F. **Efeito residual da adubação potássica nas formas do nutriente do solo**. Piracicaba, SP, p.120, 2017. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-07062017-090108/publico/Ruan\\_Francisco\\_Firmano\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-07062017-090108/publico/Ruan_Francisco_Firmano_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2021.

FURMAM, F. G. **Desenvolvimento e produtividade do trigo em função da inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal**. Dissertação de Mestrado – Universidade

Estadual de Ponta Grossa (UEPR), Ponta Grossa, PR, p.59, 2019. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2897/1/Fernanda%20de%20Goes%20Furmam.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

GOMES, M. T; SILVA, A. A. P; MATIAS, J. P; MACIEL, C. D. G; KARPINSKI, R. A. K. **Germinação de sementes de milho com e sem aplicação de acetato de zinco em diferentes profundidades de semeadura.** Campo Digital, Campo Mourão, v. 11, n. 1, p.33-41, 2016. Disponível em: <<https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/2069/793>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. **Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo.** Irriga, Botucatu, v.17, n.3, p.337 – 45, 2012. Disponível em: <<https://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/333/294>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

GONZATTO, R. **Aplicação superficial de calcário: até onde migram e até quando persistem os efeitos no perfil do solo?.** Dissertação de Mestrado – UFSM, Santa Maria, RS, p.62, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5626/GONZATTO%2c%20RENAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Rev. Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.35, n.4, p.643 – 8, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/S6twbhrKTLZKf8yXvqdgwmr/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

JULIO, O. L. L.; ASCARI, J. P.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; DUARTE, W. M.; NIED, A. H. **Methods of potassium fertilization and yield in soybean crop.** Dourados, MS, v.9, n.32, p. 149 – 55, 2016. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4004/3648>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

LAGO, B. C. **Eficiência de uso do K em razão do sistema de adubação na rotação aveia-milho.** Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba, p.40, 2014. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-21032014-103624/publico/Bruno\\_Cocco\\_Lago\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-21032014-103624/publico/Bruno_Cocco_Lago_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2022.

LANGE, A.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M. V.; FREDDI, O. S. Relações cálcio:magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Rev. Nativa**, Sinop, MT, v.9, n.3, p. 294 – 301, 2021. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/11526/8325>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

LANGE, A.; ZANDONADI, R. S.; GOBBI, F. C. Distribuição horizontal da fertilidade do solo em sistemas de tráfego controlado com fertilização em linha. **Rev. Nativa**, Sinop, MT, v.7, n.3, p.251 – 5, 2019. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7639/5588>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2.ed., **Oficina de textos**, São Paulo, SP, p.218, 2016. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/vese0e>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

LIEBERT, S. H. **Manejo de adubação fosfatada para a cultura da soja em solo argiloso**. TCC (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Palotina, p.30, 2017. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/62240/TCC-SAMUEL%20versao%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

LIMA, T. M.; COUTO JR, P. A.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, M. A. V. G. **Manejo da adubação fosfatada na cultura da soja em diferentes arranjos de plantio**. UFU, Uberlândia, MG, p.4, 2015. Disponível em: <<http://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1402.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

LOS GALETTO, S. **Eficiência da adubação fosfatada influenciada pela aplicação de gesso agrícola em sistema de plantio direto**. Tese de Doutorado – UEPG, Ponta Grossa, PR, p. 201, 2016. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2299/1/Shively%20%20Galetto.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.9, n.1, p.9 – 19, 2010. Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PBMBmwsZFv4J:https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/download/5281/3491/0+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

MAZZUCO, V. **Comportamento morfofisiológico e produtivo de plantas de trigo em função da densidade de semeadura e retirada dos perfilhos**. TCC (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, p.42, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197765/TCC\\_Volni%20Mazzuco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197765/TCC_Volni%20Mazzuco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 29 mar. 2022.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H. **Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico**. Uberlândia, MG, v.27, n.1, p.70-6, 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7389/6843>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

MARIN, R. S. F.; BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; ZIMMER, P. D. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.62, n.3, p. 265 – 74, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/hZ6ksnbgKzqMFJSpZx8xBNP/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

MIGUEL, P.S.B; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de

tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. Juiz de Fora, **Rev. CES**, v.24, p.20, 2010. Disponível em:

<[https://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2010/01\\_BIOLOGIA\\_efeitodoaluminio.pdf](https://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2010/01_BIOLOGIA_efeitodoaluminio.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2022.

NARIMATSU, K. C. P.; DE MELLO, L. M. M.; DOMINGUES, L. A. S.; CHIODEROLI, C. A.; LIMA, R. C. Corn productivity in function of surface application of lime in different management systems and cultural preparation. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.254 – 62, 2014. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/eagri/a/RPnPKqJzctpdf66hV9n9Zbq/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, SP, v.34, n.4, p.12, 2012. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbf/a/syV3RhMzvTz5Hhq6WBQ5JxD/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 02 mar. 2022.

NOBILE, F. O.; FARINELLI, R.; KFOURI JR, F.; PESSI, G. H. P. Aplicação de calcário em superfície: estudo da influência nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico sob o cultivo de cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Multidisciplinar**, v.20, n.2, p.99 – 106, 2017. Disponível em: <<https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/378>>.

Acesso em: 20 abr. 2022.

PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em Minas Gerais. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.39, p.725 – 36, 2015. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/qGdNQ56LPxprHN5CwrX4gHQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

PARIZE, G. L. Propriedades químicas e físicas de um Latossolo argiloso afetadas por diferentes tipos e formas de aplicação de calcário. Dissertação de Mestrado – UPF, Passo Fundo, RS, p.89, 2012. Disponível em:

<<http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/537/1/2012GuilhermeLuizParize.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2022.

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

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/w6NzxQcRXdhpVNgwnBbrq5B/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

PEREIRA, L. C.; PIANA, S. C.; BRACCINI, A. L.; GARCIA, M. M.; FERRI, G. C.; FELBER, P. H. et al. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Rev. Cienc. Agrárias**, v.40, p.105 – 13, 2017. Disponível em:

<<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fAieUeTOeVMJ:https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16433+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PEREIRA, M. G.; ARAÚJO, A. L. S.; DORTZBACH, D.; TAVARES, O. C. H.; SILVA NETO, E. C. Estimativa da acidez potencial através do método do pH SMP em solos de altitude de Santa Catarina. **Rev. Agropec. Catarinense**, v.33, n.1, p. 50 – 5, 2020. Disponível em: <<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/531/706>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

PESSONI, P. T. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale**. Dissertação (Mestrado) – IAC, Campinas, SP, p. 109, 2012. Disponível em: <<http://www.iac.agricultura.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/pb1212210.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2022.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p. 1441 – 8, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/7716>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

RAFAIN, E. F.; GUBIAN, J. E.; DA ROSA, D. P.; NUNES, A. L. Correlation between sowing and fertilizer application systems and weeds in soybean crops. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v.33, n.2, p.281 – 86, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/tFkX8dg7WsPp6Nt3mG5htGx/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Journal Geoderma**, v.313, p.7-16, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117302781?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

RICARDI, A. C.; KOSZALKA, V.; LOPES, C.; EURICH, K.; MULLER, M. M. L. **Acidez do solo em função de níveis de calagem em sistema plantio direto**. VI RPCS, Ponta Grossa, PR, p. 4, 2019. Disponível em: <[https://www.rpcs2019.com.br/trabalhos\\_aprovados/arquivos/04212019\\_180410\\_5cbcd8e4687a.pdf](https://www.rpcs2019.com.br/trabalhos_aprovados/arquivos/04212019_180410_5cbcd8e4687a.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2022.

ROCHA, M. S.; PEGORARO, R. F.; DIAS, D. G.; MEDEIROS, A. C.; GODINHO, L. F.; ARAÚJO, F. D. et al. **Efeito da adubação com proporções de nitrogênio e potássio na acidez potencial de solo cultivado com maracujazeiros**. FEPEG, p.3, 2014. Disponível em: <[http://www.fepeg2014.unimontes.br/sites/default/files/resumos/arquivo\\_pdf\\_anais/resumo\\_h al.pdf](http://www.fepeg2014.unimontes.br/sites/default/files/resumos/arquivo_pdf_anais/resumo_h al.pdf)>. Acesso em: 08 mai. 2022.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em Sistema Plantio Direto. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.39, p.1723 – 36, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/mVLVQbkYfGzrwhcDX4WPSXn/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**,

Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27 – 32, 2011. Disponível em:  
<<https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/11060>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

SALGADO, A. A. B. B. **Efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo-soja em sistema plantio direto.** Dissertação de Mestrado – UEPG, Ponta Grossa, PR, p.51, 2017. Disponível em:  
<<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2562/1/Adlliz%20Salgado.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

SANTOS, J. M. B.; SILVA, L. C. V.; DUARTE, J. C. S.; DOS SANTOS, G. A. M.; OLIVEIRA, E. S. Avaliação do teor de alumínio trocável e saturação por alumínio em diferentes usos e cobertura do solo. **II COINTER (Congresso Internacional das Ciência Agrárias) – PDVAGRO**, p. 5, 2017. Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/publication/326546126\\_AVALIACAO\\_DO\\_TEOR\\_DE\\_ALUMINIO\\_TROCAVEL\\_E\\_SATURACAO\\_POR\\_ALUMINIO\\_EM\\_DIFERENTES\\_USOS\\_E\\_COBERTURA\\_DO\\_SOLO](https://www.researchgate.net/publication/326546126_AVALIACAO_DO_TEOR_DE_ALUMINIO_TROCAVEL_E_SATURACAO_POR_ALUMINIO_EM_DIFERENTES_USOS_E_COBERTURA_DO_SOLO)>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SILVA, M. R. **Aplicação superficial de calcário e gesso em sistemas integrados de produção agropecuária.** Tese de Doutorado – UFPR, Curitiba, p. 87, 2016. Disponível em  
<<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43206/R%20-%20T%20-%20MARCIELA%20RODRIGUES%20DA%20SILVA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SiBCS). 5.ed. Brasília, DF, **Embrapa Solos**, p.598, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SOUZA, E. B.; RODRIGUES, M. S., LIMA, A. M. N.; CUNHA, J. C.; DA SILVA, K. A.; OLSZEWSKI, N. et al. Índices de compactação na comparação de sistemas de usos do solo com diferentes composições granulométricas. Buenos Aires, **Rev. Cienc. Solo**, v.37, n.1, p.173 – 7, 2019. Disponível em:  
<[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672019000100016&lang=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672019000100016&lang=pt)>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SOUZA, R.G.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Produção de trigo no Brasil: indicadores regionais e políticas públicas. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Brasília, DF, p.41, 2020. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10315/1/td\\_2608.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10315/1/td_2608.pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2022.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, RS, p.170, 1995. Disponível em:  
<<https://pt.scribd.com/doc/41082320/Tedesco-et-al-1995>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

TEIXEIRA, H. R. S.; LIMA, E. A.; MIELEZRSKI, F.; DA SILVA, A. F.; DE OLIVEIRA, A. M. Efeito da profundidade de adubação e semeadura na cultura do milho. **Rev. Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, SP, v.27, n.1, p.91-100, 2018. Disponível em:  
<<https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2018v27n1p91-100/1857>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

TEIXEIRA, P. C.; MESQUITA, I. L.; MACEDO, S. T.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, W. A. A. Resposta de vetiver à aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental**, Campinas, SP, v.19, n.2, p.99 – 105, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/hSxjtZCMBxMzWs54XZDqFXc/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

TOMELERO, V. J.; SCHMITD, F.; DE BONA, F. D. Estado nutricional e produtividade da soja após a aplicação de calcário e gesso agrícola com e sem revolvimento do solo. **Embrapa Trigo**, Capítulo 10 – Livro científico, p.107 – 14, 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1120819/1/Capitulo10.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2022.

TRALAMAZZA, S. M.; BEMVENUTI, R. H.; ZORZETE, P.; GARCIA, F. S.; CORRÊA, B. Fungal diversity and natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in freshly harvested wheat grains from Brazil. **Food Chemistry**, v.196, p.445 – 50, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615014065>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, I.; ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.37, p. 188 – 98, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Xs3CXkkc4SY8tYhGZXv8rYt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.34, p.1059 – 68, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/R3YbsScFq8KbrqTbNv8mm8r/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do Cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.28, p. 256 – 65, 2012. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13277/8371>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; SANTI, D. C.; SÁ, N. O.; ARAÚJO, L. L. **Correction of soil acidity with shell lime and dolomitic limestone in a Latossolo Vermelho distrófico in Paraná state, Brazil**. IDESIA (Chile), v.39, n.1, p.6, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v39n1/0718-3429-idesia-39-01-53.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. **Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em latossolo sob sistema plantio direto**. Bragantia, Campinas, v.66, n.3, p.487 – 95, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/8mcmYHKS5QcnCbrTwq9XvzN/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

ZUCARELI, C.; BARZAN, R. R.; DA SILVA, J. B.; CHAVES, D. P. Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.65, n.2, p.189 – 95, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/93Dx8c5L5KmWBXdfQPYLCSN/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 09 jun. 2022.