

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM SÃO LUIZ GONZAGA
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

GILMAR LUNARDI FERREIRA

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS NA REGIÃO DAS MISSÕES DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

São Luiz Gonzaga, RS 2022

GILMAR LUNARDI FERREIRA

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO NA REGIÃO DAS MISSÕES DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo pela Universidade
Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marta Sandra Drescher
Coorientador: Dr. Fábio Evandro Grub
Hauschild

**São Luiz Gonzaga, RS
2022**

F383d Ferreira, Gilmar Lunardi.

Diagnóstico da fertilidade dos solos na região das missões do estado do Rio Grande do Sul / Gilmar Lunardi Ferreira. – São Luiz Gonzaga, 2022.

36 f.

Orientadora: Prof. Dra Marta Sandra Drescher.

Coorientador: Dr. Fábio Evandro Grub Hauschild.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Unidade universitária em São Luiz Gonzaga, 2022.

GILMAR LUNARDI FERREIRA

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS DA REGIÃO DAS MISSÕES DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo pela Universidade
Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Marta Sandra Drescher
Coorientador: Dr. Fábio Evandro Grub
Hauschild

Aprovada em: 08/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Marta Sandra Drescher
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof Dr Eduardo Lorensi de Souza
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof Dr Marciel Redin
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

São Luiz Gonzaga, RS 2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em especial à minha filha, Maitê Martins Lunardi, minha mãe, Maria Ines Lunardi, minha noiva, Suelen Martins, meu sobrinho, Fernando Lunardi e minha irmã, Cláudia Lunardi (in memoriam) pela dedicação e apoio para a conclusão de meus estudos e preparo para a vida.

Gostaria de agradecer também à minha professora Marta Sandra Drescher, pelo seu empenho e dedicação profissional com a orientação desse trabalho, no qual com muita paciência foi fazendo os ajustes necessários ao longo das orientações.

Aos meus colegas e amigos da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, pelos anos onde batalhamos juntos para um sonho em comum onde compartilhamos risadas, suor e grandes emoções.

Gostaria também de agradecer aos colaboradores da empresa Coopatrigo, pelo fornecimento de material para a pesquisa, apoio, incentivo, conhecimento e experiências. Guardo comigo cada momento que estive presente na empresa.

Por fim gostaria de agradecer aos professores da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, pelo apoio e dedicação para formar grandes profissionais para atuarem junto a sociedade e também formarem seres humanos com honra e caráter para a vida.

RESUMO

O avanço da produtividade das culturas agrícolas aumenta a demanda e a extração de nutrientes, afetando os atributos químicos e modificando a fertilidade do solo. Na Região das Missões do estado do Rio Grande do Sul, os solos, principalmente latossolos são cultivados em sua maioria com *commodities* como soja, milho e trigo, as quais são exigentes em fertilidade para expressão da produtividade. Baseado na necessidade de conhecer o cenário da fertilidade do solo deste importante região agrícola, utilizou-se os relatórios das análises de solo do Laboratório de Análise de Solo da Coopatrigo de São Luiz Gonzaga para fazer um diagnóstico da fertilidade do solo da região de abrangência da Coopatrigo. A pesquisa baseou-se num total de 17548 amostras realizadas entre 2018 a 2021. Os resultados dos laudos de análise foram agrupados de acordo com os parâmetros acidez, teor de matéria orgânica, classes de disponibilidade de macro e micronutrientes. Constatou-se que os solos são predominantemente ácidos, com médio teor de matéria orgânica, com disponibilidade de micronutrientes, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na classe alta. Entretanto, o teor de enxofre mostrou-se inferior ao recomendado para leguminosas como a soja em 36% das amostras analisadas.

Palavras-chave: Fertilidade. Solo. Química do solo.

ABSTRACT

The advance in the productivity of agricultural crops increases the demand and the extraction of nutrients, affecting the chemical attributes and modifying the fertility of the soil. In the Missões Region of the state of Rio Grande do Sul, the soils, mainly latosols, are mostly cultivated with commodities such as soybean, corn and wheat, which are demanding in fertility for the expression of productivity. Based on the need to know the soil fertility scenario of this important agricultural region, the soil analysis reports from the Soil Analysis Laboratory of Copatrigo de São Luiz Gonzaga were used to make a diagnosis of soil fertility in the region covered by the co-patrigo. The research was based on a total of 17548 samples carried out between 2018 and 2021. The results of the analysis reports were grouped according to the parameters acidity, organic matter content, macro and micronutrient availability classes. It was found that the soils are predominantly acidic, with a medium content of organic matter, with availability of micronutrients, potassium, calcium, magnesium and sulfur in the high class. However, the sulfur content was lower than that recommended for legumes such as soybeans in 36% of the analyzed samples.

Keywords: Fertility. Ground. Soil chemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização do solo do Rio Grande do Sul, com base nos dados do IBGE (1973).	14
Figura 2 - Municípios de abrangência da Copatrigo. (São Luiz Gonzaga, 2021)	18
Figura 3 - Representação esquemática do estabelecimento das classes de fertilidade do solo em função da relação entre o teor do nutriente no solo e o rendimento relativo das culturas. Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC	20
Figura 4 - Classes de pH do solo: extremamente ácido, muito ácido, ácido, pouco ácido e aproximadamente neutro para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de Análises do Solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021..	24
Figura 5 - Dose de calcário PRNT 100% a aplicar por hectare conforme amostras de solo oriundas da região fisiografica das Missões-RS, e analisadas no Laboratório de solos da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.	25
Figura 6 - Classes de disponibilidade de fósforo no solo: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões e analisadas no laboratório de análises de solo da coopatrigo no período de 2018-2021.....	26
Figura 7 - Classes de disponibilidade de potássio no solo: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões RS e analisadas pelo Laboratório de análises de solos da coopatrigo no período de 2018 a 2021	28
Figura 8 - Teor de matéria orgânica no solo: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises do solo da coopatrigo no período de 2018 a 2021.	29
Figura 9 - Classes de disponibilidade de cálcio (a) e magnésio (b) no solo: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.....	30
Figura 10 - classes de disponibilidade de enxofre: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da coopatrigo no período de 2018 a 2021.	31
Figura 11 -Classes de disponibilidade dos micronutrientes: cobre (a), zinco (b), boro (c) e manganês (d): baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Interpretação das classes de disponibilidade do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila para as culturas do Grupo 2 (culturas de grãos, exceto arroz irrigado; hortaliças, exceto as do Grupo 1: pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1).....	21
Tabela 2 - Interpretação das classes de disponibilidade do teor de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme a CTCpH 7,0 do solo para as culturas do Grupo 2 (culturas de grãos; pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1: pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1).....	22
Tabela 3 - Classes de disponibilidade dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo.	22
Tabela 4 - Classes de disponibilidade dos micronutrientes cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn) do solo.	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	MISSÕES GAÚCHAS	13
3.2	FERTILIDADE DO SOLO	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	ACIDEZ DO SOLO	19
4.2	MATÉRIA ORGÂNICA	20
4.3	FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K)	20
4.4	CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg) E ENXOFRE (S)	22
4.5	MICRONUTRIENTES: COBRE (Cu), ZINCO (Zn), BORO (B) E MANGANÊS (Mn)	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.2	DOSE DE CALCÁRIO PRNT 100%	25
5.3	ANÁLISE DO TEOR DE FÓSFORO	26
5.4	ANÁLISE DO TEOR DE POTÁSSIO	27
5.5	ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	29
5.6	ANÁLISE DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO	30
5.8	ANÁLISE DO ENXOFRE	31
5.7	MICRONUTRIENTES	32
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de *commodities* agrícolas devido às condições climáticas favoráveis e à extensão de terras para a prática da agricultura. Investimentos em tecnologia e assistência técnica tem contribuído para avanços significativos na gestão de insumos e o aumento em pesquisa relacionadas ao melhoramento genético e a adaptação de equipamentos e exploração de novos mercados, incentivando o desenvolvimento econômico e o desenvolvimento do meio agrícola (TEIXEIRA, 2021).

O agronegócio contribuiu para o avanço da economia brasileira e apresentou crescimento de 24,31% no ano de 2020, comparado com 2019, com uma porcentagem de contribuição de 26,6% no Produto Interno Bruto 6,1% a mais do que em 2019 (TEIXEIRA, 2021), 6,6% a mais do que em 2018. Dentro do agronegócio, o segmento de insumos cresceu 5,17% no período de 2019 e 2020 (BARROS, 2021). Esse crescimento se deve ao aumento no consumo de corretivos fertilizantes, devido à expansão produtiva no período da safra 2019/2020 (TEIXEIRA, 2021).

O uso de fertilizantes serve para fornecer nutrientes ao solo, visando o aumento da produtividade agrícola, seja na forma minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, a fim de suprir a carência nutricional dos solos (FAQUIN, 2005). Esta carência ocorre devido às variações decorrentes do manejo intenso, em que as plantas extraem os nutrientes do solo, somando-se às perdas decorrentes da lixiviação, erosão eólica e hídrica, percolação, ausência de práticas de manejo adequadas, às quais somadas afetam a dinâmica dos nutrientes do solo, comprometendo a sua fertilidade (FERREIRA et al., 2009; CASTILHOS et al., 2004).

Conhecer a fertilidade de solo contribui para ganhos em produtividade das culturas agrícolas, diminuindo os custos de produção, melhora na utilização de recursos externos, tais como corretivos e fertilizantes, diminui a degradação do solo, minimiza os impactos ambientais pela transferência de fertilizantes para os cursos de água e mananciais e contribui, no aspecto social, com a melhoria da qualidade de vida das famílias dependentes da agricultura (SANTOS et al., 2008).

Em anos cuja distribuição hídrica e a radiação solar são bem distribuídas as condições de fertilidade dos solos tornam-se um fator chave para o desempenho das atividades agrícola, uma vez que estes fatores podem ser controlados (AMADO et al., 2009). Assim, a pesquisa agrícola se torna oportuna devido aos impactos que podem ser gerados positivamente em termos de produtividade das culturas, melhoria das condições do solo, limitações no desenvolvimento

radicular, formação gradiente de concentração de nutrientes, correção do solo e perdas por lixiviação (STRECK, 2018; MARTINAZZO, 2006).

Nesse contexto, o presente trabalho de conclusão de curso propõe a realização de um diagnóstico da fertilidade do solo na região fisiográfica denominada como Região das Missões do estado do Rio Grande do Sul. Esta região caracteriza-se como uma importante região agrícola do estado gaúcho, especialmente com culturas como a soja e milho durante a safra de verão e aveia-branca com a finalidade de produção de grãos e aveia-preta, que serve como planta de cobertura do solo, nas safras de inverno, além de pastagens (CHERUBIN et al., 2015).

Para a Região das Missões Gaúcha, o panorama de fertilidade dos solos torna-se um instrumento de gestão das propriedades rurais, contribuindo no estabelecimento de estratégias de controle da acidez e para o manejo da fertilidade do solo. Assim, o estudo das informações contidas nas amostras de solo da Coopatrigo contribui para a geração de informações regionais relacionadas à fertilidade dos solos da região das Missões, proporcionando uma economia de recursos com uma possível realização de estudo regional relacionado à fertilidade de solos. O estudo também serve como parâmetro orientador no desenvolvimento de políticas públicas, baseado na compreensão das informações que vem ao auxílio de produtores, cooperativas e associações de produtores e pecuaristas, empresas, instituições de ensino e pesquisa, bem como o governo, na tomada de decisão relacionado à gestão agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fazer um diagnóstico da fertilidade do solo da região das Missões por meio das análises de solo no período de 2018 a 2021.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conhecer a situação geral da fertilidade dos solos na região das missões do RS.

Conhecer a acidez do solo e a necessidade de calagem no solo.

Determinar as classes de disponibilidade de macro e micronutrientes no solo.

Conhecer e avaliar as taxas de matéria orgânica no solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MISSÕES GAÚCHAS

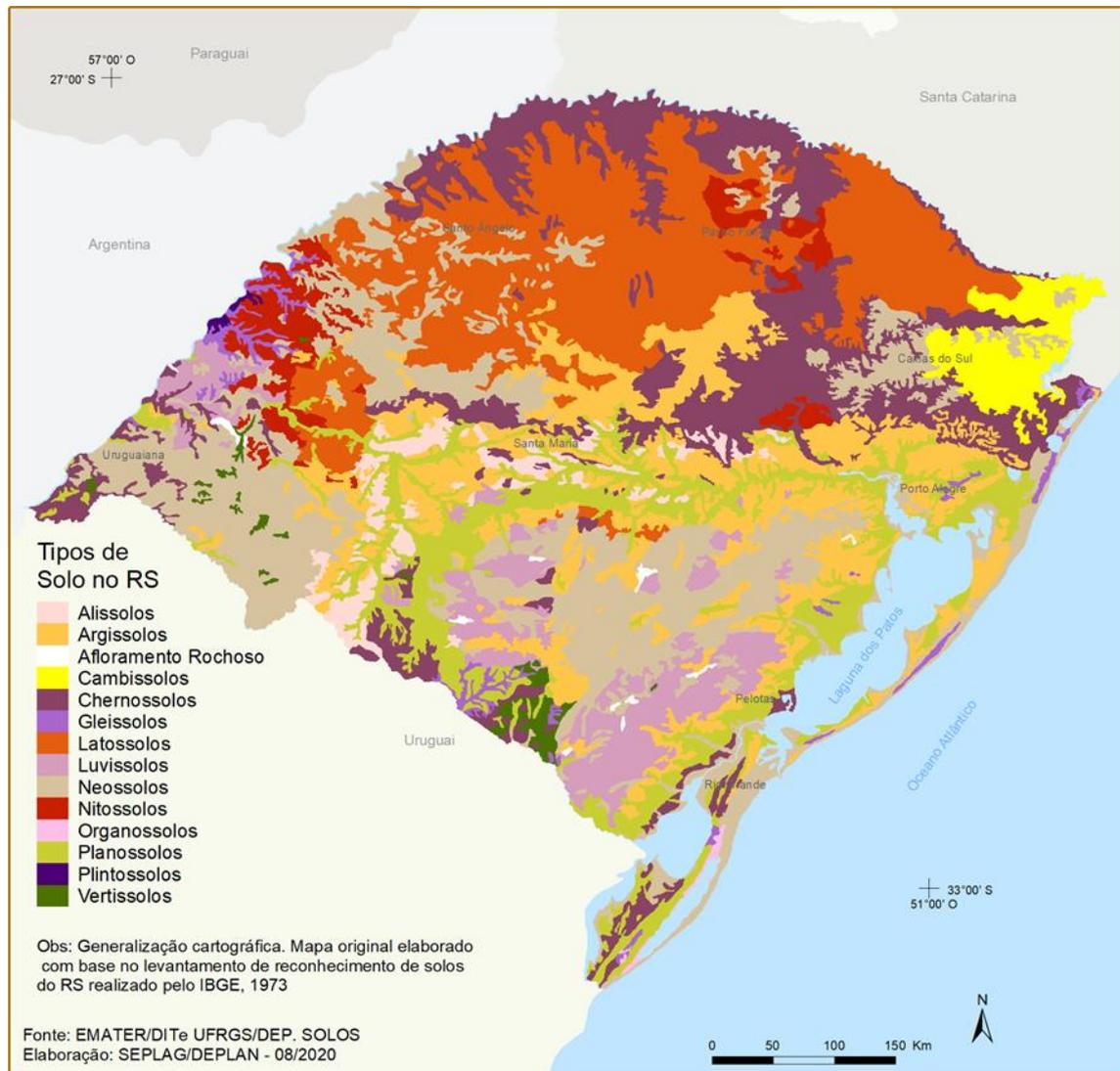
As Missões Gaúchas encontram-se na porção noroeste do Rio Grande do Sul, compondo o Corede Missões, com 25 municípios, ocupando 12.855,5Km² de extensão territorial, com o desenvolvimento econômico baseado na economia agrícola, devido à existência de clima e condições de solo e sua fertilidade estarem propícia ao desenvolvimento de cultivos (UTZIG, 2018).

As Missões abrangem o clima subtropical com primavera úmida (ST PU), segundo as classificações de Maluf (2000), com temperatura média anual de 18,1°C, O volume pluviométrico anual oscila próximo a 1.919 mm (CHERUBIN et al., 2015), com mínimas próximas de 0°C e máximas próximas aos 50°C (MORENO, 1961).

A geomorfologia da região caracteriza-se pelo planalto das Missões, cujas condições topográficas da região se caracterizam por terrenos levemente ondulados, bem como regiões de coxilhas e extensas áreas de várzea na porção oeste, com vegetação natural de campos sulinos, em que cultivam pastagens e campos nativos (CHERUBIN et al., 2015). No Oeste do Estado encontra-se a região das Missões, delimitada a Leste com o Planalto médio, ao norte com o alto Uruguai, ao sul com a campanha e a oeste com o Rio Uruguai. Os materiais de origem que formam a litologia são rochas basálticas e seus sedimentos (STRECK et al., 2018).

Os solos dominantes nas Missões são Latossolos Vermelhos Distrofóricos (Unidade de mapeamento Santo Ângelo) que se estendem de Santo Ângelo para Bossoroca, Santo Antônio das Missões, São Nicolau e Guarani das Missões. No trajeto de Santo Antônio das Missões e São Borja predominam Nitossolos Vermelhos Distrofóricos (Unidade de mapeamento São Borja) nas coxilhas associados com Luvisolos Aplicos Pálicos plinticos (Unidade de mapeamento Virgínia) situados em cotas mais baixas, que se estendem para o Norte até Guarulhos e até ao sul de Itu. Ao sul de Santo Antônio das Missões e a oeste de Bossoroca a grandes extensões de Neossolos Regolíticos Eutróficos e afloramento de rocha, com presença de Vertissolos Ebânicos nas partes baixas da paisagem (STRECK et al., 2018), conforme mostra as áreas com traços em laranja escuro (Figura 1).

Figura 1 - Caracterização do solo do Rio Grande do Sul, com base nos dados do IBGE (1973).



Fonte: SEPLAG/DEPLAN (2020)

A vegetação da região é caracterizada predominantemente por estepes, quanto o bioma é típico de Mata Atlântica. Sobre as coxilhas encontram-se estepes, campos e florestas de galeria nos vales, enquanto que nas áreas mais baixas do planalto são cobertas pelas florestas estacionais decíduas (UBIRATÃ, 2019).

Em relação aos cultivos, na região das Missões Gaúchas, tem-se soja e milho durante a safra de verão e aveia-branca com a finalidade de produção de grãos e aveia-preta, que serve como planta de cobertura do solo, nas safras de inverno, além de pastagens (CHERUBIN et al., 2015).

Como meta para a expansão da produtividade dessas culturas na Região das Missões, deve-se fomentar políticas públicas de investimentos e pesquisas, as quais visam à produção sustentável, baseada em estratégias para combater a baixa fertilidade de áreas improdutivas,

como por exemplo, programas de melhoramento de pastagens e áreas degradadas, disponibilidade de assessoria técnica, incentivo ao uso de forragem de solo, crédito rural e incentivo à tecnificação e qualidade de vida nas propriedades rurais (VIEIRA FILHO, 2019).

Paye (2018) descreve a importância em novos investimentos para melhoria das condições de vida e desempenho produtivo no meio rural, principalmente àquelas relacionadas ao manejo da fertilidade dos solos, sendo a interpretação precisa dos padrões de disponibilidade de nutrientes e o estado nutricional das plantas. Assim, conhecendo a fertilidade do solo para melhorar a eficiência das adubações, otimizar recursos e aumentar o lucro do produtor.

3.2 FERTILIDADE SO SOLO

O solo é um recurso de produção de culturas agrícolas, renovável, situado em diferentes posições na paisagem. Forma-se a partir da decomposição de rochas e sedimentos, por processos pedológicos, por meio da ação de agentes químicos, físicos e biológicos, ao longo do tempo (STRECK et al., 2018).

O solo é formado por porções sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, ocupando espaço do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, juntamente com as águas. No processo pedogênico, formam-se os horizontes dos solos, com características distintas, que se distinguem entre si, pelos materiais de origem que o constituem, por meio de processos de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, em função do tempo, em diferentes intensidades, variando conforme o clima, organismos e relevo (MATTOS, 2006).

A compreensão dos processos pedogenéticos de formação do solo, aliada à tecnificação do meio rural, com o advento da agricultura de precisão, permitiu a expansão de área cultivada, impulsionada pela demanda por alimentos, em virtude do crescimento populacional (TEIXEIRA, 2021). O aperfeiçoamento das técnicas de plantio gera discussão sobre o modelo de manejo adotado, provocando questionamentos sobre o preparo do solo e a distribuição de corretivos e fertilizantes (TEIXEIRA, 2021).

A adoção de diferentes formas de manejo de solo visa custos menores, porém podem criar problemas de produtividade, quando as condições de fertilidade ofertadas são inferiores à demanda nutricional da cultura, não sendo suficientes para o seu pleno desenvolvimento impossibilitando a expressão de todo seu potencial produtivo (TAIZ et al., 2017).

Por fertilidade do solo entende-se como sendo a capacidade que os solos têm de ceder nutrientes para as plantas (SBCS-CQFS, 2016). Esta fertilidade pode ser dividida em quatro

partes, fertilidade natural, que é a fertilidade oriunda do processo de formação do solo; fertilidade atual, que é a fertilidade do solo após o mesmo ser manejado; fertilidade potencial é a capacidade máxima solo em ceder nutrientes para as plantas, a qual pode ser limitada por algumas características como a acidez do solo; e fertilidade operacional, que é a fertilidade estimada por meio de análises químicas do solo (SUTTON; MONTEIRO, 2017).

A fertilidade do solo influencia o quão produtivo um solo pode ser. Está alicerçada na capacidade de ofertar nutrientes para o desenvolvimento vegetal, cujos nutrientes essenciais encontram-se presentes em quantidades balanceadas e disponíveis (SANTI et al., 2016). Os nutrientes essenciais são 16, sendo que destes, o Carbono, o hidrogênio e o Oxigênio são obtidos nas reações de fotossíntese, por meio do ar e da água (CASTILHOS et al., 2004). Os outros 13 são subdivididos em macronutrientes; requeridos em maior quantidade, sendo eles: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; e micronutrientes, requeridos em menor quantidade, sendo eles: boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio e o zinco.

Os solos férteis adequados para a prática da agricultura são aqueles que permitem às culturas, além de produzirem, demonstrar o seu máximo potencial de produção, por meio da disponibilidade de nutrientes (FAQUIN, 2005; LOPES, 1998), os quais são os substratos necessários para o estabelecimento das plantas, fornecendo-lhes condições de fixação, estruturação e desenvolvimento, por meio de suas raízes (CASTILHOS et al., 2004).

Devido à extração dos nutrientes do solo pelas plantas, bem como às perdas decorrentes do manejo inadequado e as condições do ambiente, há uma variação espacial e temporal dos padrões de fertilidade e concentração dos principais elementos químicos importantes na produção vegetal, podendo limitar ou inviabilizar as safras. Nesse sentido é recomendado a realização de análise de solo (SANTI et al., 2016).

Os macronutrientes fósforo é obtido pelas plantas para realizar funções bioquímicas e formar substâncias de reservas, além de compor as paredes celulares, dando rigidez aos tecidos, da mesma forma que o potássio, o qual ainda contribui para a formação e o amadurecimento dos frutos; aumenta a rigidez dos tecidos e a resistência (SBCS-CQFS, 2016). O cálcio estimula a absorção de outros íons, por meio da regulação osmótica, potencial de hidrogênio PH. O magnésio, por sua vez, relaciona-se com as funções fotossintéticas da planta, compõe a clorofila, a protoclorofila, a pectina e a fitina. E, o enxofre, assim como o nitrogênio constitui as proteínas, participa de processos fotossintéticos e de respiração celular, além de atividades redox (TAIZ et al., 2017).

Entre os micronutrientes essenciais para as plantas tem-se o cobre participa de processos enzimáticos, fotossíntese, respiração, lignificação (resistência), metabolismo do fenol e nitrogênio

e na regulação de auxinas, que afetam a elongação celular. O cobre, o ferro e o molibdênio atuam como “portadores de elétrons” em reações de oxiredução (KIRTS et al., 2007). O zinco constitui a expressão genética pelo DNA molecular, forma hormônios de crescimento, como o ácido indol acético (AIA), responsável pela produção do aminoácido triptofano e outras enzimas, bem como transforma hidratos de carbono e regula a conversão de açúcares em energia para a síntese de clorofila, na fosforilação da glicose para a produção de amido (TAIZ et al., 2017). O boro é requerido nos processos vitais como germinação do pólen, formação das flores, frutos e raízes, no movimento da seiva e na absorção dos cátions, sintetiza bases nitrogenadas e participa nos mecanismos das auxinas (CERETTA et al., 2005). O manganês constitui a clorofila, participa na redução dos nitratos, formação do sistema radicular, age como catalisador da vitamina C, atua em processos de oxirredução e na respiração celular (TAIZ et al., 2017).

Os solos apresentam variações desses macronutrientes e micronutrientes. Logo, considera-se que há uma variação de seus atributos, ou seja, os aspectos de fertilidade são perceptíveis no comportamento e na produtividade das culturas agrícolas, espacialmente e temporalmente (SANTI et al., 2016). Nesse sentido a amostra de solos identificada e analisada traz informações que permite conhecer os atributos físicos e químicos e conseqüentemente avaliar se há zonas com limitações de produtividade, nas quais se estabelecerão estratégias de manejo (AMADO et al., 2009).

Amostrar e analisar os solos são formas de efetuar a gestão eficiente dos insumos produtivos e serve de base para a recomendação de corretivos e adubação. A recomendação considera os índices de disponibilidades de cada nutriente e parâmetro para uma determinada finalidade agrícola de uso do solo, em que se determinam as condições limitantes para o desenvolvimento de uma espécie vegetal a ser cultivada, cuja dose a ser aplicada segue os procedimentos trazidos na página 70 e 71 do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS-CQFS, 2016).

Com base nas análises de solo, tem-se a forma correta de aplicação de corretivos e fertilizantes, os quais podem gerar melhores resultados em produtividade, desenvolvimento radicular, retenção de nutrientes no solo, mobilidade no perfil, perdas por lixiviação, deste modo descobrir a melhor maneira de resolver estas peculiaridades trará resultados positivos, não apenas financeiros a curto prazo, mas também, mais sustentáveis, pela melhoria da fertilidade, preservação dos recursos naturais e contaminação ambiental (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo do diagnóstico da fertilidade do solo da região das Missões está baseado nas coletas de amostras de solo realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo da Cooperativa Tritícola Regional São-Luizense Ltda - Coopatrigo, no período compreendido entre 2018 e 2021. Foram 3094 amostras do ano de 2018, 4100 de 2019, 4579 de 2020 e 5775 de 2021, totalizando 17548 amostras.

Para o diagnóstico foram consideradas apenas as amostras de solo oriundas dos municípios de abrangência da Coopatrigo, os quais são: São Luiz Gonzaga, Santo Antônio das Missões, Garruchos, São Nicolau, Pirapó, Dezesesseis de Novembro, Roque Gonzalez, Rolador, Caibaté, Mato Queimado, Bossoroca, Capão do Cipó e Santiago (Figura 2).

Figura 2 - Municípios de abrangência da Copatrigo. (São Luiz Gonzaga, 2021)



Fonte: Coopatrigo (2021).

O Laboratório de Solos da Coopatrigo foi inaugurado em 2016, com objetivo de proporcionar aos seus associados uma maior agilidade na obtenção dos resultados de suas análises, sendo que anteriormente as amostras de solo deveriam ser enviadas a outros municípios (COPATRIGO, 2021).

O laboratório foi inserido no projeto para aprovação do curso de bacharelado em agronomia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), no ano de 2017. Em 2018 o laboratório de solos participou do Programa de Controle de Qualidade de Análise de

Solo da ROLAS-Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC, este programa proporcionou o selo de qualidade para análise básica e de micronutrientes no ano de 2018, (ROBERTO, 2019).

O estudo contemplou um diagnóstico da fertilidade com base na acidez do solo e necessidade de calagem, teor de macronutrientes e teor de micronutrientes. As informações de todos os laudos foram agrupadas em uma planilha Excel®, em que, mediante o uso de filtros, com critérios que serão detalhados na sequência:

4.1 ACIDEZ DO SOLO

A classificação da acidez do solo em função dos valores de pH foi baseada na classificação proposta por Volkweiss (1989), que considera os seguintes critérios:

aproximadamente neutro: pH em água maior que 6,6;

pouco ácido: pH em água entre 6,1 e 6,5

ácido: pH em água entre 5,6 e 6,0;

muito ácido: pH em água entre 5,0 e 5,5;

extremamente ácido: pH em água menor que 5,0.

Para o cálculo da necessidade de calagem foi considerado o pH de referência 6,0, ou seja, pH de referência para as culturas de grãos (SBCS-CQFS, 2016) considerando a dose cheia, ou seja, a aplicação equivalente a 1 SMP. Assim, foram criadas as seguintes classes de necessidade de calcário com PRNT 100%:

Dose 0: para amostras com pH em água superior a 5,5;

Dose <3 t/ha: para amostras com pH em água inferior a 5,5 e índice SMP >5,6;

Dose 3 a 6 t/ha: para amostras com pH em água inferior a 5,5 e índice SMP entre 5,1 e 5,6;

Dose 6 a 10 t/ha: para amostras com pH em água inferior a 5,5 e índice SMP entre 4,6 e 5,1;

Dose >6 t/ha: para amostras com pH em água inferior a 5,5 e índice SMP <4,6.

4.2 MATÉRIA ORGÂNICA

O teor de matéria orgânica do solo foi classificado com base no Manual de calagem e adubação para os estados do Se e SC (SBCS-CQFS, 2016), em três classes, utilizadas como indicador da disponibilidade de nitrogênio do solo:

Baixo: para faixa $<$ ou $= 2,5\%$

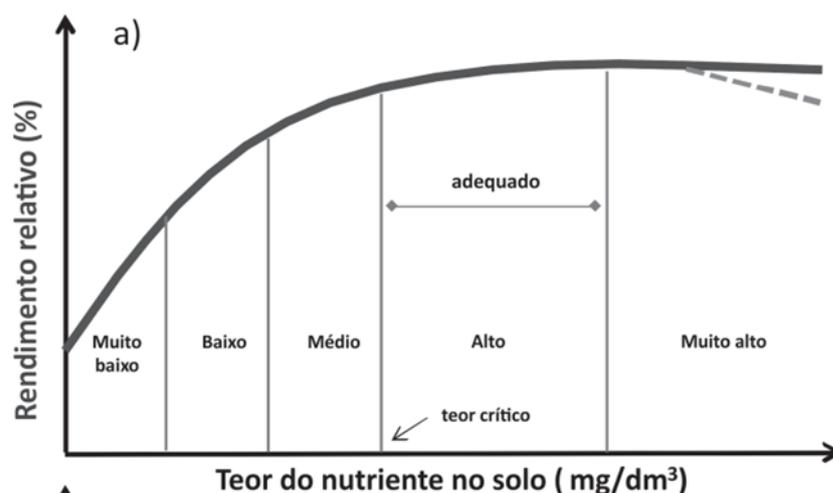
Médio: para faixa entre 2,6 e 5%

Alto: para faixa $>5\%$

4.3 FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K)

Para a interpretação dos teores de P e K no solo foram estabelecidas cinco faixas de interpretação agrônômica dos resultados de análises de solo seguindo a proposição do *Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC* (SBCS-CQFS, 2016). Nesse sentido, três classes situaram-se entre os valores zero e o teor crítico, pela divisão em intervalos uniformes, denominadas “Muito baixo”, “Baixo” e “Médio”, respectivamente, e duas para os valores superiores ao valor de teor crítico, denominadas “Alto” e “Muito alto”, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Representação esquemática do estabelecimento das classes de fertilidade do solo em função da relação entre o teor do nutriente no solo e o rendimento relativo das culturas. Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC



Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS-CQFS, 2016).

Para interpretação das classes de disponibilidade de P considerou-se que a capacidade de extração de P pela solução de Mehlich⁻¹ é baixa em solos que contêm alto teor de argila em consequência dos maiores teores de óxidos de Fe e de Al. Dessa forma a interpretação dos teores de P foi realizada com base no teor de argila sendo o valor de teor crítico variável conforme a classe textural. Os teores de argila seguiram a seguinte classificação: classe 1 = >60%; classe 2 = 60 a 41%; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = 20% (SBCS-CQFS, 2016).

Considerando que os teores críticos de P são específicos para os grupos de culturas, assumiu-se para a classificação deste estudo (Tabela 1) como base os valores de teor crítico de P para culturas de grãos, para as quais há mais resultados experimentais de calibração. Ademais essa escolha baseou-se na descrição da aptidão agrícola do solo da região feita por Cherubin et al. (2015), em que predomina espécies destinadas à produção de grãos: soja [*Glycine max* (L.) Merr.] e milho (*Zea mays* L.) e aveia-branca (*Avena sativa* L.).

Tabela 1 - Interpretação das classes de disponibilidade do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila para as culturas do Grupo 2 (culturas de grãos, exceto arroz irrigado; hortaliças, exceto as do Grupo 1: pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1).

Classe de disponibilidade	Classe de teor de argila ^(1,2)			
	1	2	3	4
mg de P/dm ³			
Muito baixo	≤3,0	≤4,0	≤6,0	≤10,0
Baixo	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	6,1 - 12,0	10,1 - 20,0
Médio	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	20,1 - 30,0
Alto	9,1 - 18,0	12,1 - 24,0	18,1 - 36,0	30,1 - 60,0
Muito alto	>18,0	>24,0	>36,0	>60,0

⁽¹⁾ Teores de argila: classe 1 = >60%; classe 2 = 60 a 41%; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = ≤20%.

⁽²⁾ Caso a análise tenha sido feita por Mehlich-3, transformar previamente os teores em "equivalentes Mehlich-1", conforme equação $PM1 = PM3 / (2 - (0,02 \times \text{arg}))$ (Capítulo 4).

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS-CQFS, 2016).

Para a interpretação das classes de disponibilidade de K, a lógica utilizada para a classificação seguiu o mesmo padrão adotado para o P, interpretando-se os teores disponíveis no solo conforme diferentes teores críticos estabelecidos para grupos de culturas com igual exigências em K que culturas de grãos, ou seja, foi utilizado o grupo 2 (. Entretanto, as faixas de interpretação dos teores de K no solo variam conforme a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, sendo assumidas quatro classes de $CTC_{pH7,0}$, classe 1: < ou = 7,5; classe 2: 7,6 a 15,0; classe 3: 15,1 a 30,0 e, classe 4: >30,0 (Tabela 2).

Tabela 2 - Interpretação das classes de disponibilidade do teor de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme a CTC_{pH7,0} do solo para as culturas do Grupo 2 (culturas de grãos; pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1: pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e hortaliças, exceto as do Grupo 1).

Classe de disponibilidade	CTC _{pH7,0} do solo ⁽¹⁾			
	≤7,5	7,6 a 15,0	15,1 a 30,0	>30,0
mg de K/dm ³			
Muito baixo	≤20	≤30	≤40	≤45
Baixo	21 – 40	31 – 60	41 – 80	46 – 90
Médio	41 – 60	61 – 90	81 – 120	91 – 135
Alto	61 – 120	91 – 180	121 – 240	136 – 270
Muito alto	>120	>180	>240	>270

⁽¹⁾ Caso a análise tenha sido feita por Mehlich-3, transformar previamente os teores em "equivalentes Mehlich-1", conforme equação $KM1 = KM3 \times 0,83$ (Capítulo 4).

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS-CQFS, 2016).

4.4 CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg) E ENXOFRE (S)

Os teores de Ca e de Mg trocáveis e de S extraível foram enquadrados em três faixas: “Baixo”, “Médio” e “Alto” (Tabela 3), conforme proposição do *Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC* (SBCS-CQFS, 2016). Com base nessa indicação considera-se satisfatórios os teores desses nutrientes situados na classe “Alto”, embora para algumas culturas teores “Médio” de Ca e Mg já sejam suficientes para o bom desempenho agrônomo das mesmas.

Tabela 3 - Classes de disponibilidade dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo.

Classe de disponibilidade	Calcio	Magnésio	Enxofre
cmol _c /dm ³		mg/dm ³
Baixo	< 2,0	< 0,5	< 2,0
Médio	2,0 – 4,0	0,5 – 1,0	2,0 – 5,0
Alto	> 4,0	> 1,0	> 5,0 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Para arroz irrigado por alagamento, leguminosas, brássicas e liliáceas, o teor deve ser maior que 10 mg/dm³. Considerar que a camada de 10 a 20 cm de profundidade pode apresentar teor maior de enxofre que a camada de 0 a 10 cm.

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS-CQFS, 2016).

Para algumas culturas a exigência em S pode ser superior àquela indicada como alto pela classificação indicada na Tabela 3. Entre estas culturas estão as leguminosas, como a soja, muito cultivada na região, além de brássicas, liliáceas e arroz irrigado. Para estas, o teor crítico

de S é o dobro do estabelecido para as demais culturas. Nesse sentido, os laudos foram classificados em porcentagem de amostras com S superior a 10mg/dm³.

4.5 MICRONUTRIENTES: COBRE (Cu), ZINCO (Zn), BORO (B) E MANGANÊS (Mn)

Para a interpretação dos teores dos micronutrientes Cu, Zn, B e Mn no solo é foram utilizadas três classes de disponibilidade: “Baixo”, “Médio” e “Alto”, conforme a tabela 4 .

Tabela 4 - Classes de disponibilidade dos micronutrientes cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn) do solo.

Classe de	Cobre	Zinco	Boro⁽²⁾	Manganês
mg/dm ³			
Baixo	< 0,2	< 0,2	≤ 0,1	< 2,5
Médio	0,2 – 0,4	0,2 – 0,5	0,2 – 0,3	2,5 – 5,0
Alto	> 0,4	> 0,5	> 0,3	> 5,0

⁽¹⁾ Para o Fe consulte a recomendação para o arroz irrigado. ⁽²⁾ Para a cultura da videira o teor adequado de B no solo varia de 0,6 a 1,0 mg/dm³.

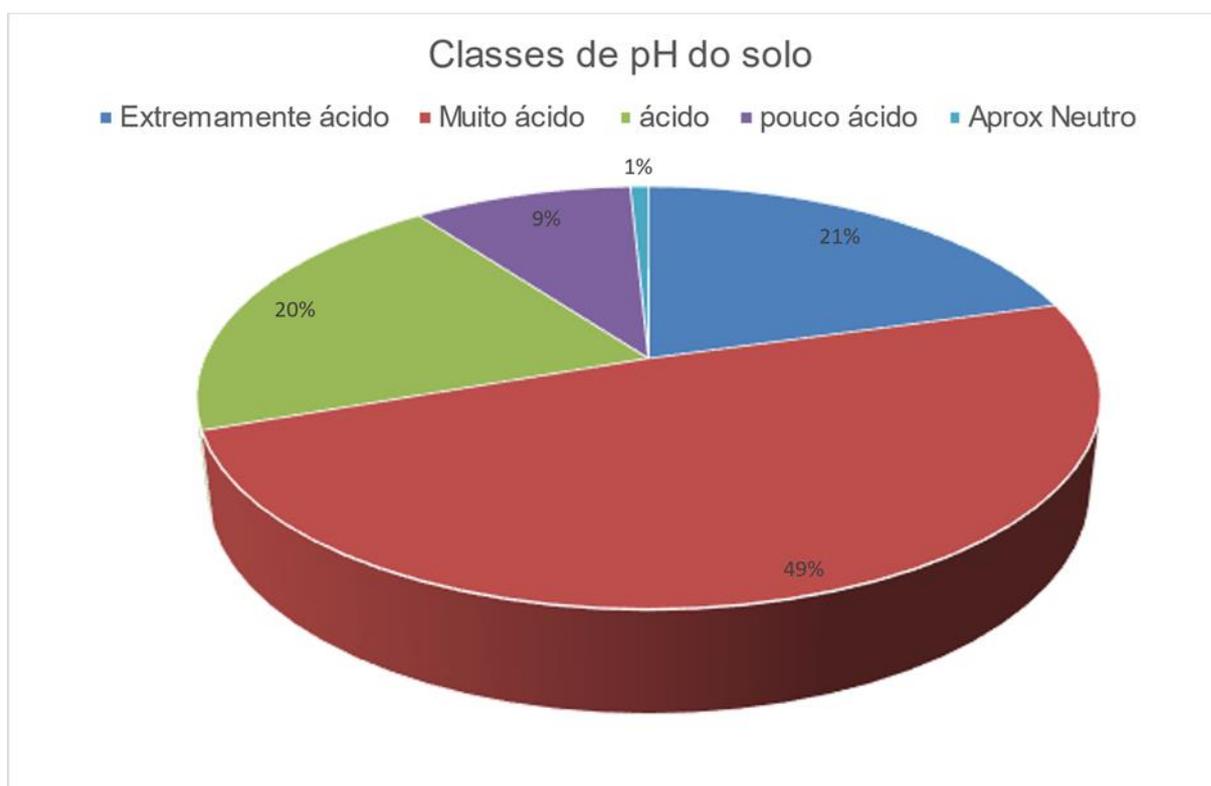
Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS-CQFS, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DA ACIDEZ DO SOLO

A distribuição das classes de pH do solo da região fisiográfica das Missões do estado do Rio Grande do Sul (Figura 4) encontra-se predominantemente nas classes denominadas de muito ácida (49% das amostras), seguida da classe extremamente ácida (21% das amostras).

Figura 4 - Classes de pH do solo: extremamente ácido, muito ácido, ácido, pouco ácido e aproximadamente neutro para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de Análises do Solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.



Fonte: Autor 2022.

Os estudos sobre os atributos químicos do solo realizados por Amado et al. (2009) mostraram que a acidez possui uma baixa variabilidade espacial, sendo que nas áreas em que há a manifestação da acidez do solo, há uma redução do potencial produtivo das culturas, visto que a acidez possui relação com a disponibilidade de bases.

Para Piccin et al. (2020) essas variações de pH ocorrem por causa da aplicação excessiva de fertilizantes fosfatados, nitrificados e nitrogenados amoniacais, manejo inadequado do solo

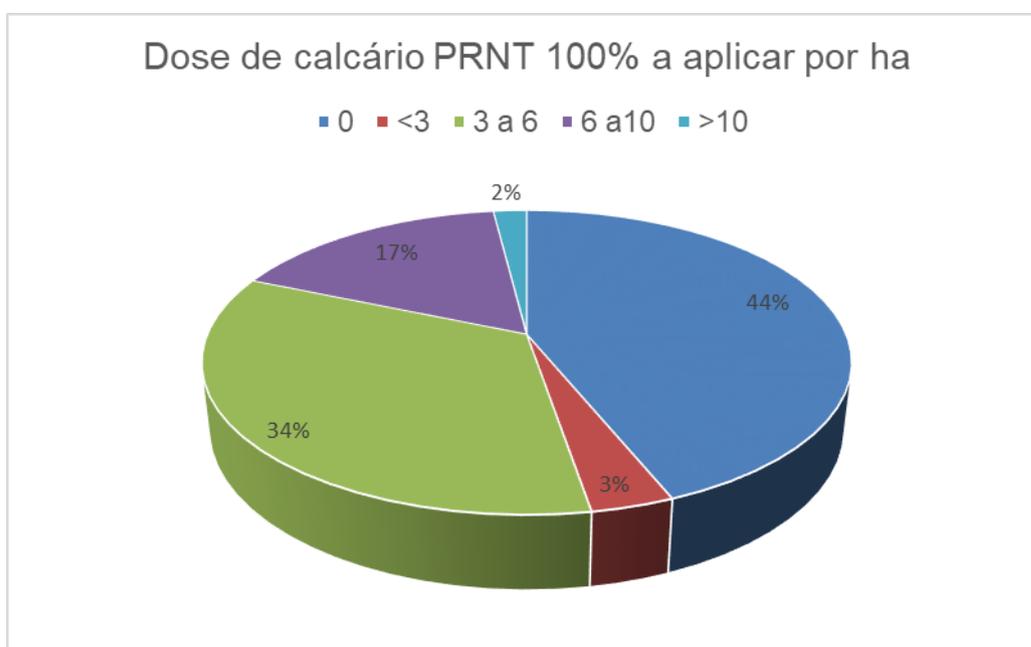
e os efeitos da erosão, resultando em solos ácidos e com elevado teor de alumínio, impróprio para o cultivo de plantas, o que requer uso da correção do solo.

Assim é necessário grande investimento em calcário para uma efetiva correção da acidez, devido à resistência do poder tampão, conforme explica Santi et al. (2016), em seus estudos, os quais também descreve latossolos com boa saturação e disponibilidade de cálcio e magnésio, proporcionais ao teor de matéria orgânica.

5.2 DOSE DE CALCÁRIO PRNT 100%

O resultado da pesquisa em relação a dose de calcário demonstra que em 44% das áreas não é necessário aplicação de calcário (Figura 5), sendo que em 3% seria necessário dose menor ou igual a 3 toneladas por hectare, em 34% seria necessário aplicação entre 3 a 6 toneladas por hectare, em 17% seria necessário aplicação de 6 a 10 toneladas por hectare e, em apenas 2%) seria necessário aplicação de doses acima de 10 toneladas por hectare.

Figura 5 - Dose de calcário PRNT 100% a aplicar por hectare conforme amostras de solo oriundas da região fisiografica das Missões-RS, e analisadas no Laboratório de solos da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.

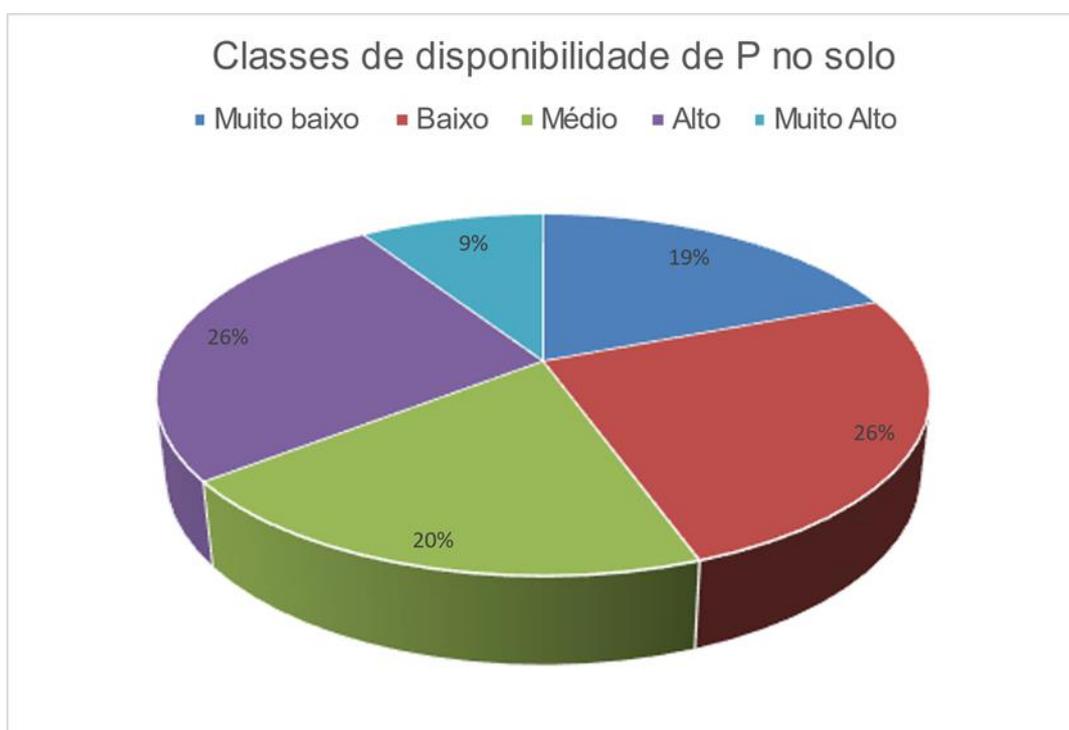


Fonte: Autor, 2022.

5.3 ANÁLISE DO TEOR DE FÓSFORO

Em relação à classe de disponibilidade de fósforo os resultados obtidos indicam que 65% das amostras de solo apresentam teores de fósforo no solo inferiores ao limite crítico, ou seja, enquadram-se nas classes de disponibilidade muito baixo, baixo e médio (Figura 6).

Figura 6 - Classes de disponibilidade de fósforo no solo: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões e analisadas no laboratório de análises de solo da coopatrigo no período de 2018-2021.



Fonte: Autor, 2022.

Nessas condições, quando a adubação é realizada abaixo da recomendação indicada, parte do déficit de fósforo para o desenvolvimento da planta é obtida do próprio solo, por meio do P disponível (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; GATIBONI et al., 2007).

Além do teor de argila que influencia no nível crítico de P quando se utiliza o método Mehlich⁻¹, a natureza mineralógica do solo também afeta essa relação. O P remanescente (P-rem) é um índice da capacidade de retenção de P pelo solo (quanto maior a capacidade de retenção, menor o valor P-rem) que se relaciona com o teor de argila e sua mineralogia (ALVAREZ; FONSECA, 1990).

Devido à forte interação do fósforo com os coloides minerais do solo e baixa mobilidade, a adubação com este nutriente tem efeito residual muito forte (RHEINHEIMER et al., 2000). Sendo assim, além dos efeitos imediatos sobre a cultura que se segue à adubação,

haverá sempre um efeito residual para culturas subsequentes. Este fato determina que seja feito um rigoroso acompanhamento dos estoques deste nutriente pelo produtor, o que poderá auxiliar na diminuição de custos de produção, quando os preços das fontes desse nutriente estiverem altos (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010).

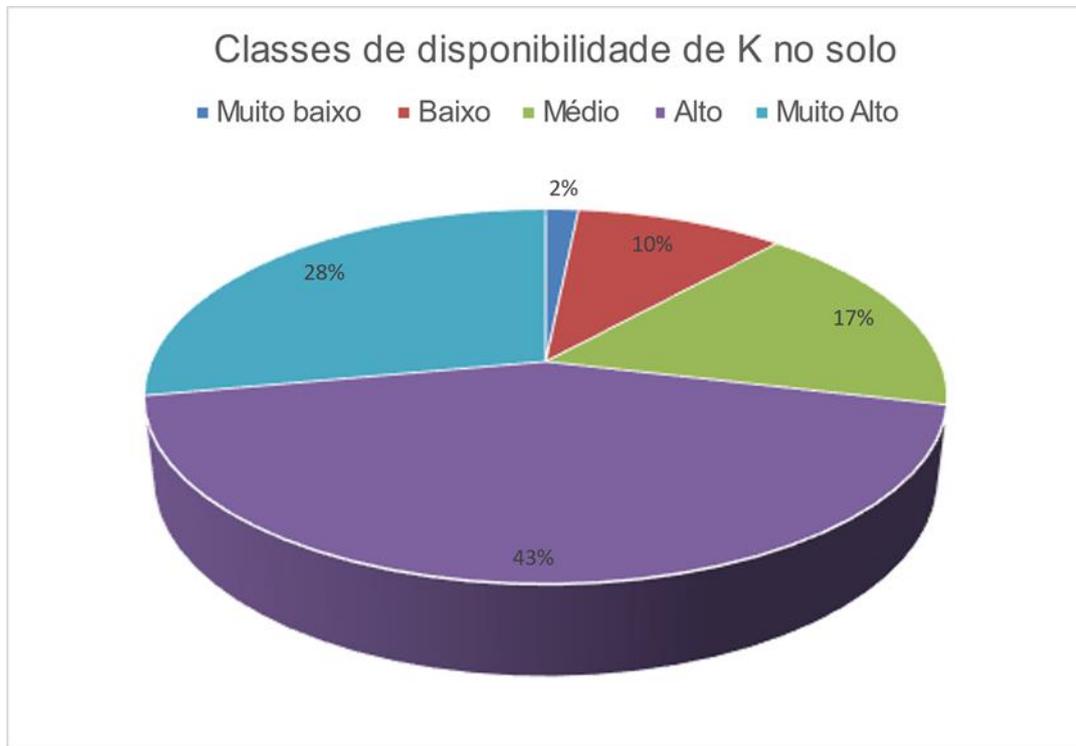
Nas plantas, o fósforo é um importante constituinte das paredes celulares (TAIZ et al, 2017), compostos de ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolipídios e outros ésteres, constituindo os principais componentes de rendimento das culturas agrícolas, tanto em qualidade, quanto em quantidade (VENTIMIGLIA et al., 1999). A deficiência de fósforo diminui o potencial de rendimento de culturas como a soja (*Glycine max* (L.)), por exemplo, já nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas e nas fases seguintes, com formação de menor quantidade e maior aborto de legumes (VENTIMIGLIA et al., 1999).

Cabe destacar ainda que o efeito da matéria orgânica sobre os estoques de compostos fosfatados no perfil do solo é fundamental, uma vez que a sua presença ocasiona a reciclagem do fósforo adsorvido e a melhoria na eficiência de disponibilização deste nutriente para as culturas (BALIGAR; BENNETT, 1986). O elemento torna-se disponível pela ação dos microrganismos presentes no solo, os quais efetuam a degradação dos compostos orgânicos, permitindo a sua absorção pelos sistemas radiculares (SANTOS et al., 2008).

5.4 ANÁLISE DO TEOR DE POTÁSSIO

Em relação à classe de disponibilidade de potássio, a Figura 7 mostra que o comportamento do potássio no solo das Missões difere do comportamento observado para o fósforo, com uma concentração maior de solos apresentando uma alta disponibilidade (43%), seguido por uma disponibilidade muito alta (28%), seguido por uma média disponibilidade (17%), baixa (10%) e muito baixa (2%), inferindo que a disponibilidade desse nutriente é adequada ao grupo 2.

Figura 7 - Classes de disponibilidade de potássio no solo: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões RS e analisadas pelo Laboratório de análises de solos da coopatrigo no período de 2018 a 2021



Fonte: Autor, 2022.

Em latossolos vermelhos, a disponibilidade de potássio geralmente é adequada para o desenvolvimento das culturas (AMADO et al., 2009). Solos predominantemente arenosos e com baixo teor de argila possuem baixa capacidade de reter o potássio, enquanto, solos argilosos tem maior capacidade de retenção. O manejo da adubação potássica deve levar em consideração às épocas de aplicação, evitar perdas nutricionais pela água, durante o período de chuvas demasiadas. Ressalta-se, portanto, a importância de práticas conservacionistas, tais como: terraceamento, descompactação de camadas sub-superficiais, plantio em nível ou em contorno e adubação diferente para cada tipo de solo (MACHADO; WADT, 2016).

Nos sistemas de plantio direto, o teor de potássio trocável tende a ser superior aos sistemas convencionais, quando há o uso de aração e de gradagem, também reduzindo a sua disponibilidade à medida que se avança o perfil do solo, pela ausência da incorporação de palhada (SANTOS et al., 2008).

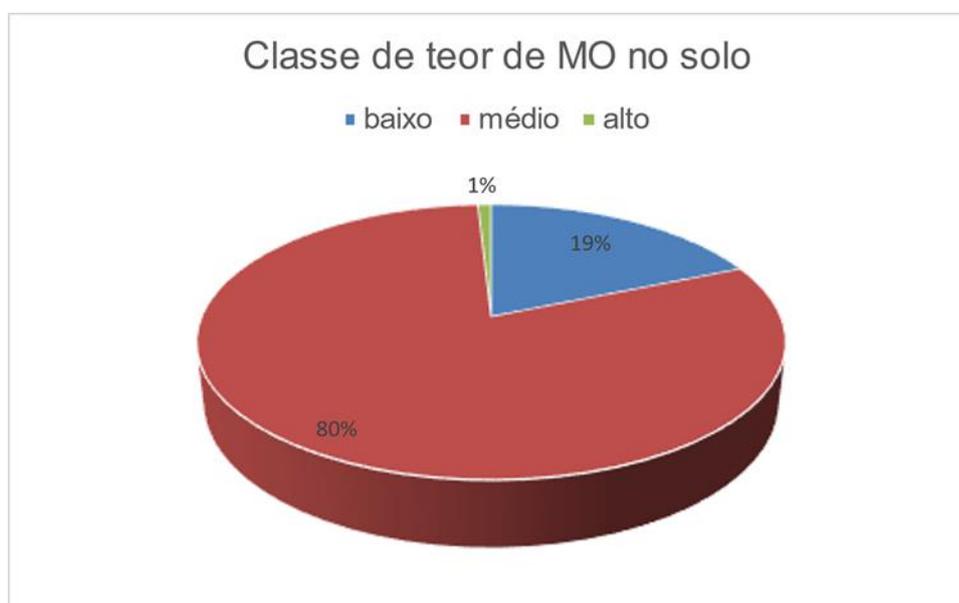
Nesse sentido, Santos et al (2008), ao avaliarem as condições de fertilidade de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, na região das missões, em diferentes condições de cultivo durante vinte anos, observam que o pH, carbono, fosforo e potássio apresentaram variações de concentração de teores nas condições de estudo, diminuindo com o avanço das camadas do solo

(0cm para 20cm), ao longo do tempo, em sistema plantio direto, porem os teores de matéria orgânica, fosforo extraível e fosforo trocável aumentaram apenas nos primeiros 5cm do solo.

5.5 ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Conforme indicado na Figura 8 a seguir o teor de matéria orgânica das amostras é médio em 80% das amostras, com uma pequena representatividade de matéria orgânica com teor baixo em 19% e alto em apenas 1% das amostras analisadas.

Figura 8 - Teor de matéria orgânica no solo: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises do solo da coopatrigo no período de 2018 a2021.



Fonte: Autor, 2022.

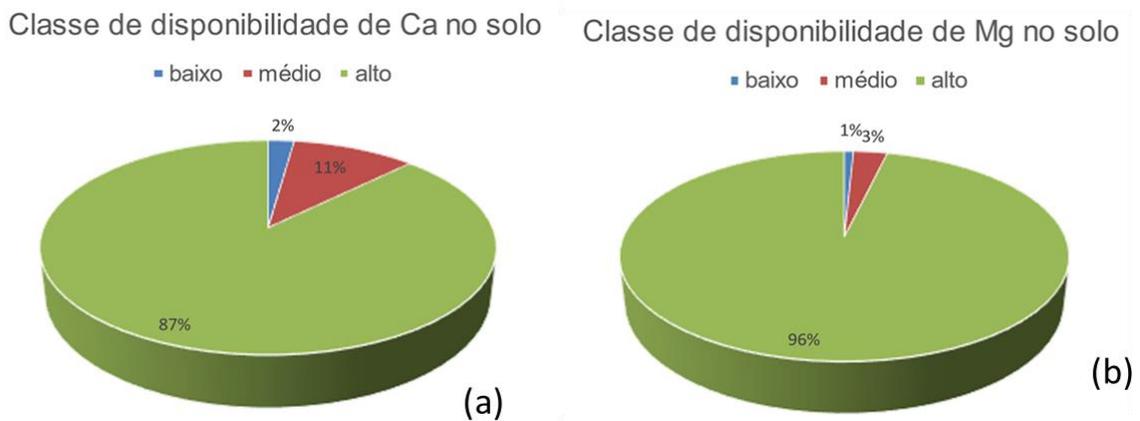
A matéria orgânica varia conforme o tipo de cultivo que é adotado, em proporção e em profundidade. Em condições nas quais há médio teor de matéria orgânica há condições de o solo reter maior concentrações de potássio, bem como outros cátions como cálcio e magnésio (AMADO et al., 2009), uma vez que a matéria orgânica promoverá aumento da CTC do solo.

Como a acidez dos solos da região se apresenta elevada, com um teor médio de matéria orgânica pode-se considerar que o solo possui um poder tampão mais elevado, isto é, resiste às alterações de pH, tendendo a permanecer ácido, devido ao desequilíbrio na saturação de bases (V%), perceptível na oscilação do comportamento do fósforo nas amostras (RHEINHEIMER, 2007), visto que a matéria orgânica influencia o movimento de difusão, a concentração e a disponibilidade do nutriente, quando na presença de água (TAIZ et al, 2017).

5.6 ANÁLISE DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO

A disponibilidade de cálcio é alta em 87% das amostras, sendo média e baixa em 11 e 2%, respectivamente, das amostras, para os solos da Região das Missões, conforme mostra a Figura 9. O mesmo padrão de distribuição também foi observado para a disponibilidade de magnésio no solo sendo alta em 96% das amostras avaliadas e, média e abaixo em apenas 3 e 1% das amostras, respectivamente.

Figura 9 - Classes de disponibilidade de cálcio (a) e magnésio (b) no solo: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.



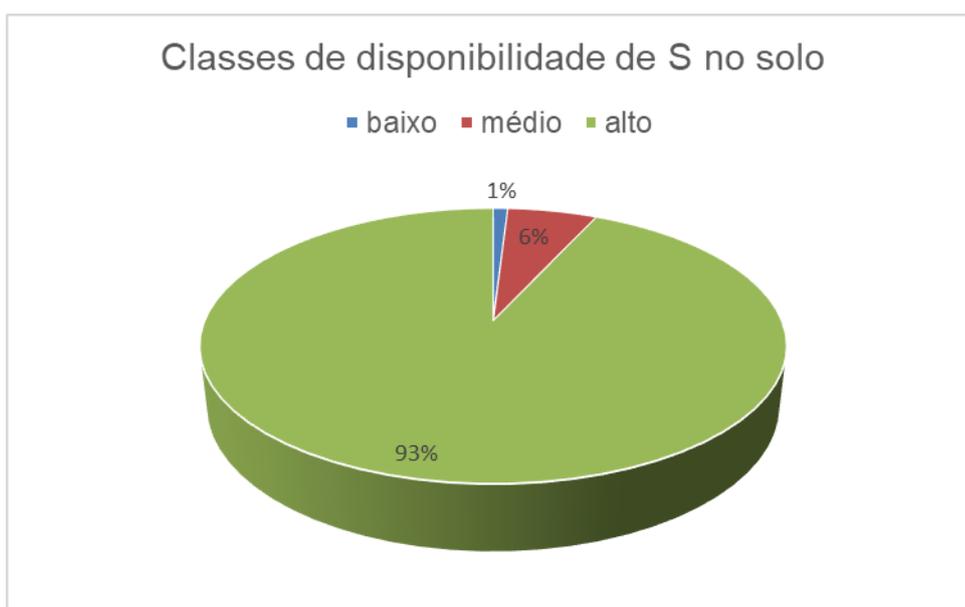
Fonte: Autor, 2022.

Esses resultados podem se mostrar benéficos para as culturas quando se considera como adequada a classe de disponibilidade alta do nutriente no solo, ou seja, acima do limite assumido como crítico (SBCS-CQFS., 2016). Entretanto, no caso do cálcio, magnésio em teores altos no solo há que se observar o fato de poder haver uma inibição competitiva na absorção de potássio. Isso acontece porque as características físicas e os potenciais elétricos e químicos dos espaços externos às membranas plasmáticas celulares das plantas tendem a promover uma maior retenção de cátions divalentes do que os monovalentes, beneficiando assim o magnésio e o cálcio em relação ao potássio. Dessa forma, em condições nas quais esses nutrientes do solo não se encontram em equilíbrio, facilmente as plantas podem apresentar sintomas de deficiência, mesmo que os seus teores no solo estejam adequados.

5.8 ANÁLISE DO ENXOFRE

As classes de disponibilidade de enxofre apresentam-se altas em 93% das amostras analisadas (Figura 10), estando assim, em teores que podem ser considerados adequados no solo. Entretanto, é importante destacar que para algumas culturas existe maior exigência em enxofre por exemplo: no arroz irrigado, leguminosas, brássicas e liliáceas. Nestas culturas, o teor crítico é o dobro do estabelecido para as demais culturas (SBCS-CQFS., 2016). Para o cultivo destas culturas, observa-se que o teor de enxofre no solo estaria adequado em apenas 36% das amostras analisadas.

Figura 10 - classes de disponibilidade de enxofre: baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região isográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da coopatrigo no período de 2018 a 2021.



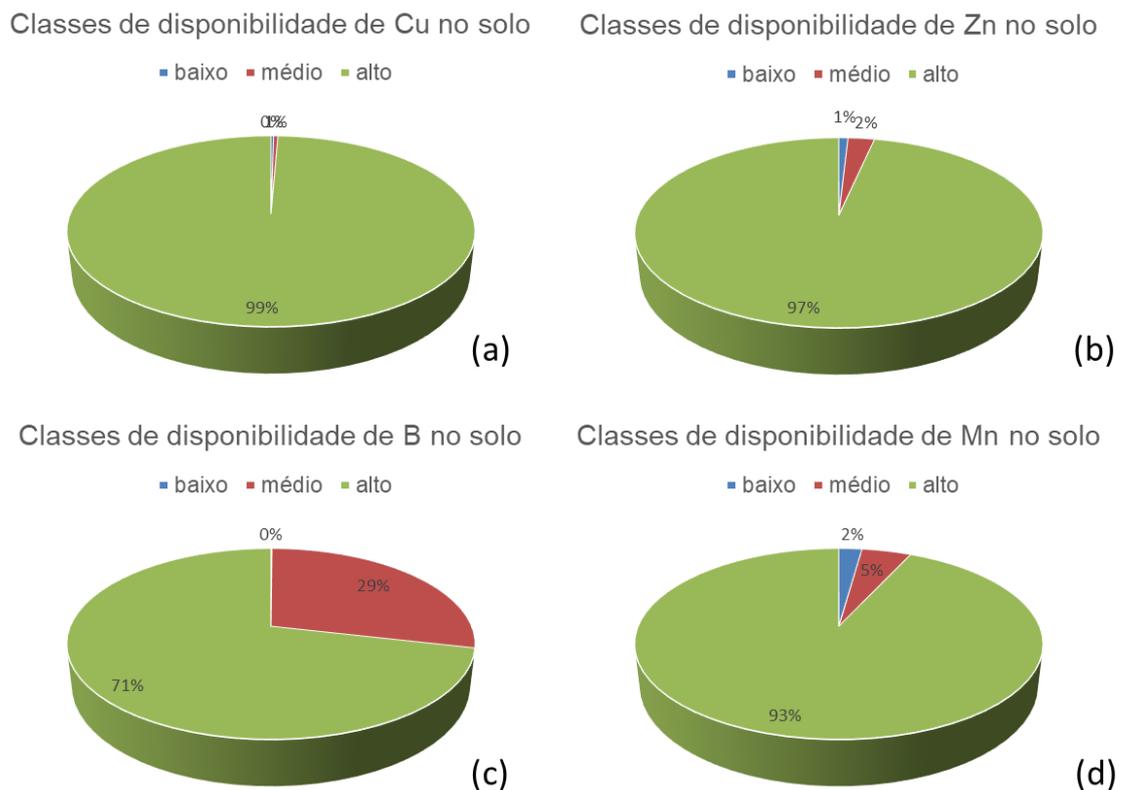
Fonte: Autor, 2022.

O sistema agrícola da região das Missões é altamente dependente da cultura da soja no verão. Nesse sentido, há necessidade de realizar o monitoramento e, quando necessário, a correção dos teores de S no solo. Além disso, deve-se cogitar a inclusão de fórmulas de fertilizantes que contenham S em sua constituição, além da inclusão de fontes alternativas de fertilizantes, como Sulfato de Amônio (24% S) e Super Simples (8% S), além do Gesso Agrícola (15% S).

5.7 MICRONUTRIENTES

Devido às pequenas quantidades de micronutrientes exigidas pelas culturas, as deficiências destes costumam ser as últimas a aparecer em solos cultivados. Nesse sentido, as amostras obtidas na região das Missões apresentaram, em sua grande maioria teores na classe do alto para os micronutrientes Cu, Zn, B e Mn (Figura 11). Em condições como essa as culturas costumam não responder a aplicação de fertilizantes com fonte de micronutrientes.

Figura 11 -Classes de disponibilidade dos micronutrientes: cobre (a), zinco (b), boro (c) e manganês (d): baixo, médio e alto, para amostras de solo oriundas da região fisiográfica das Missões-RS e analisadas no Laboratório de análises de solo da Coopatrigo no período de 2018 a 2021.



Fonte: Autor, 2022.

Porém, cabe destacar que apesar dessa baixa necessidade, por atenderem o critério de essencialidade, as funções críticas das plantas são limitadas se os micronutrientes estiverem indisponíveis, resultando em anormalidades, crescimento reduzido e menor rendimento das lavouras. A disponibilidade desses nutrientes pode também ser afetada pela correção do solo mediante a aplicação de calcário. Isso acontece porque a disponibilidade de micronutrientes é reduzida em condições de pH elevado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos através do estudo em relação ao pH foi observado que 49% das amostras encontram-se na classe denominada de muito ácida, e 21% na classe extremamente ácida; Já em relação a dose de calcário, o estudo demonstrou que em 56% das amostras é necessário aplicação, que varia de doses menor ou igual a 3 toneladas por hectare até doses superiores a 10 toneladas por hectares.

A realização do diagnóstico da fertilidade do solo da região das Missões, por meio das análises de solo realizadas no Laboratório de Análise de Solo da Coopatrigo permitiu observar padrões satisfatório para os parâmetros disponibilidade de Potássio, Cálcio, Magnésio e micronutrientes Cobre, Zinco, Boro e Manganês. O que pode estar relacionado ao teor médio de matéria orgânica, predominantemente na classe média, a qual é capaz de adsorvê-los em suas cargas e também liberá-los durante o processo de mineralização.

Os solos da região das Missões apresentaram ainda teor de enxofre na classe alta. Entretanto, este teor enquadra-se como inferior ao recomendado para leguminosas, como a soja, em 36% das amostras analisadas. O teor de fósforo também foi inferior ao nível crítico (classes muito baixo, baixo e médio) em 65% das amostras. Dessa forma, conclui-se que investimentos em correção da acidez e fertilidade do solo são necessários para manutenção e incremento da produtividade nessa importante região agrícola do estado gaúcho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jaime Antônio de; TORRENT, José; BARRÓN, Vidal. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 985-1002. 2003.

AMADO, Telmo Jorge Carneiro; PES, Luciano Zucuni; LEMAINSKI, Claudio Luiz; SCHENATO, Ricardo Bergamo. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 831-843, ago. 2009.

BALIGAR, Virupax C.; BENNETT, O.L. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.10, p.147-164, 1986.

BARROS, Geraldo Sant'Ana de Camargo (Coord.). **PIB do agronegócio**. Piracicaba: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA, mar. 2021, 18p.

CASTILHOS, Danilo Dufech; MEURER, Egon José; TEDESCO, Marino J. **Fundamentos de química do solo**. 2Ed. Porto Alegre: Gênese, 2004, 290p.

CERETTA, Carlos Alberto; PAVINATO, Aurélio; PAVINATO, Paulo Sérgio; MOREIRA, Isabel Cristina Lopes; GIROTTI, Eduardo; TRENTIN, Éder Efraim. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p.576-581, maio/jun. 2005.

CHERUBIN, Maurício Roberto; SANTI, Antônio Luis; EITELWEIN, Mateus Tonini; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; SIMON, Diego Henrique; DAMIA, Júnior Melo. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 2, p. 168-177, fev. 2015.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2016. **Novo Manual de calagem e adubação**: para estados do RS e SC. 11 ed. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC, Xanxerê, 2016.

COPATRIGO. **Área de abrangência**. São Luiz Gonzaga: Copatrigo, 2021, 1p. Disponível em: <<https://www.facebook.com/coopatrigo/>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186f. Monografia (Especialização em Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FERREIRA, Eric Victor de Oliveira; ANGHINONI, Ibanor; CARVALHO, Paulo César de Faccio; COSTA, Sergio Ely Valadão Gigante de Andrade; CAO, Eduardo Giacomelli. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, dez. 2009.

GONÇALVES JÚNIOR, Affonso; NACKE, Celso Herbert; MARENGONI, Nilton Garcia; CARVALHO, Endrigo Antônio de; COELHO, Gustavo Ferreira. Produtividade e componentes

de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, maio/jun., 2010.

KIRST, Alcido; LOBO, Eduardo A. Micronutrientes nos solos do município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 11, n. 1 e 2, jan./dez. p. 05 – 10. 2007.

LOPES, Alfredo Scheid. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2Ed, Piracicaba: Potafos, 1998, 177p.

MACHADO, Pedro Luiz O. Almeida; WADT, Paulo Guilherme S. **Boas práticas agrícolas: terraceamento**. EMBRAPA, Acre, 9 p. 2016.

MALUF, Jaime Ricardo Tavare. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Serra Talhada, v.8, p.141-150, 2000.

MARTINAZZO, Rosane. **Diagnóstico da fertilidade do solo em áreas sob sistema de plantio direto consolidado**. 2006. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

MATTOS, Jacqueline Silva Rezende (Sup.); LOPES, André Luiz da Silva (Rev.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2Ed. Brasília: Embrapa, 2006, 306p.

MORENO, José Alberto. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da agricultura, 1961, 42p.

OLIVEIRA, Luciana Mara Temponi de (Coord.). **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. Série Relatórios Metodológicos, v. 45. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do IBGE, 2019, 168 p.

PAYE, Henrique de Sá; DIMENSTAIN, Luiz; VILLAS BOAS, Roberto Lyra; CHISTÉ, Loren; DIAS, Ailton Geraldo; SOUZA, Thais Regina de. Novas tecnologias para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. **Incaper em Revista**, Vitória, v.9, p. 42-50, jan/dez 2018.

PICCIN, Marcieli; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; FIORIN, Jackson E. Estratégias de manejo para melhoria da camada de enraizamento profunda de um Latossolo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 43, n. 2, p. 174-183, 2020.

RHEINHEIMER, Danilo dos santos. Propriedades químicas do solo. Unid. 6, 2007. 116 – 142. In: REICHERT, José Miguel (Org.). **Fundamentos da ciência do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, jun. 2007, 169p.

RHEINHEIMER, Danilo dos Santos; ANGHINONI, Ibanor; KAMINSKI, João. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocadas pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2000.

SANTI, Antônio Luís; GIOTTO, Enio; SEBEM, Elódio; Amado, Telmo Jorge Carneiro (Org.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 1Ed. Santa Maria: CESPOL, 2016, 311p.

SANTOS, Flávia Cristina dos; NOVAIS, Roberto Ferreira; NEVES, Júlio César Lima; FOLONI, José Marcos; FILHO, Manoel Ricardo de Albuquerque; KER, João Carlos. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, Viçosa, MG, 2008, p. 2015-2025.

SANTOS, Henrique Pereira dos; SPERA, Silvio Tulio; TOMM, Gilberto Omar; KOCHANN, Rainoldo Alberto; ÁVILA, Alexandre. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.441-454, 2008.

SANTOS, Joildes Brasil dos. Discussões sobre o conceito de escala e os mapeamentos de solos no Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 44, p. 102-112, dez. 2012.

SEPLAG/DEPLAN. **Tipos de solo no Rio Grande do Sul**. EMATER: Porto Alegre, ago. 2008, 1p.

STRECK, Edeimar Valdir; KÄMPF; DAMOLIN, Ricardo Simão Diniz; KLAMT, Egon; NASCIMENTO, Paulo César; GIASSON, Elvio; PINTO, Luiz Fernando SPINELLI. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/ ASCAR RS, Porto Alegre, 252 p. 2018.

SUTTON, Monica; MONTEIRO, Francisco Antonio. Rendimento de matéria seca de quatro cultivares de alfafa em um latossolo vermelho-amarelo submetido à calagem e adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**: UFV, Viçosa, v. 21, 1997, p. 591-597.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6° Ed. Editora Artmed, Porto Alegre, p. 888. 2017.

TEIXEIRA, Moacir José. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020. In: **XII FATECLOG: Gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual**. FATEG Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, 18 e 19 jun. 2021, 11p.

UTZIG, Douglas Luís. **Sistema plantio direto: utilização de suas premissas para viabilidade e sustentabilidade da agricultura com enfoque nas Missões**, Rio Grande do Sul. 2018. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018.

VENTIMIGLIA, Luis Alberto; COSTA, José Antonio; THOMAS, André Luís; PIRES, João Leonardo Fernandes. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.195-199, fev. 1999.

VIEIRA, José Eustáquio Ribeiro Filho. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019, 378p.

XXV FEDERACITE. **Solo – base para produção sustentável**. Esteio: Federacite, 2017, 154p.