

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE DE SANANDUVA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

MARCELO BASCHERA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO E PLANO DE CALAGEM E
ADUBAÇÃO PARA CULTIVO DE TRIGO E SOJA EM PEQUENA
PROPRIEDADE RURAL**

SANANDUVA

2022

MARCELO BASCHERA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO E PLANO DE CALAGEM E
ADUBAÇÃO PARA CULTIVO DE TRIGO E SOJA EM PEQUENA
PROPRIEDADE RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado com requisito
parcial para obtenção de título de
Bacharel em Agronomia na
Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Me. Ernane
Ervino Pfüller

SANANDUVA

2022

MARCELO BASCHERA

**AVALIAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO E PLANO DE CALAGEM E
ADUBAÇÃO PARA CULTIVO DE TRIGO E SOJA EM PEQUENA
PROPRIEDADE RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado com requisito
parcial para obtenção de título de
Bacharel em Agronomia na
Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Me. Ernane
Ervino Pfüller

Aprovado em: 02 / 12 / 2022

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Me. Ernane Erwino Pfüller
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)

Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann
Universidade Federal Fronteira Sul (UFFS)

Prof (a). Dra. Marcia Regina Maboni Hoppen Porsch
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)

SANANDUVA

2022

Dedico a minha mãe Inês Zanatta Baschera

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar até aqui, também a toda minha família por estar sempre ao meu lado me dando forças e amparo, principalmente a minha mãe Inês Zanatta Baschera que nunca mediu esforços para me auxiliar em toda minha trajetória.

Agradeço ainda a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, e todo quadro de professores e colaboradores por oferecerem a sociedade uma educação de qualidade da qual tive o privilégio de poder fazer parte. Da mesma forma agradeço também a Universidade Federal Fronteira Sul (UFFS), campus Erechim-RS, por todo apoio ofertado e pela sua estrutura física, além do quadro de professores e colaboradores que contribuem com a UERGS – Sananduva.

RESUMO

A cada ano que passa maior é a preocupação em como suprir a demanda constante por alimentos em todo o mundo sem prejudicar os recursos naturais, demanda essa gerada pela crescente populacional. Uma das saídas é aumentar as produções nas mesmas áreas, ou seja, aumento de produtividade e para isso podemos utilizar os conhecimentos da fertilidade do solo. Dessa forma, este trabalho teve como principal objetivo realizar a avaliação da fertilidade do solo em uma área de terra de 9,1 ha, localizada no município de Ibiaçá – RS, e elaborar um plano de correção da acidez e de adubação para as culturas do trigo e da soja. Foi definida em 4 ton.ha⁻¹ a expectativa de rendimento tanto para a cultura de trigo quanto para a cultura da soja. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos principais temas relacionados com a fertilidade do solo. Após a revisão foi realizada a coleta de amostras de solo da área. De posse dos resultados da análise química do solo os resultados foram interpretados de acordo com o que preconiza o manual de calagem e adubação para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Procedeu-se então a elaboração do plano de calagem e de adubação. Por fim, foi possível concluir que o uso de fertilizantes orgânicos em associação com fertilizantes minerais apresentou maior viabilidade econômica além de ser uma prática mais sustentável.

Palavras chaves: Fertilidade do solo, plano de adubação e calagem, análises de solo.

ABSTRACT

With each passing year, there is a greater concern about how to meet the constant demand for food around the world without harming natural resources, a demand generated by the growing population. One of the solutions is to increase production in the same areas, that is, increase productivity and for that we can use the knowledge of soil fertility. Thus, the main objective of this work was to carry out an assessment of soil fertility in a 9.1 ha area of land, located in the municipality of Ibiaçá - RS, and to elaborate a plan for correcting acidity and fertilization for crops in the wheat and soybean. Yield expectation was defined at 4 ton.ha⁻¹ for both wheat and soybean. For this, a bibliographic review was carried out on the main topics related to soil fertility. After the review, soil samples were collected from the area. With the results of the chemical analysis of the soil, the results were interpreted according to what the liming and fertilization manual recommends for the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. The liming and fertilization plan was then prepared. Finally, it was possible to conclude that the use of organic fertilizers in association with mineral fertilizers presented greater economic viability in addition to being a more sustainable practice.

Key-words: Soil fertility, fertilization and liming plan, soil analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Horizontes do solo.....	20
Figura 2: Composição do Solo agrícola ideal.....	21
Figura 3: Escala de Ph.....	25
Figura 4: Acidificação.....	27
Figura 5: pH e disponibilidade.....	28
Figura 6: Processo de calagem.....	33
Figura 7: Sintomas visíveis de deficiências por falta de nutrientes.....	35
Figura 8: Dinâmica do potássio.....	37
Figura 9: Dinâmica do fósforo.....	38
Figura 10: Tipo de amostradores de solo.....	43
Figura 11: Subdivisão de área para amostragem de solo.....	44
Figura 12: Amostragem de solo com pá de corte.....	45
Figura 13: Amostragem de solo com trado calador.....	46
Figura 14: Coleta de amostra georreferenciada.....	47
Figura 15: Amostragem dirigida por zonas de manejo.....	48
Figura 16: Foto da área em dezembro de 2021.....	55
Figura 17: Área analisada.....	56
Figura 18: Divisão da área da propriedade rural, localizada na comunidade de Secção Fracasso, Ibiaçá-RS.....	57
Figura 19: Imagens das glebas.....	58
Figura 20: Ferramentas para coleta de solo.....	59
Figura 21: Trincheira para coleta de solo.....	60
Figura 22: Fatia de solo.....	60
Figura 23: Homogeneização e amostras de solo prontas.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Textura do solo.....	22
Tabela 2: Comparação ASE.....	23
Tabela 3: Principais compostos para reduzir acidez	29
Tabela 4: Tomada de decisão para calagem	31
Tabela 5: Determinação da quantidade de calcário pelo índice SMP	32
Tabela 6: Fertilizantes minerais e seus teores mínimos, fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos	39
Tabela 7: Principais funções da MO no solo	41
Tabela 8: Interpretação do teor de Argila, Matéria Orgânica e CTC (ph 7,0) do solo.....	49
Tabela 9: Interpretação do teor de fósforo conforme o teor de argila do solo, para culturas de grãos.....	49
Tabela 10: Interpretação de potássio conforme a CTC do solo, para cultura de grãos	50
Tabela 11: Interpretação dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo, para cultivo de grãos	50
Tabela 12: Interpretação dos teores de micronutrientes no solo, para cultivo de grãos	51
Tabela 13: Necessidade de nitrogênio para a cultura do trigo para produzir 3 ton/ha, para rendimentos maiores acrescentar 20 kg.ha ⁻¹ para cultivo anterior leguminosas e 30 kg.ha ⁻¹ para cultivo anterior gramínea, por tonelada de grão a mais produzida	51
Tabela 14: Recomendação para rendimentos de 3 ton.ha ⁻¹ , para mais que isso acrescentar 15 kg.ha ⁻¹ de fosforo e 10 kg.ha ⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais produzida	52
Tabela 15: Recomendação de fósforo e potássio cultura da soja, para rendimentos de 3 ton.ha ⁻¹ , para mais que isso acrescentar 15 kg.ha ⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha ⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais a ser produzida	53
Tabela 16: Dados das análises de solo.....	62
Tabela 17: Tabela índice SMP para realização de calagem	64
Tabela 18: Interpretação dos teores de Argila, Matéria Orgânica e CTC _{ph7} do solo, das três glebas	65

Tabela 19: Interpretação do teor de fósforo no solo das três glebas, referente ao cultivo das culturas de grãos	66
Tabela 20: Interpretação de potássio conforme a CTC do solo para culturas de grão, das três glebas.....	67
Tabela 21: Interpretação dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo, das três glebas	68
Tabela 22: Interpretação dos teores de micronutrientes no solo, das três glebas	69
Tabela 23: Interpretação de forma resumida das três glebas	69
Tabela 24: Necessidade de nitrogênio para a cultura do trigo das três glebas, para produzir 3 ton.ha ⁻¹ , para rendimentos maiores acrescentar 20 kg.ha ⁻¹ para cultivo anterior leguminosas e 30 kg.ha ⁻¹ para cultivo anterior gramínea, por tonelada de grão a mais produzida	70
Tabela 25: Necessidade de fósforo e potássio das três glebas para produzir 3 ton.ha ⁻¹ , para mais que isso acrescentar 15 kg.ha ⁻¹ de fosforo e 10 kg.ha ⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais produzida	71
Tabela 26: Necessidade de N, P e K em kg.ha ⁻¹ por gleba para cultura do trigo	72
Tabela 27: Necessidade de fósforo e potássio das três glebas para a cultura da soja, para rendimentos de 3 ton.ha ⁻¹ , para mais que isso acrescentar 15 kg.ha ⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha ⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais a ser produzida	73
Tabela 28: Necessidade de P e K em kg.ha ⁻¹ por gleba para cultura da soja ..	73
Tabela 29: Teores médios de nutrientes, carbono e matéria seca da cama de frango 3-4 lotes, valores expresso em %massa/massa com base em material seco.....	78
Tabela 30: Índice de eficiência em cultivos sucessivos para NPK da cama de frango	78
Tabela 31: Quantidades de NPK fornecido, e que falta, na aplicação de cama de frango	80
Tabela 32: Necessidades de NPK cultura da soja após adubação orgânica no trigo	83
Tabela 33: Plano de calagem e adubação mineral primeiro cultivo (trigo)	92
Tabela 34: Plano de adubação mineral segundo cultivo (soja)	93

Tabela 35: Plano de calagem e adubação organo mineral primeiro cultivo (trigo)	
.....	93
Tabela 36: Plano de adubação mineral da soja após adubação orgânica do	
trigo	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	CULTURA DO TRIGO.....	16
2.2	CULTURA DA SOJA.....	17
2.3	CIÊNCIA DO SOLO	18
2.4	MINERAIS DO SOLO.....	21
2.5	ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA.....	22
2.6	CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC), E SATURAÇÃO DE BASES (V%).....	24
2.7	CALAGEM E ACIDEZ DO SOLO.....	24
2.8	NUTRIENTES	33
2.8.1	Nitrogênio	35
2.8.2	Potássio	36
2.8.3	Fósforo	38
2.8.4	Tipos de fertilizantes minerais	39
2.8.5	Matéria orgânica do solo	39
2.9	ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO.....	41
2.10	AMOSTRAGEM DO SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO..	42
2.10.1	Procedimento de amostragem não georreferenciadas	43
2.10.2	Procedimento de amostragem georreferenciada	47
2.11	INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE COM RELAÇÃO AOS NUTRIENTES.....	48
2.11.1	Cultura do trigo	51
2.11.2	Cultura da soja	52

3	MATERIAL E MÉTODO	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	CALAGEM DAS GLEBAS	62
4.2	INTERPRETAÇÃO ANÁLISES DAS GLEBAS.....	65
5	RECOMENDAÇÃO ADUBAÇÃO CULTURA DO TRIGO	70
5.1	NITROGÊNIO PARA CULTURA DO TRIGO	70
5.2	FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DO TRIGO	71
6	RECOMENDAÇÃO ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA	72
6.1	FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DA SOJA.....	72
7	ADUBAÇÃO MINERAL PARA O CULTIVO DO TRIGO	74
7.1	ADUBAÇÃO EM COBERTURA CULTURA DO TRIGO.....	75
8	ADUBAÇÃO MINERAL PARA O CULTIVO DA SOJA	76
9	ADUBAÇÃO ORGANO MINERAL PARA A CULTURA DO TRIGO	77
10	ADUBAÇÃO MINERAL DA SOJA APÓS ADUBAÇÃO ORGÂNICA DO TRIGO	82
11	CUSTOS CALAGEM PARA SUCESSÃO SOJA E TRIGO	84
11.1	CUSTOS CALAGEM GLEBA 01.....	84
11.2	CUSTOS CALAGEM GLEBA 02.....	84
11.3	CUSTOS CALAGEM GLEBA 03.....	85
12	CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL TRIGO	86
13	CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL SOJA	87
14	CUSTOS DA ADUBAÇÃO ORGANO MINERAL DO TRIGO	88
15	CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL DA SOJA APÓS ADUBAÇÃO ORGÂNICA DO TRIGO	90
16	RESUMO DO PLANO DE ADUBAÇÃO PARA AS CULTURAS DE SOJA E TRIGO	92
17	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95

1 INTRODUÇÃO

A finalidade da educação tem por principal proposta o desenvolvimento do educando e da comunidade. Assim sendo, através dos conhecimentos adquiridos até então no curso de agronomia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) unidade de Sananduva-RS, busca-se aplicá-los e assim fazer ciência com embasamento técnico, de tal forma que possibilite o avanço da sociedade como um todo no que diz respeito a conhecimento.

A principal área envolvida nesse trabalho é a fertilidade do solo. Está contempla o estudo das propriedades físicas e químicas do solo, compreendendo-as, para que de tal maneira se consiga intervir, se necessário, e corrigir a fertilidade deste até os níveis adequados para atingir as produtividades esperadas para as culturas, sempre dando ênfase a sustentabilidade ambiental.

Sabe-se que para atingir a expectativa de rendimento é necessário que a fertilidade do solo esteja em níveis adequados. Isso significa que tanto as propriedades físicas quanto as propriedades químicas e biológicas devem estar adequadas. De outra parte, as condições climáticas necessitam ser favoráveis para cada cultura.

Entretanto, os nutrientes podem ser removidos do solo com a colheita, por lixiviação, erosão e imobilização pelos organismos. Pode ainda ocorrer a fixação no solo e assim, após sucessivos cultivos, a fertilidade do solo poderá diminuir e limitar o rendimento dos cultivos. Para evitar que isso ocorra o homem pode intervir com práticas de manejo e de correção da fertilidade do solo com o objetivo de elevar o rendimento das culturas até níveis que alcancem sustentabilidade econômica e ambiental (LUZ, 2002).

A cada ano que passa maior é a preocupação em como suprir a demanda crescente por alimentos de tal maneira que acompanhe o crescimento populacional sem prejudicar ainda mais os recursos naturais. Uma alternativa que se busca para tal problema é o aumento de produtividade por área e isso pode ser alcançado aplicando os conhecimentos da fertilidade do solo.

Usando destes conhecimentos, este trabalho almeja realizar uma avaliação da fertilidade do solo de uma área de cultivo de 9,1 hectares, localizada no município de Ibiaçá-RS. Essa área tem como forma de cultivo o plantio direto já consolidado, em sistema de sucessão de culturas, cultivado aveia preta (*Avena sativa*) para cobertura na estação de inverno e na estação do verão a cultura comercial da soja (*Glycine max*). Dessa forma o objetivo do presente trabalho foi realizar uma avaliação da fertilidade do solo através da coleta de amostras de solo e da interpretação de resultados das análises de solo e fazer um plano de calagem e adubação que possibilite realizar as correções da fertilidade do solo para que se consiga alcançar os rendimentos esperados de (4 ton.ha⁻¹) do trigo e da soja.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho foi realizar uma avaliação da fertilidade do solo de uma área de terra localizada no município de Ibiaçá-RS, com o intuito de elaborar um plano de adubação e calagem para atingir uma produtividade almejada de 4 ton.ha⁻¹ na cultura do trigo e também da soja.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir a divisão da área para coleta do solo;
- Coletar as amostras de solo para analisar em laboratório;
- Realizar a Interpretação dos resultados das análises de solo;
- Elaborar o plano de calagem e adubação para a cultura do trigo e da soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho inicialmente aponta um breve histórico da cultura do trigo e da soja, e a partir de então aborda os principais temas que envolvem a fertilidade do solo para as culturas agrícolas, como a ciência do solo, minerais do solo, área superficial específica, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (v%), calagem e acidez do solo, nutrientes (especificando mais sobre o NPK – nitrogênio, fósforo e potássio), principais tipos de fertilizantes minerais presentes no mercado, matéria orgânica do solo, análise química do solo. Aborda também os procedimentos de amostragem do solo, além do procedimento de interpretação da análise de solo para os estados do RS e SC, especialmente para a cultura do trigo e soja.

2.1 CULTURA DO TRIGO

Segundo Mori *et al.* (2016), o trigo é uma gramínea, Família Poaceae, Gênero *Triticum*, que possui várias espécies, cuja a principal é a *Triticum aestivum* L. Foi originada no sudoeste da Ásia, na região do Crescente Fértil, sua domesticação ocorreu à 10 mil anos e está diretamente ligada ao desenvolvimento da civilização humana. Essa domesticação fez parte do processo que deu a alteração de sistema nômade para sistema de povoados. O trigo chegou no Brasil no século 16, juntamente com a colonização, mais precisamente por volta de 1534 no estado de São Paulo, introduzida por Martin Afonso de Sousa. Assim, com o passar dos anos o trigo se espalhou para os demais estados e em 1627, conforme relato do padre Roque Gonzales de Santa Cruz, mais de 20 espécies de trigo estavam presentes no Rio Grande do Sul.

De acordo com Caierão (2014), no ano de 1919 juntamente com a criação das estações experimentais de Veranópolis- RS e de Ponta Grossa – PR, iniciou no Brasil o melhoramento genético dessa gramínea. Esse melhoramento contribuiu para o aumento das produtividades.

Segundo Mori *et al.* (2016), o melhoramento fez com que atualmente as plantas apresentem estatura baixa, ciclo mais precoce, folhas mais eretas e maior tolerância ao acamamento. Tudo isso fez triplicar a produtividade no país nas últimas três décadas. O potencial produtivo dessa cultura aqui no Brasil varia conforme as regiões. Na região Sul esse potencial pode chegar a 7 ton.ha⁻¹ em

parcelas experimentais e de 5 ton.ha⁻¹ em lavouras comerciais. Dessa forma, 90% da produção de trigo fica concentrada na região sul, onde o Paraná (PR) responde por 46,3% da quantidade total produzida no Brasil e o Rio Grande do Sul (RS) por 43,6%. No RS os principais municípios produtores de trigo são: São Luiz Gonzaga, Palmeira das Missões, Giruá, Tupanciretã, Muitos Capões e São Miguel das Missões. A partir de 1980 o trigo passou a ser cultivado cada vez mais em sistema de plantio direto (SPD). Atualmente, praticamente todas as áreas de cultivo são cultivadas nesse sistema de manejo do solo, ou seja, mantem-se a palha da cultura anterior sobre a superfície do solo, com revolvimento de solo restrito a linha de semeadura.

Para Conab (2017), o principal produto do trigo é a farinha de trigo destinada ao consumo humano. Dela surgem os principais produtos que são os pães, massas, biscoitos, bolos, mas também existem outros produtos, como os destinados a alimentação animal, dentre outros.

Segundo Mori *et al.* (2016), para se obter um bom desenvolvimento da cultura, é necessário ter no solo concentrações adequadas de macronutrientes (Ca, Mg, P, K, N e S), e também de micronutrientes (B, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni e Zi), avaliadas através da análise química do solo, permitindo assim realizar a reposição no solo dos nutrientes que se encontram em concentrações inferiores àquelas exigidas pela cultura, assim atingido o potencial produtivo esperado.

2.2 CULTURA DA SOJA

De acordo com Oliveira *et al.* (2019), a soja é uma leguminosa da Família Fabaceae, pertence ao Gênero *Glycine*, e este se subdivide em dois subgêneros: *Glycine* e *Soja*. Dentro do subgênero soja existem duas espécies conhecidas, *Glycine max* e *Glycine soja*. A soja cultivada é da espécie *Glycine max*. O centro de origem da soja é o continente Asiático, mais precisamente o nordeste da China. Esta cultura surgiu como uma planta rasteira. Sua evolução iniciou a partir de cruzamentos naturais entre duas espécies selvagens, domesticadas e melhoradas por cientistas na antiga China. De acordo com registros chineses, a soja teve importância econômica desde 5.000 anos A.C e foi considerada a leguminosa mais importante da China. A soja que no princípio era cultivada no sistema de preparo convencional, com o passar do tempo migrou aos poucos

para o SPD e, atualmente, praticamente todas as áreas cultivadas são nesse sistema. Os principais estados produtores são: Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul, Bahia e Minas Gerais. Na safra 2016/17 os estados do PR e SC bateram recorde nacional de produtividade chegando a 3.731 e 3.580 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Segundo Bonato & Bonato (1987), a soja foi domesticada em por volta do século XI A.C. Após isso, com o passar dos anos foi se espalhando pelo mundo. No Brasil o primeiro registro de cultivo que se tem data de 1882, com o cultivo de algumas variedades no estado da Bahia. Ainda em 1892 foram realizados os primeiros estudos no estado de São Paulo, na estação agrônômica de Campinas.

Para Oliveira *et al.* (2019), a cultura da soja cultivada no Brasil até 1941 era destinada para a produção de feno para a alimentação animal, principalmente vacas leiteiras cuja produção era concentrada em pequenas áreas no interior do RS. Assim, a primeira área de cultivo comercial da cultura ocorreu em 1941 no município de Santa Rosa – RS, em uma área de 640 hectares. O ano de 1949 marca o primeiro registro do Brasil como produtor de soja nas estatísticas internacionais, pois de 1941 a 1949 a produção no Brasil cresceu 56 vezes. A partir de então, a soja passou a ser cultivada pelo território brasileiro tornando-se o principal produto do agronegócio brasileiro, e a principal oleaginosa anual que é produzida e consumida no mundo. A soja destaca-se pelo seu alto valor nutricional, pois possui algumas vitaminas e minerais em maior quantidade que outros grãos. Em média a soja possui de 35 a 38% de proteína, de 18 a 21% de lipídeos, de 5 a 6% de minerais, e 34% de carboidratos. Dessa forma através da soja surgem vários derivados alimentícios. Entretanto, para ter um bom desenvolvimento da cultura e assim atingir o potencial produtivo esperado, é necessário ter no solo as concentrações dos macros e micronutrientes exigidas pela cultura. Essa avaliação é feita pela análise química do solo, permitindo assim realizar as correções necessárias.

2.3 CIÊNCIA DO SOLO

Nos primórdios, os seres humanos viviam como nômades coletando, caçando e pescando para poder sobreviver, com o passar dos tempos o solo se

tornou a fonte de sobrevivência para estes. O solo é um recurso ambiental que varia conforme seu material de origem, ele é um sistema vivo e está sempre em constante transformação, sendo uma das bases para desenvolver a vida terrestre (BRANDÃO *et al.*, 2021).

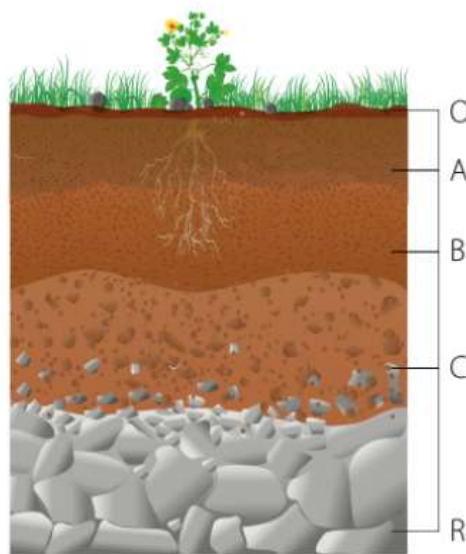
Segundo Pelinson *et al.* (2021), o solo é composto de materiais sólidos (minerais e matéria orgânica) e espaços vazios (onde irão conter água ou ar). Assim o solo é uma mistura complexa entre sólidos inorgânicos e orgânicos, ar, água, solutos, raízes das plantas, microrganismos e toda a biota do solo. Os fatores que são responsáveis para a formação geológica do solo são os processos químicos, físico e biológicos. O intemperismo das rochas dá início a formação do solo, que por sua vez é muito importante para a manutenção da vida da terra. Os solos estão expostos a processos de degradação ambiental com reflexos sobre a sua qualidade. Assim, o faz-se necessário o uso consciente e responsável deste recurso natural, uma vez que o grau de dependência do ser humano com relação ao solo tende a aumentar, e a sua preservação é essencial para garantir a continuidade da vida humana.

A ciência do solo surgiu através das diferenças de percepções e do desenvolvimento do pensamento científico das ciências como a geologia, biologia, física e química, intensificando-se a partir do século XIX, tornando a ciência do solo uma ciência consolidada, quando ocorreu um aprofundamento da pedologia que é a ciência da gênese, morfologia e classificação dos solos (PELINSON *et al.*, 2021).

De acordo com Brandão *et al.* (2021), quando a rocha sofre o intemperismo inicia a formação do solo. Minerais da rocha são transformados em argilas, permitindo a vida de pequenas plantas e animais, que quando morrem se transformam em matéria orgânica. Dessa forma, começa a infiltrar água e minerais para camadas mais profundas e através dos processos físicos, químicos e biológicos, surgem uma série de camadas paralelas a superfície que são chamadas de horizontes. Com o passar dos tempos o intemperismo se intensifica e os minerais primários são transformados em secundários formando os argilominerais silicatados e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. De maneira geral o solo é composto por quatro horizontes, o horizonte O, que é a

camada exposta do solo, está contém uma maior concentração de materiais orgânicos. O horizonte A, que é uma camada com sinais de intemperismo e pode apresentar matéria orgânica. O horizonte B, que é a camada mais intemperizada, o horizonte C, uma camada composta por rochas decompostas, sendo que após isso tem-se o R que é então o material de origem do solo. Na figura 1 temos a representação destes horizontes que, comumente, compõe o perfil do solo: horizonte O; A; B; C, além do R que é o material de origem do solo.

Figura 1: Horizontes do solo



Fonte: Brandão *et al.* (2021)

O solo agrícola ideal deve apresentar aproximadamente 45% de minerais, 5% de matéria orgânica, 50% de espaços porosos, sendo que destes 50%, 25% seja preenchido com ar e 25% preenchido com água, conforme a figura 2 (BRANDÃO *et al.*, 2021).

Figura 2: Composição do Solo agrícola ideal



Fonte: Brandão *et al.* (2021)

Segundo Pelinson *et al.* (2021), no Brasil a ciência do solo contempla os seguintes pontos:

- correção da fertilidade natural do solos;
- elevação da fertilidade dos solos;
- neutralização da acidez do solo;
- agrupamento e indicações de solos apropriados para determinadas culturas;
- preservação dos solo.

2.4 MINERAIS DO SOLO

Segundo Finkler *et al.* (2018), os minerais são derivados das rochas que constituem a fase sólida do solo juntamente com a fração orgânica, são divididas por tamanho e por comportamento químico. Assim, a parte mineral dos solos é dividida em minerais primários e secundários. Os primários são aqueles que se formam primeiro a partir do material de origem, que são o quartzo, feldspatos, as micas e olivina. Os secundários indicam o intemperismo, são originados dos minerais primários, ou herdados do material de origem. Os filossilicatos (argilominerais), carbonatos de cálcio e magnésio e óxidos de ferro e alumínio representam as menores partículas do solo, possuindo um diâmetro abaixo de 0,002 mm. Os argilominerais apresentam camadas sobrepostas de tetraedros de silício e octaedro de alumínio. A sobreposição de camadas de tetraedros e de

octaedros determina os tipos de minerais. Assim, a sobreposição de uma lâmina de tetraedro com uma lâmina de octaedro resulta na formação de mineral de argila do tipo 1:1. Já a sobreposição de duas lâminas de tetraedro separadas por uma lâmina de octaedro resulta na formação de mineral de argila do tipo 2:1.

De acordo com Brandão *et al.* (2021), a fase sólida do solo é classificada em partículas dispersas ou coesas, que formam agregados a depender dos seus tamanhos e pela presença de matéria orgânica, argilominerais e silicatos. Assim, o tipo e tamanho das partículas presentes definem a textura do solo.

Na tabela 1 temos a classificação quanto ao tipo e tamanho das partículas do solo, sendo as pedras a maiores e as argilas as menores e mais reativas.

Tabela 1: Textura do solo

Classificação	Tamanho (mm)
Calhaus ou pedras	200-20
Cascalho	20-2,00
Areia muito grossa	2,00-1,00
Areia grossa	1,00-0,50
Areia média	0,50-0,25
Areia fina	0,25-0,10
Areia muito fina	0,10-0,05
Silte	0,05-0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Brandão *et al.* (2021)

2.5 ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA

Segundo Pelinson *et al.* (2021), as partículas sólidas do solo têm tamanhos variados. Algumas tem poucas atividades físico-químicas, como a areia, pedras e cascalhos. Porém, existe um grupo chamado de partículas coloidais que são formados pelas argilas e matéria orgânica. Estas têm um tamanho reduzido e são quimicamente ativas, ou seja, quanto menor o tamanho da partícula maior sua área superficial específica (ASE).

Na tabela 2 é apresentada uma comparação da ASE de alguns minerais. Pode-se constatar que a areia grossa tem maior diâmetro e menor ASE, ocorrendo ao contrário com a argila.

Tabela 2: Comparação ASE

Fração	Composição mineralógica	Diâmetro (mm)	ASE (m²g⁻¹)
Areia grossa	Quartzo	2,0–0,2	0,01
Areia fina	Quartzo	0,2–0,05	0,1
Silte	Minerais 1º	0,05–0,002	1
Argila	Minerais 2º	< 0,002	5–800

Fonte: Pelinson *et al.* (2021)

Para Pelinson *et al.* (2021), essas micropartículas chamadas de coloides são muito reativas, pois, sua superfície está repleta de cargas. Quanto menor for o tamanho da partícula maior sua ASE e assim maior é a quantidade de cargas que são as responsáveis por reter os íons no solo. Assim, as partículas coloidais tem maior capacidade de reação química no solo do que partículas maiores como areia. Solos com grande quantidade de coloides apresentam melhores propriedades físico-químicas, pois, é na superfície dos coloides que ocorre o processo de adsorção dos íons. As argilas do tipo 2:1 apresentam maior ASE e por apresentarem maior atividade, adsorvem maior quantidade de íons, quando comparadas as argilas 1:1.

As cargas elétricas presentes nas superfícies dos coloides são geralmente negativas. As cargas presentes nos coloides variam de acordo com o material de origem, pH do solo e grau de intemperismo. As cargas negativas atraem elementos com cargas positivas que estão na solução do solo (em formas solúveis) e estes ficam adsorvidos aos coloides de forma reversível, pois pode resultar também na dessorção (liberação), destes para a solução do solo. Quanto maior for a valência do cátion mais adsorvido ele é, assim a força de adsorção ocorre: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^{+}$. O alumínio é mais fortemente adsorvido em valores de pH do solo baixo, outro fator que faz com que os íons sejam mais fortemente

adsorvidos é com relação ao seu raio de hidratação. Assim, quanto menor o raio de hidratação mais fortemente ele é adsorvido, razão pela qual o hidrogênio H⁺, por apresentar um pequeno raio de hidratação, ser retido com maior energia. Também quanto maior a concentração do elemento no solo maior será a sua adsorção (PELINSON *et al.*, 2021).

2.6 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC), E SATURAÇÃO DE BASES (V%)

De acordo com Pelinson *et al.* (2021), a CTC indica a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de massa. A CTC varia com o pH do solo e se ela for determinada no pH original do solo é chamada de CTC efetiva. Já se for determinada em uma solução tamponada a pH 7,0, é chamada de CTC potencial.

Assim a CTC potencial é a soma: $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + |Al + H|$

A CTC efetiva é a soma: $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + Al^{3+}$

A Saturação de bases (V%), expressa quanto da CTC potencial está ocupada por cátions básicos que são o cálcio, magnésio, sódio e potássio, em relação a CTC potencial.

Assim o valor de V% é: $((Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}) / CTC \text{ potencial}) * 100$

Segundo Nogueira *et al.* (2020), o solo é considerado um grande reservatório de nutrientes minerais e para o nutriente ser absorvido pela planta este deve estar disponível na solução do solo na forma iônica, pois a raiz da planta não consegue absorver um nutriente que está adsorvido ao coloide de solo. A quantidade de íons presente na solução de solo deve estar em equilíbrio com a fase sólida. Desta forma, quando um nutriente é absorvido pela planta, a fase sólida repõe este na solução mantendo assim o equilíbrio.

2.7 CALAGEM E ACIDEZ DO SOLO

Conforme Wiethölter, (2000), a calagem tem como significado aplicar qualquer composto ao solo que contenha Ca ou Mg e que este seja capaz de reduzir a acidez do solo. As principais substâncias são os carbonatos, e os óxidos e hidróxidos de Ca e Mg. A calagem é uma das práticas agrícolas mais

antigas, pois há registros de que foi usada pelos romanos a três mil anos. Provavelmente os romanos aprenderam com os gregos, pois estes aplicavam depósitos de argila mesclada com calcário ao solo. No Brasil a calagem vem sendo utilizada desde a década de 20, sendo que em 1923 no RS se instalou a primeira indústria de calcário. A grande parte dos solos brasileiros em sua forma original são ácidos e também apresentam deficiências de nutrientes. Na figura 3, temos que o Brasil apresenta solos ácidos, e que um solo ácido é aquele que apresenta o valor de potencial de hidrogênio (pH) inferior a 7, acima de 7 o solo é alcalino ou básico, e igual a 7 é neutro.

Figura 3: Escala de Ph



Fonte: <https://studylibpt.com/doc/1313646/ph-do-solo>

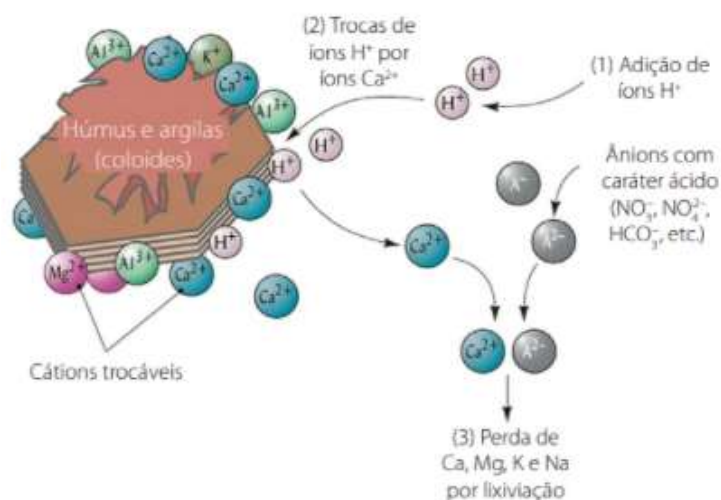
Dessa forma o pH é representado pela seguinte equação:

$$pH = -\log [H^+] = \frac{1}{\log[H^+]}$$

Segundo Brandão *et al.* (2021), o pH indica a atividade de íons H^+ livres medida na solução do solo. Quanto maior a concentração de íons hidrogênio na solução do solo mais ácido será o solo, o que resulta em um valor de pH baixo, ($pH < 7$). Por outro lado, uma baixa concentração de íons hidrogênio na solução do solo ou a presença de hidroxilas OH^- caracteriza um sistema básico, ou pH alto ($pH > 7$). Em relação a concentração de íons H^+ nas soluções, esta é apresentada na forma de pH que representa uma expressão logarítmica da concentração de H^+ na solução. Isso implica que a alteração de um valor de pH 6 para pH 5 representa um aumento de dez vezes na concentração de H^+ na solução.

A acidificação dos solos é um processo natural que faz parte do envelhecimento dos solos, ou seja, quanto mais intemperizado, mais velho o solo é, e, portanto, se torna ácido. Assim, devido ao clima com elevadas temperaturas e chuvas intensas, o Brasil possui solos intemperizados que são predominantemente ácidos. A produção de íons H^+ aumenta a acidez do solo, e o consumo desses íons atrasa a acidificação conduzindo o solo para alcalino. Na figura 4, pode-se observar como ocorre o processo de acidificação, onde os íons H^+ e Al^{3+} , fazem com que os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , sejam removidos dos coloides do solo onde então se liga os íons H^+ e Al^{3+} , sendo que esses cátions que são nutrientes para as plantas são perdidos por lixiviação, tornando o solo pobre em nutrientes. Em outras palavras com a redução do pH ocorre a redução de CTC e da saturação de bases (V%) desse solo (BRANDÃO *et al.*, 2021).

Figura 4: Acidificação



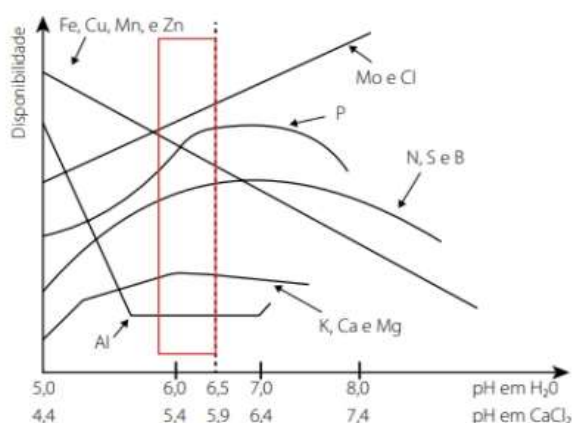
Fonte: Brandão *et al.* (2021)

Com a diminuição do pH ocorre o aumento da disponibilidade de Alumínio e Manganês para as plantas, sendo que o alumínio é tóxico e prejudica o desenvolvimento das culturas, pois ele faz com que ocorra o engrossamento das raízes dificultando a absorção de nutrientes e água, principalmente nas culturas de grãos, enquanto o manganês promove a diminuição do crescimento foliar. Com aumento de alumínio na solução este acaba retirando hidroxilas da água liberando assim hidrogênio no meio, contribuindo para o processo de acidificação do solo. Outra origem da acidez está relacionada com a decomposição dos resíduos devido a atividade dos microrganismos, ou seja, devido essa decomposição é gerado CO_2 , este quando se liga a água forma ácido carbônico liberando hidrogênio no meio acidificando o solo. Da mesma forma ocorre quando é aplicado fertilizantes que contenham nitrogênio ou até mesmo a decomposição da matéria orgânica que também tem nitrogênio, esse nitrogênio na forma de amônio será transformado em nitrato, liberando hidrogênio para o solo, sendo que esse nitrato por ser muito solúvel e com carga negativa percola ao solo levando com ele cátions como o cálcio, magnésio ou potássio, favorecendo a presença do hidrogênio e alumínio na solução (BRANDÃO *et al.*, 2021).

De acordo com Camargos (2005), o pH do solo afeta diretamente quantidade de nutrientes e compostos químicos que são solúveis na solução do

solo, e assim afeta no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que a medida que o pH sobe na escala de ácido no sentido a neutro, aumenta a disponibilidade de Ca, Mg, K, P e Mo, e diminui a disponibilidade de Fe, Al, Mn, Cu e Zn, o contrário também é verdadeiro. Podemos ver mais detalhado na figura 5 onde, temos a representação gráfica do efeito da variação do pH na disponibilidade dos nutrientes, sendo que a faixa de pH que seria ideal para um bom desenvolvimento das culturas de grãos é de 5,5 a 6,5.

Figura 5: pH e disponibilidade



Fonte: Brandão *et al.* (2021)

Segundo Camargos (2005), existem quatro tipos de acidez do solo, que são:

- acidez ativa: é a acidez da solução do solo, acidez no meio líquido;
- acidez trocável: é a acidez que considera os íons Alumínio e Hidrogênio adsorvidos nas cargas negativas dos coloides do solo, sendo que estes estão em forma trocável, ou seja, estes íons estão retidos eletrostaticamente nos coloides do solo;
- acidez não-trocável: são as ligações covalentes do H⁺ e Al⁺³ com os coloides do solo;
- acidez potencial: é a acidez trocável mais íons Alumínio e Hidrogênio não trocáveis (alumínio e hidrogênio retidos por ligações covalentes nos coloides e matéria orgânica do solo), essa acidez é a usada para cálculo de CTC (capacidade de troca de cátions do solo) e do valor de V% (saturação por bases).

Segundo Brandão *et al.* (2021), a neutralização da acidez do solo é feita usualmente a partir da aplicação de calcário, podendo ser carbonato de cálcio ou carbonato de magnésio (CaCO_3 , MgCO_3), onde cada molécula seja de carbonato de cálcio ou de magnésio libera duas hidroxilas. Essas reagem com o hidrogênio e com o alumínio neutralizando-os e assim consegue-se aumentar o pH do solo nos níveis adequados, neutralizando o efeito tóxico do alumínio e manganês, fornecendo cálcio e magnésio. Além disso, aumenta a CTC e a saturação por bases (V%) ocorrendo uma maior disponibilidade dos nutrientes.

Na tabela 3 constam os principais compostos que tem a capacidade de reduzir a acidez do solo. Os mais conhecidos e utilizados são o calcário calcítico e dolomítico.

Tabela 3: Principais compostos para reduzir acidez

Nome comum do material calcário	Fórmula química (do material puro)	% CaCO_3 equivalente	Comentário sobre a fabricação e o uso
Calcário calcítico	CaCO_3	100	Rocha natural moída até o pó fino. Baixa solubilidade; pode ser armazenado a céu aberto sem cobertura, não cáustico, reage devagar
Calcário dolomítico	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	95-108	Rocha natural moída até o pó fino, reação um pouco mais vagarosa do que a do calcário calcítico. Fornece Mg às plantas
Calcário calcinado (óxido de cal)	CaO (+ MgO , se fabricado a partir de rocha calcária dolomítica)	178	Cáustico, reação rápida, pode queimar a folhagem, custo alto. Feito por calcinação de calcário. Protege da umidade
Cal hidratada (hidróxido de cal)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (+ $\text{Mg}(\text{OH})_2$, se fabricado a partir de rocha calcária dolomítica)	134	Cáustico, reação rápida, pode queimar a folhagem, custo alto. Elaborado misturando-se o CaO cáustico com água
Escórias básicas	CaSiO_3	70	Subproduto da indústria siderúrgica. Deve ser finamente moído. Contém também 1-7% de P
Margas	CaCO_3	40-70	Usualmente minerado de camadas costeiras rasas e moído antes de ser usado. Pode ser misturado com solo ou turfa
Cinzas de madeira	CaO , MgO , K_2O , $\text{K}(\text{OH})$, etc.	40	Cáustico, bastante solúvel em água, deve ser protegido da água durante armazenamento
Subprodutos diversos contendo calcário	Frequentemente CaCO_3 , com várias impurezas	20-100	Composição variável; teste para as impurezas tóxicas

Fonte: Brandão *et al.* (2021)

De acordo com SBCS (2016), para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul a calagem visa promover um ambiente adequado para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Esse ambiente adequado é alcançado quando se atinge o pH de referência para a cultura em análise, que no caso de culturas de grãos, o pH de referência é 6,0. A tomada de decisão,

quanto realização ou não da calagem, indicada no manual deve considerar se o valor de pH em água é inferior ou superior a 5.5. Também deve-se considerar se o valor de V% estiver maior ou menor que 65%. Como critério complementar, deve-se levar em conta o valor da saturação por alumínio. Caso não houver restrição na camada de 10 a 20, ou seja, no caso da saturação por alumínio ser inferior a 30%, se necessária a realização da calagem, esta poderá ser realizada com a aplicação de calcário em superfície, na quantidade de $\frac{1}{4}$ do valor indicado na tabela do índice SMP para elevar o pH até o valor de 6,0. A quantidade limite de calcário quando da aplicação em superfície é de 5 ton.ha⁻¹ com PRNT de 100%. Caso existir restrições na camada 10 a 20 cm, ou seja, quando a saturação por alumínio for superior a 30% e as médias de produtividades estejam inferiores à média da região, principalmente em anos de estiagem, teores de P inferiores aos teores críticos e camadas compactadas de 10 a 20 cm que estejam limitando o desenvolvimento radicular, deve-se aplicar a quantidade média de 1 SMP indicada para atingir o pH 6,0 para as camadas de 0-10 e 10-20 cm e essa aplicação deve ser feita de forma incorporada. Caso os teores de P estiverem abaixo do indicado, deve ser feita sua correção juntamente com a calagem.

Na tabela 4 podemos observar aspectos sobre a tomada de decisão para a calagem do solo, assim, sabendo o sistema de manejo do solo ou cultura, ou seja, se é convencional ou plantio direto, ou é a cultura do arroz irrigado, dessa forma para cada sistema de manejo destes existem critérios para tomada de decisão com relação a calagem.

Tabela 4: Tomada de decisão para calagem

Sistema de manejo do solo ou cultura	Condição da área	Amostragem do solo (cm)	pH de referência	Tomada de decisão	Quantidade de calcário	Modo de aplicação
Convencional	Em todos os casos	0 a 20	6,0	pH < 5,5	1 SMP para pH _{agua} 6,0	Incorporado ⁽²⁾
Plantio direto	Implantação do sistema	0 a 20		pH < 5,5	1 SMP para pH _{agua} 6,0	Incorporado ⁽²⁾
	Sistema consolidado, sem restrições na camada de 10 a 20 cm	0 a 10 ⁽⁴⁾		pH < 5,5 ⁽¹⁾	¼ SMP para pH _{agua} 6,0	Superficial ⁽⁵⁾
	Sistema consolidado, com restrições ⁽³⁾ na camada de 10 a 20 cm	10 a 20 ^{(4), (6)}		pH < 5,5 e Al ≥ 30%	1 SMP para pH _{agua} 6,0 ⁽⁷⁾	Incorporado ^{(2), (8)}
Arroz irrigado	Semeadura em solo seco	0 a 20	5,5	pH < 5,5 ⁽¹⁾	1 SMP para pH _{agua} 5,5	Incorporado
	Pré-germinado ou transplante de mudas	0 a 20	—	V ≤ 40% ⁽⁸⁾	NC = (40 - V%) / 100 * CTC _{pH7,0}	Incorporado

⁽¹⁾ Não aplicar quando V ≥ 65% e saturação por Al na CTC < 10%.

⁽²⁾ Quando a disponibilidade de P e de K forem menores do que o teor crítico, recomenda-se fazer a adubação de correção com incorporação de fertilizantes aproveitando a mobilização do solo pela calagem.

⁽³⁾ Considerar na decisão de incorporar o calcário a ocorrência de produtividade das culturas abaixo da média local, especialmente em anos de estiagem; compactação do solo restringindo crescimento radicular em profundidade; e disponibilidade de fósforo na camada de 10 a 20 cm abaixo do teor crítico.

⁽⁴⁾ Amostrar separadamente as camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm.

⁽⁵⁾ Quantidade aplicada em superfície limitada a 5 t/ha (PRNT 100%)

⁽⁶⁾ Tomada de decisão independente da condição do solo da camada 0 a 10 cm.

⁽⁷⁾ Usar valor de SMP médio das duas camadas (0 a 10 e 10 a 20 cm) para definir a dose de calcário a ser incorporado.

⁽⁸⁾ Não aplicar se Ca trocável ≥ 4,0 e Mg trocável ≥ 1,0 cmol/dm³.

Fonte: SBCS, (2016)

A tabela 5 contém a indicação da quantidade de calcário em ton.ha⁻¹ de acordo com índice SMP observado no resultado da análise de solo, para atingir o pH de referência. No caso de culturas produtoras de grãos esse pH é de valor 6,0 (pH desejado), sendo que essa quantidade de calcário indicada para calcário com PRNT de 100 % (SBCS, 2016).

Tabela 5: Determinação da quantidade de calcário pelo índice SMP

Índice SMP	pH desejado		
	5,5	6,0	6,5
	t/ha ⁽²⁾		
≤ 4,4	15,0	21,0	29,0
4,5	12,5	17,3	24,0
4,6	10,9	15,1	20,0
4,7	9,6	13,3	17,5
4,8	8,5	11,9	15,7
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,6	9,9	13,3
5,1	6,0	9,1	12,3
5,2	5,3	8,3	11,3
5,3	4,8	7,5	10,4
5,4	4,2	6,8	9,5
5,5	3,7	6,1	8,6
5,6	3,2	5,4	7,8
5,7	2,8	4,8	7,0
5,8	2,3	4,2	6,3
5,9	2,0	3,7	5,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,1	1,3	2,7	4,3
6,2	1,0	2,2	3,7
6,3	0,8	1,8	3,1
6,4	0,6	1,4	2,6
6,5	0,4	1,1	2,1
6,6	0,2	0,8	1,6
6,7	0	0,5	1,2
6,8	0	0,3	0,8
6,9	0	0,2	0,5
7,0	0	0	0,2
7,1	0	0	0

Fonte: SBCS, (2016)

De acordo com SBCS (2016), além do uso da tabela o índice SMP para a determinação da quantidade de calcário a ser aplicada, pode-se usar para os estados do RS e SC para áreas em plantio direto também o método de saturação por bases, usando a seguinte equação:

$$Nc = \frac{(V2 - V1) * CTC}{100} = \frac{ton}{ha}$$

Onde:

Nc é a necessidade de calcário em toneladas por hectare com PRNT de 100%;

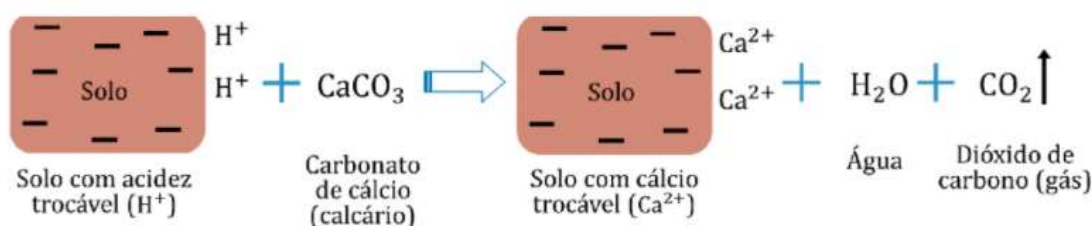
V2 é a saturação por bases a pH desejado, sendo 65% para pH de 5,5, 75% para pH de 6,0 e 85% para pH de 6,5.

V1 é a saturação por bases a pH do solo analisado;

CTC é a CTC potencial do solo analisado.

Na figura 6 pode-se observar como ocorre a reação do calcário no solo. Em solo ácido ocorre a presença de hidrogênio e alumínio, sendo que os carbonatos (CaCO_3) reagem com a água, liberam hidroxilas (OH^-), que então neutralizam o hidrogênio ao formarem água (H_2O). No processo também ocorre a formação de CO_2 que é liberado a atmosfera, e o cálcio fica então disponível no solo. O processo com o Al é semelhante, pois, é a hidroxila que vai neutralizar o alumínio, sendo que cada Al^{3+} , precisa de três hidroxilas para neutralizá-lo (BRANDÃO *et al.*, 2021).

Figura 6: Processo de calagem



Fonte: Brandão *et al.* (2021)

2.8 NUTRIENTES

Para Nogueira *et al.* (2020), nutrientes são elementos essenciais, sendo que para ser considerado essencial, este deve atender três critérios que são:

- O elemento deve estar diretamente envolvido no metabolismo da planta;
- A planta não é capaz de completar seu ciclo sem esse elemento;
- Nenhum outro elemento poderá substituir este.

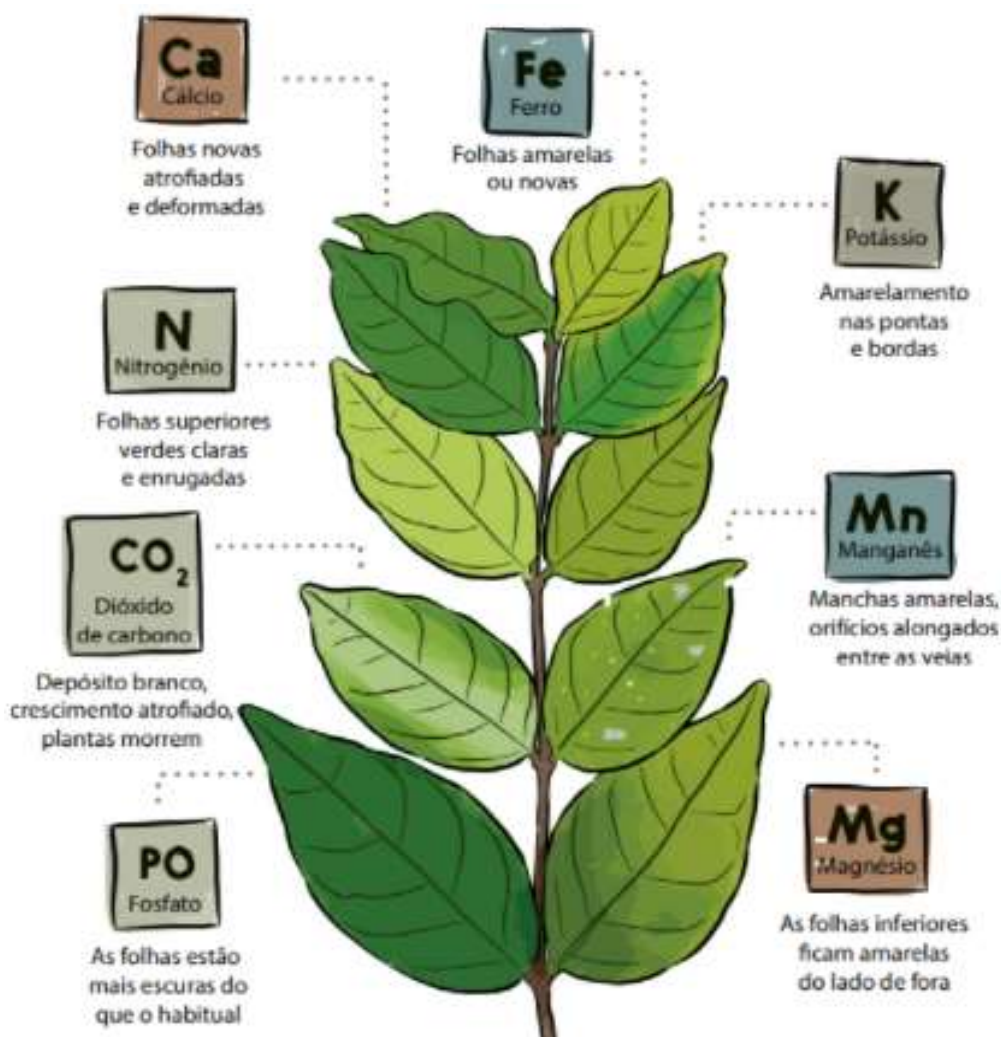
Obedecendo estes três critérios o elemento é chamado de essencial, e por isso é um nutriente, que são divididos em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são chamados assim porque as plantas necessitam destes em grandes quantidades. Os macronutrientes são seis: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S). Os micronutrientes têm essa denominação por serem absorvidos pelas plantas em pequenas quantidades, são oito: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Cobre (Cu), Boro (B), Cloro (Cl), Zinco (Zn) e Níquel (Ni) (NOGUEIRA *et al.*, 2020).

Segundo Brandão *et al.* (2021), além dos nutrientes, existem também os elementos benéficos, e os elementos tóxicos. Os elementos benéficos são aqueles que quando presentes são capazes de contribuir para o crescimento e produção das plantas. São considerados elementos benéficos o Cobalto (Co), que atua no processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico, realizado por organismos fixadores; o Silício (Si) que atua na prevenção da incidência de pragas, gera maior resistência ao acamamento e proporciona folhas eretas; o Sódio (Na), que ajuda em algumas espécies aumentarem a eficiência da fotossíntese, e também pode em algumas circunstâncias substituir o potássio.

Os elementos tóxicos são aqueles que prejudicam o desenvolvimento das plantas. O principal deles é o Alumínio (Al^{+3}), que faz com que ocorra um menor crescimento e maior engrossamento das raízes, diminuindo assim a absorção e transporte de água e nutrientes. Além do Alumínio, temos o Cromo (Cr), Flúor (F), Chumbo (Pb) e Bromo (Br) que também se apresentam como elementos tóxicos (BRANDÃO *et al.*, 2021).

Assim, segundo Nogueira *et al.* (2020), para a planta ter um adequado desenvolvimento e crescimento vegetal, necessita-se ter presente e disponível no solo para serem absorvidos os macros e os micronutrientes em quantidade adequadas e balanceadas. A falta ou excesso destes pode acarretar em sintomas nas plantas como os que constam na figura 7. Problemas na formação dos nós e anomalias do crescimento e desenvolvimento das folhas são os sintomas mais comuns. Plantas com deficiências em nutrientes móveis são afetadas primeiramente nas zonas mais antigas, como as folhas, enquanto as deficiências em nutrientes imóveis são manifestadas nas zonas jovens da planta.

Figura 7: Sintomas visíveis de deficiências por falta de nutrientes



Fonte: Nogueira *et al.* (2021)

2.8.1 Nitrogênio

De acordo com Kerbauy, (2019), o nitrogênio é um nutriente necessário em grande quantidade para as plantas, além disso é um dos elementos que mais limitam o crescimento e produção de culturas agrícolas, este participa da composição de biomoléculas, como as proteínas, clorofilas e nucleotídeos. O N se apresenta em diversos compartimentos da biosfera, ocorrendo em nitrogênio molecular (N₂), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amônia (NH₃), óxidos de nitrogênio (NO_x, NO, NO₂ e N₂O) e também os compostos orgânicos nitrogenados (Aminoácidos, bases nitrogenadas entre outros). Assim um conjunto de interações físicas, químicas e biológicas compõe o ciclo do nitrogênio. O maior reservatório de nitrogênio é a atmosfera, onde 78% de todo o volume da

atmosfera é nitrogênio, ele se apresenta na forma de N_2 , porém esta forma não é disponível para as plantas, pois o nitrogênio N_2 apresenta uma tripla ligação entre os átomos de N, sendo assim uma ligação estável difícil de quebrar, onde para o nitrogênio ficar disponível para as plantas essas ligações devem ser quebradas e o nitrogênio ser transformado em composto nitrogenado como o nitrato e a amônia, esse processo é conhecido como fixação do nitrogênio, que ocorre em processos industriais e naturais.

No processo industrial chamado de Haber-Bosch, em altas temperaturas e pressões um catalisador faz a conversão de N_2 e hidrogênio molecular em amônia, é um processo que demanda de alta energia gerando elevados custos e grandes emissões de CO_2 , sendo assim esse processo é a base para a produção de fertilizantes agrícolas nitrogenados. No processo natural o nitrogênio pode ser fixado pela ação de relâmpagos, que utiliza a energia das descargas elétricas que converte o N_2 em HNO_3 , que é a forma protonada do nitrato, este é levado ao solo através da chuva. Porém a maior parte do nitrogênio fixado é pela fixação biológica de nitrogênio, cerca de 90%, esse processo ocorre através da ação de microrganismos chamados de diazotróficos, que podem viver em simbiose (chamados de rizóbios) com plantas da família Fabaceae (leguminosas), ou microrganismos que vivem em vida livre no solo. Esses microrganismos apresentam uma enzima chamada de nitrogenase que quebra as ligações do N_2 , e converte em amônia, onde a amônia que sobra de seus metabolismos é fornecida as plantas. Além das plantas esse processo de fixação biológica de nitrogênio ocorre em cianobactérias (KERBAUY, 2019),

2.8.2 Potássio

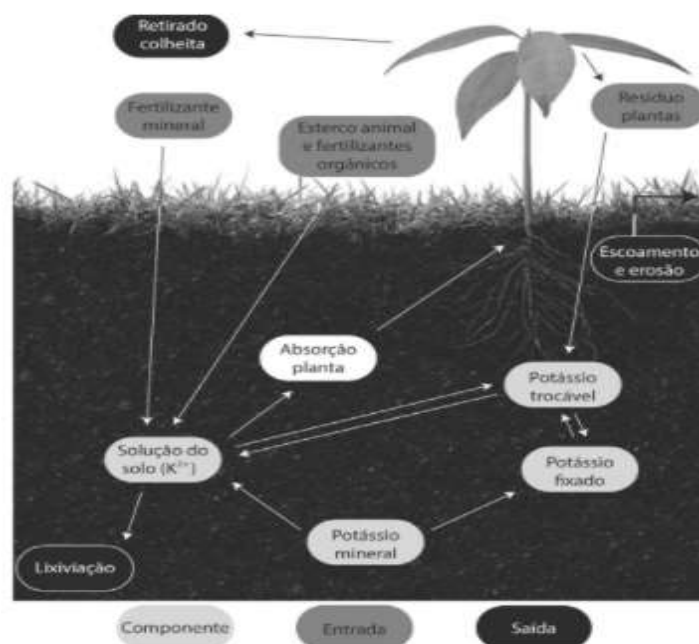
Segundo Finkler *et al.* (2018), o potássio é encontrado na solução do solo como K^+ , assim o potássio é adsorvido na solução do solo pelas cargas negativas dos coloides do solo, assim quando baixa a concentração na solução do solo devido a absorção das plantas a concentração é mantida em equilíbrio devido as trocas com os coloides do solo. Além do potássio existente no solo, existe o potássio dos fertilizantes minerais que é o cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato de potássio e magnésio (K-Mg), nitrato de potássio (KNO_3) e salitre potássico (KNO_3 e $NaNO_3$). Dessa forma o potássio inserido no solo na forma mineral é encontrado como K solução e pode ser

adsorvido a CTC do solo, podendo retornar à solução quando houver desequilíbrio entre fase sólida e solução do solo. Além do potássio dos fertilizantes existe o potássio devido o intemperismo dos minerais que contém K em sua estrutura.

Para Brandão *et al.* (2021), o potássio participa de todas as etapas do processo de desenvolvimento das plantas, participando da germinação até final do ciclo, é um nutriente importante para prevenção de estresse da planta, como a falta de água, variações de temperaturas, salinidade, presença de metais tóxicos, etc.

De acordo com Finkler *et al.* (2018), nos solos do Brasil, apesar de ele ficar retido nos coloides do solo por meio da CTC, o potássio apresenta alta mobilidade. Solos altamente intemperizados apresentam baixa CTC, já solos argilosos tem alta CTC, portanto em solos argilosos o potássio fica mais fortemente retido na CTC, ocorrendo menor lixiviação que em solos arenosos. Na figura 8 vemos a dinâmica do potássio no solo, onde a representação em cinza claro é o elemento potássio, cinza mais escuro é a entrada deste no solo, e em preto são as perdas de potássio.

Figura 8: Dinâmica do potássio

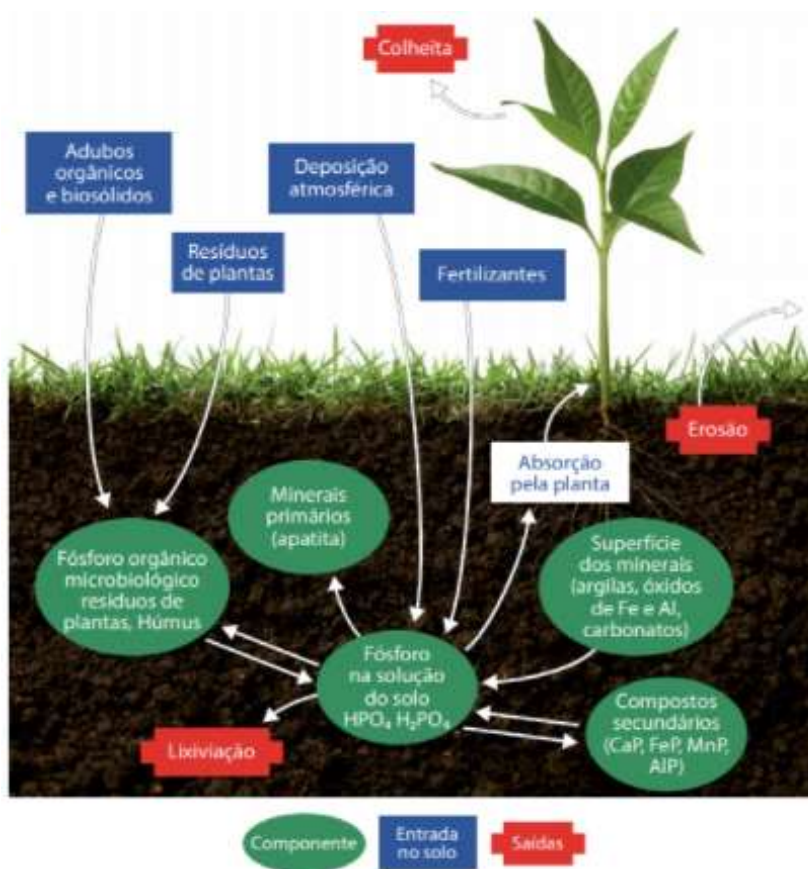


Fonte: Finkler *et al.* (2018)

2.8.3 Fósforo

De acordo com Brandão *et al.* (2021), o fósforo é encontrado em fontes inorgânicas e orgânicas, é um nutriente pouco móvel no solo, sendo fixado a matriz coloidal. Os fertilizantes a base de fósforo são originados de rochas como a apatita, sendo estes a forma inorgânica do fósforo, a forma orgânica dele é proveniente de decomposição de animais e restos culturais. Sua absorção pelas plantas ocorre na forma HPO_4^{2-} e $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, onde as funções deste dentro da planta é relacionada ao armazenamento e transferência de energia, ele integra compostos vegetais como ésteres de carboidratos, nucleotídeos e ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolipídeos e fosfato de açúcares. Assim para ser absorvido pelas plantas ele deve estar disponível na solução do solo, sendo que os solos brasileiros são pobres em fósforo. Na figura 9 temos a dinâmica do fósforo, onde a representação em verde é o elemento fósforo, em azul é as entradas de fósforo no solo, e em vermelho são as perdas deste.

Figura 9: Dinâmica do fósforo



Fonte: Brandão *et al.* (2021)

2.8.4 Tipos de fertilizantes minerais

Segundo SBCS, (2016), o manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC, traz a tabela 6, que apresenta os tipos de fertilizantes minerais presentes no mercado, bem como os nutrientes que cada um deles fornece, com suas respectivas concentrações, entretanto existem as misturas comerciais granuladas de N-P-K que são amplamente utilizadas.

Tabela 6: Fertilizantes minerais e seus teores mínimos, fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos

Fertilizantes	Garantia mínima	Observações
Nitrogenados		
Uréia	45% de N	
Sulfato de amônio	20% de N	22 a 24% de S
Nitrato de amônio	32% de N	
Nitrato de cálcio	14% de N	16 a 19% de Ca
Fosfatados		
Superfosfato simples	18% de P ₂ O ₅ em CNA+água ⁽¹⁾ 15% de P ₂ O ₅ em água ⁽²⁾	16 a 20% de Ca e 8 a 12% de S
Superfosfato triplo	41% de P ₂ O ₅ em CNA+água 36% de P ₂ O ₅ em água	10 a 14% de Ca
Fosfato monoamônico (MAP)	48% de P ₂ O ₅ em CNA+água 44% de P ₂ O ₅ em água	9% de N
Fosfato diamônico (DAP)	45% de P ₂ O ₅ em CNA+água 38% de P ₂ O ₅ em água	17% de N
Fosfato natural parcialmente acidulado	20% de P ₂ O ₅ total ⁽³⁾ 9% de P ₂ O ₅ em CNA+água 5% de P ₂ O ₅ em água	16 a 27% de Ca, 0 a 6% de S e 0 a 2% de Mg
Termofosfato magnesiano	17% de P ₂ O ₅ total 11% de P ₂ O ₅ em ácido cítrico ⁽⁴⁾ 24% de P ₂ O ₅ total	7% de Mg e 16 a 20% de Ca
Fosfato natural	4% de P ₂ O ₅ em ácido cítrico 27% de P ₂ O ₅ total (farelado)	20 a 27% de Ca
Fosfato natural reativo ⁽⁵⁾	9% de P ₂ O ₅ em ácido cítrico 20% de P ₂ O ₅ total	28 a 34% de Ca
Farinha de ossos calcinada	16% em ácido	Se autoclavado pode conter 1% de N
Potássicos		
Cloreto de potássio	58% de K ₂ O em água	45 a 48% de Cl
Sulfato de potássio	48% de K ₂ O em água	15 a 17% de S

Fonte: SBCS, (2016)

2.8.5 Matéria orgânica do solo

Para Pelinson *et al.* (2021), a matéria orgânica (MO) no solo é muito desejada, pois ela é muito importante em várias funções do solo, especialmente para a fertilidade do mesmo. A MO é todos os matérias orgânicos presentes no

solo, que inclui organismos vivos e mortos, porém em muitos contextos a MO é considerada a porção de vegetais e animais mortos em decomposição e também pelo material escuro estabilizado conhecido como húmus. Sendo que a MO do solo tem três vezes mais carbono que a atmosfera ou a vegetação terrestre, onde em solos bem drenados contêm de 1 a 6% de MO na superfície.

De acordo com Kerbauy, (2019), a MO é o produto de resíduos de plantas, animais e microrganismos presentes na superfície do solo, estes passam por vários estágios de decomposição, onde em solos com boa drenagem e intemperizados esses resíduos são transformados pela microbiota até formar o húmus. A MO contribui para uma melhor CTC do solo, suas cargas negativas são geradas devido a desprotonação dos grupos funcionais COOH e OH, e essa desprotonação ocorre mesmo em solos ácidos, com pH 4 por exemplo essa desprotonação já ocorre gerando as cargas negativas que retêm nutrientes, assim a MO tem de 100 a 1000 vezes mais cargas negativas que as parte mineral do solo.

Segundo Pelinson *et al.* (2021), os organismos vivos presentes no solo fazem a decomposição desses materiais orgânicos, transformando-os em MO, processo chamado de mineralização, onde parte do carbono é convertido em CO₂, portanto é um processo biológico, que é essencial para o equilíbrio e a preservação do solo. O húmus apresenta partículas pequenas, semelhante a argila, dessa forma tem propriedades coloidais, ou seja, apresenta alta capacidade de troca de cátions (CTC), adsorvendo elementos químicos, apresenta também grande capacidade de reter água. A MO apresenta várias funções no solo, que são físicas, químicas e biológicas, onde a MO reduz a compactação do solo devido a MO aumentar a porosidade do solo devido a formação de agregados, ou seja a MO no solo melhora a qualidade estrutural desse solo, além disso solos com MO tem maior capacidade de retenção de nutrientes devido melhorar a CTC, sendo assim um fornecedor de nutrientes para as plantas principalmente N,P e S, além de fornecer energia para os organismos realizarem a decomposição. Solos com MO também tem maior capacidade de reter água, pois a MO aumenta a porosidade fazendo com que a água infiltre, reduzindo assim o escoamento superficial, na tabela 7 temos as principais funções da MO no solo.

Na tabela 7 temos as principais funções da MO no solo, divididas em funções físicas, químicas e biológicas.

Tabela 7: Principais funções da MO no solo

Funções físicas	Funções químicas	Funções biológicas
Aumento da estabilidade estrutural do solo.	Aumento da capacidade de retenção de nutrientes (por meio, por exemplo, das trocas catiônicas, CTC).	Fonte energética para processos biológicos; decomposição; transformação de nutrientes; degradação de contaminantes.
Alterações na retenção de água.	Controle do pH (efeito tamponante).	Armazenamento de nutrientes para as plantas (N, P, S).
Controle da variação térmica (isolamento).	Imobilização de metais e substâncias contaminantes (como os agroquímicos).	Aumento da resiliência do solo e promoção da estabilização da estrutura, principalmente, por meio dos agregados.

CTC: capacidade de troca catiônica; N: nitrogênio; P: fósforo; S: enxofre.

Fonte: Pelinson *et al.* (2021)

2.9 ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO

Para SBCS, (2016), a análise química do solo é a principal forma de diagnosticar a necessidade ou não de corretivos e nutrientes para o cultivo da cultura desejada, e assim traçar um plano de ação com a quantidade e tipo de corretivos, bem como a quantidades e quais nutrientes devem ser aplicados pra que assim se consiga colher a quantidade a produtividade almejada para a área analisada.

De acordo com Brandão *et al.* (2021), a análise química do solo é uma ferramenta muito importante que através da qual se consegue avaliar diversas variáveis que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, os valores obtidos demonstram o estado desse solo no momento analisado, dessa forma é possível indicar medidas de manejo necessária para melhorar a fertilidade. A análise do solo é uma tabela que fornece os teores de macro e micronutrientes do solo, pH, saturação por bases (v%), capacidade de troca de

cátion (CTC), teores de alumínio, teores de matéria orgânica (MO) e propriedades físicas. Dessa forma com a interpretação da análise de solo é possível elaborar um plano de manejo da fertilidade, fazendo a recomendação das correções necessárias de macro e micronutrientes, bem como a realização da calagem se necessária.

Segundo SBCS, (2016), a análise química de solo é a principal maneira para se obter se existe a necessidade de corretivos e fertilizantes para a maioria das culturas, porem existe também a análise de tecido vegetal. A análise de solo é feita em laboratórios, sendo que para os estados do RS e SC existe uma Rede Oficial de Laboratórios de Analise de Solo e de Tecido Vegetal (Rolos RS/SC) onde os laboratórios que fazem parte dessa rede utilizam métodos e procedimentos recomendados pela rede, onde o ROLAS faz um monitoramento permanente desses laboratórios visando manter uma constância na qualidade dos resultados entregados aos produtores. A análise química do solo traz os valor de pH, índice SMP, teores de Ca, Mg e Al trocáveis, teores de K e P disponíveis, ou seja traz os teores dos macro e também dos micronutrientes como Cu, Fe etc., teor de MO, teor de argila, silte e areia, saturação por bases (v%) e por alumínio, e a CTC.

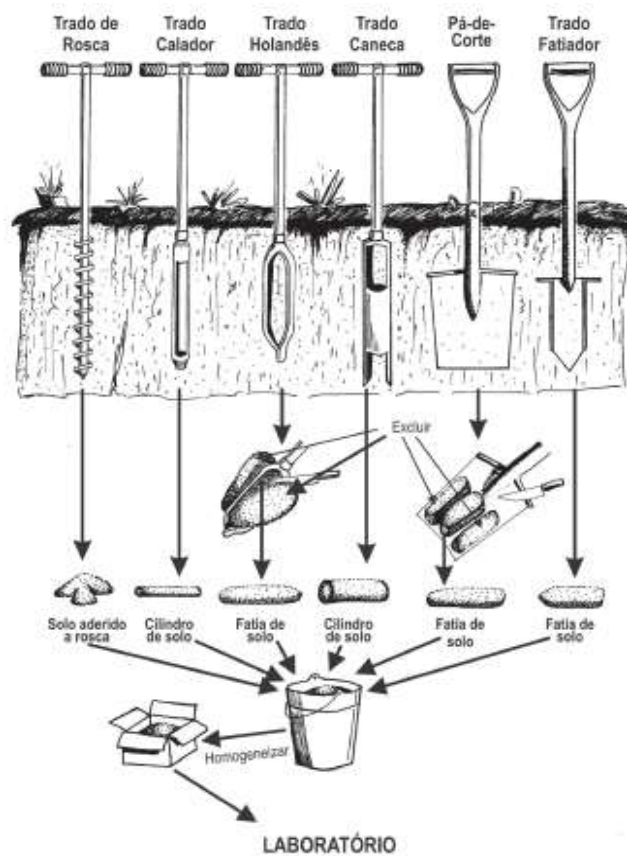
2.10 AMOSTRAGEM DO SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO

Segundo SBCS, (2016), amostragem de solo deve representar a área que está sendo analisada, portanto se a amostra não for representativa causará erros, subestimando ou superestimando doses de fertilizantes e corretivos. Dessa forma os procedimentos de amostragem são baseados na variabilidade espacial da área, onde se busca coletar amostras representativas que assim descrevam a condição da fertilidade do solo. A amostragem pode ser feita em qualquer época do ano, mas deve-se amostrar o solo de dois a três meses antes do plantio para assim ter tempo de fazer as correções necessárias antes da semeadura.

Existem alguns tipos de amostradores de solo, como mostra a figura 10, sendo que a pá de corte pode ser utilizada na maioria dos casos. Para plantio direto além da pá de corte pode ser usado o trado calador, e não é recomendado a utilização de trado de rosca ou trado holândes devido perder a camada

superficial do solo, perdendo assim matéria orgânica e nutrientes, assim amostras com esses amostradores pode subestimar os valores de nutrientes e sub ou superestimar da acidez do solo. O trado caneca não perde solo ao realizar a amostragem, porém em solo úmidos ou argilosos e mais difícil de retirar o solo colhido do seu interior. O trado fatiador é adequado para coleta de amostras até 10 cm de profundidade. Já para áreas de preparo de solo qualquer um dos amostradores pode ser utilizado. No caso da pá de corte, deve-se abrir uma trincheira, para então retirar a amostra de solo (SBCS, 2016).

Figura 10: Tipo de amostradores de solo



Fonte: SBCS, (2016)

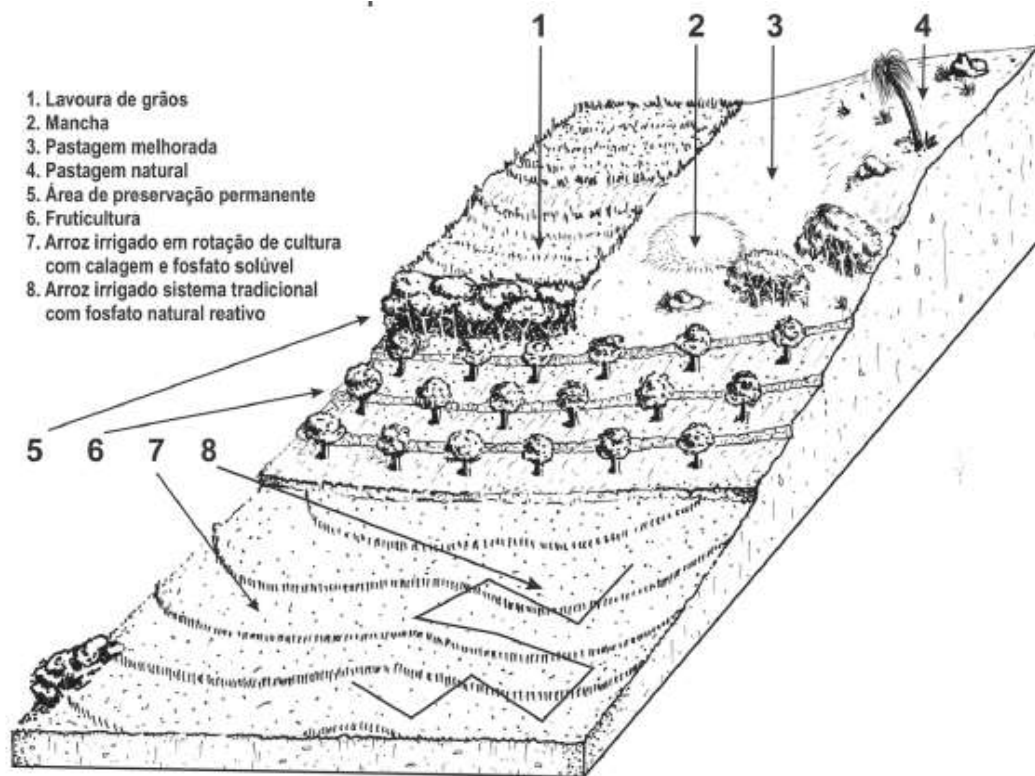
Além do amostradores manuais pode ser utilizado equipamentos automatizados para a coleta da amostra.

2.10.1 Procedimento de amostragem não georreferenciadas

Primeiramente se subdivide a área em glebas homogêneas, com o intuito de reduzir o efeito da variabilidade espacial, assim se subdivide a área em áreas menores com menor variação de fertilidade, ou seja, divide a área em glebas

conforme tipo de solo, topografia, vegetação e histórico de utilização. Na figura 11, temos a exemplificação de diversas situações que podem ocorrer em uma propriedade rural, e dessa forma se busca dividir em áreas homogêneas, na área 2 há a representação de uma mancha na área, sendo que está deve ser amostrada separadamente (SBCS, 2016),

Figura 11: Subdivisão de área para amostragem de solo



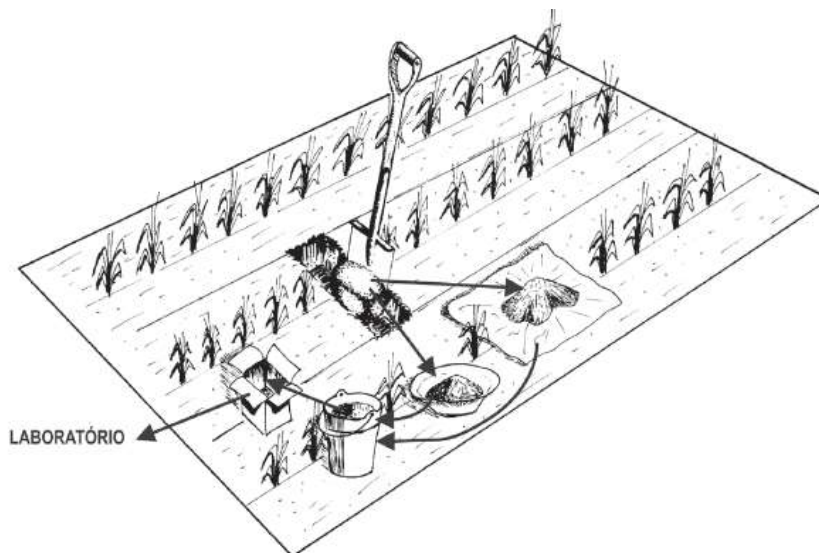
Fonte: SBCS, (2016)

Para o cultivo de grãos em plantio direto a amostragem é feita ao acaso, coletando de 10 a 20 subamostras por gleba homogênea, 15 em média. Assim se anda na área de forma aleatória em zig-zag e assim vai coletando as subamostras, sendo que em cada ponto de coleta deve-se retirar a vegetação da superfície, ou seja, retirar folhas, ramos, colmos e também pedras, e evitar raspar a camada superficial do solo. A coleta da amostra em sistema plantio direto deve ser feita de 0 a 10 cm de profundidade, e no mesmo ponto a coleta de 10 a 20 cm, separando as camadas, isso com o intuito de ter a análise de 0 – 10 cm para fins de adubação e monitorar a acidez, e a análise de 10-20 cm para fins de recomendação de calagem e auxiliar na avaliação da disponibilidade

de fósforo em profundidade e enxofre. Já para sistema de preparo de solo a coleta é realizada de 0 a 20 cm de profundidade. O uso da pá de corte em solos de plantio direto é mais eficiente tanto nas áreas de adubação a lanço ou na linha, assim se coleta de 10 a 20 (em média 15) subamostras. Com o trado calador deve-se amostrar de 50 a 200 subamostras que varia devido o espaçamento da cultura cultivada (SBCS, 2016).

Na figura 12 temos a representação de como é a coleta de cada subamostra fazendo o uso da pá de corte, assim primeiro se localiza a linha da cultura, então se abre uma trincheira de entre linha a entre linha com uma profundidade de 20 cm, assim se retira uma fatia de solo de 3 a 5 cm, com a profundidade de 20 cm, e se divide a amostra de 0-10 cm, coloca em um balde, e de 10-20 cm e coloca em outro balde, após coletar todas as subamostras da gleba, se mistura bem (mistura as subamostras de 0-10 cm, e se mistura as subamostras de 10-20 cm), e retira um porção de aproximadamente 0,5 kg de solo para a amostra de 0-10 cm e outra amostra de 0,5 kg para a amostra de 10-20 cm, colocar em um saco plástico limpo, etiquetar com as informações do talhão e profundidade da amostra para então enviar ao laboratório (SBCS, 2016).

Figura 12: Amostragem de solo com pá de corte

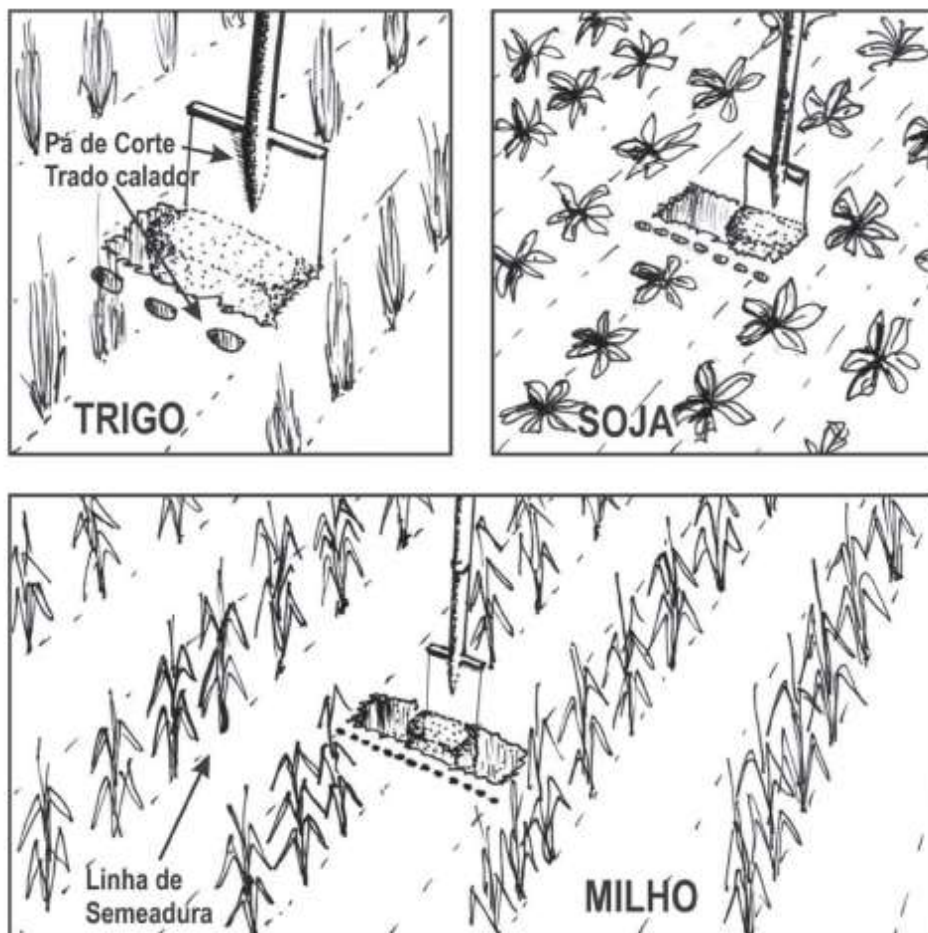


Fonte: SBCS, (2016)

Com o uso do trado calador em área com plantio direto e com adubação em linha de plantio a coleta é de acordo com o espaçamento das entre linhas da

cultura atual ou anterior. Assim para culturas com espaçamento menores, de 15 a 20 cm deve-se coletar um ponto na linha de semeadura e mais um ponto de cada lado nas entre linhas, isso para cada ponto de coleta, repetindo nos demais da mesma forma, se o espaçamento da cultura for de 40 a 50 cm, deve-se coletar um ponto na linha de semeadura e mais três pontos de cada lado nas entre linhas, isso para cada ponto de coleta, se a cultura for de espaçamento de 60 a 100 cm, deve-se coletar um ponto na linha de semeadura mais seis pontos de cada lado nas entrelinhas, isso para cada ponto de coleta, repetindo o mesmo procedimento para os demais pontos, na figura 13 temos a representação da coleta com trado calador em relação ao espaçamento de plantio da cultura (SBCS, 2016).

Figura 13: Amostragem de solo com trado calador



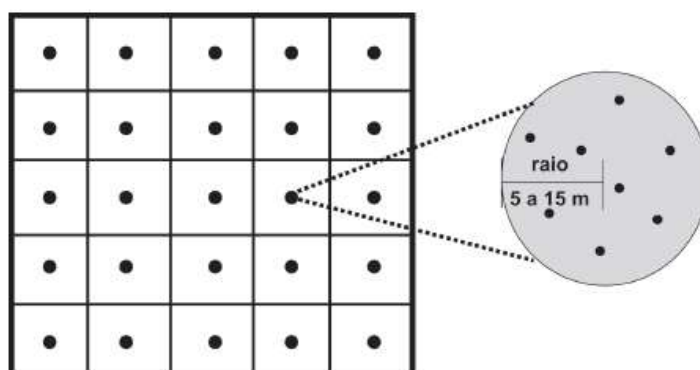
Fonte: SBCS, (2016)

2.10.2 Procedimento de amostragem georreferenciada

De acordo com SBSC, (2016), a amostragem de solo georreferenciada entra na área da agricultura de precisão, onde com o uso de sistema de georreferenciação se localiza e se determina os pontos exatos de coleta de amostras de solo, dessa forma com o uso de software é possível gerar mapas de fertilidade da área, e assim definir estratégias para correção da fertilidade da área, aplicando os insumos (fertilizantes e corretivos) com equipamentos específicos que com elevada precisão depositam a quantidade necessária no local necessário. Existem dois procedimentos de coleta de amostras de solo nesse sistema (SBSCS, 2016).

- Amostragem sistemática em grades amostrais: é elaborada uma grade sobre o mapa da área respeitando os contornos da área, cada quadrado da grade corresponde uma gleba menor, dessa forma é coletado uma amostra cada gleba dessa gerada, sendo que em áreas com alta variabilidade de fertilidade essa gleba deve ser menor, o contrario também é verdadeiro, onde o tamanho dessas glebas varia de 1 a 3 hectares a depender do histórico de manejo da área, tipo de solo, topografia e também das produtividades dessa área. No centro de cada gleba é coletado uma amostra de solo, onde para compor essa amostra são coletados de 5 a 8 subamostras em um raio de 15 metros com relação ao ponto georreferenciado, essa coleta deve ser feita preferencialmente com a pá de corte, se usar do trado calador deve-se coletar de 8 a 12 subamostras para compor a amostra, na figura 14 vemos a representação de como é feita a coleta em cada ponto de amostragem georreferenciado em grades amostrais.

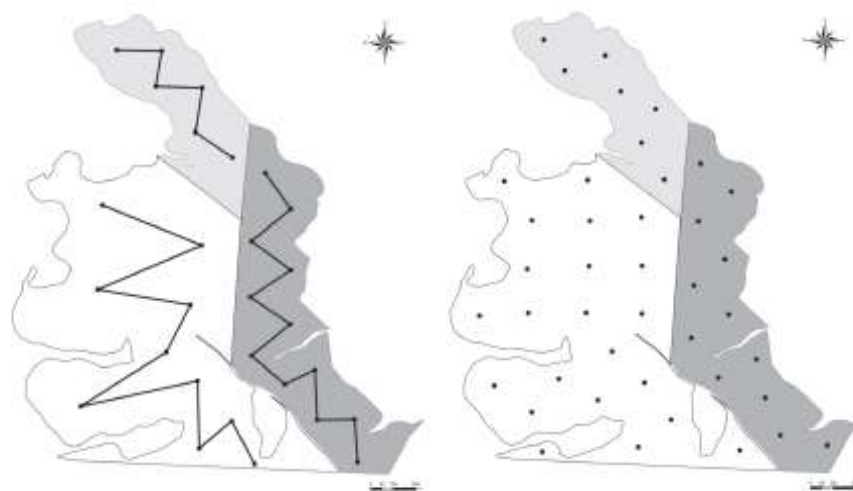
Figura 14: Coleta de amostra georreferenciada



Fonte: SBSCS, (2016)

- Amostragem dirigida por zonas de manejo: esse método indicado quando se tem conhecimento de áreas da lavoura com rendimentos diferentes, podendo utilizar de mapas de produtividades, imagens de sensoriamento remoto ou outras informações espaciais disponíveis. Assim se divide a área em diferentes áreas de manejo, em geral se divide em três, sendo a área de baixa, a de média e a de alta fertilidade, dentro dessas áreas as amostras devem ser coletadas ao acaso coletando de 10 a 20 subamostras para compor a amostra de cada área dentro da área total, cada ponto de coleta é georreferenciado com o uso de coordenadas de GPS (Global Positioning System). Sendo que a parte de interpretação e geração de mapas de fertilidade para assim fazer a aplicação dos insumos é feita como a amostragem sistemática em grades amostrais. Na figura 15 temos a representação desse método de coleta de amostra por zonas de manejo.

Figura 15: Amostragem dirigida por zonas de manejo



Fonte: SBCS, (2016)

2.11 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE COM RELAÇÃO AOS NUTRIENTES

Segundo a recomendação SBCS, (2016), para os estados do RS e SC, para as culturas de grãos a ser implantada em um área existem tabelas que determinam se há a necessidade de correção dos nutrientes para determinada produtividade, e se caso existir a necessidade quanto se deve aplicar deste. Assim com a análise química do solo em mãos, primeiramente com o uso da

tabela 8 se classifica o solo quanto a argila (classe: 4, 3, 2 ou 1), matéria orgânica (classe: Baixa, Médio ou Alto), e CTC (classe: Baixa, Média, Alta ou Muito Alta).

Tabela 8: Interpretação do teor de Argila, Matéria Orgânica e CTC (ph 7,0) do solo

Argila		Matéria Orgânica		CTC _{ph7,0}	
Faixa (%)	Classe	Faixa (%)	Classe	Faixa (cmol _e /dm ³)	Classe
≤ 20	4	≤ 2,5	Baixo	≤ 7,5	Baixa
21 – 40	3	2,6 – 5,0	Médio	7,6 – 15,0	Média
41 – 60	2	> 5,0	Alto	15,1 – 30,0	Alta
> 60	1	-	-	> 30,0	Muito alta

Fonte: SBCS, (2016)

Após se determina os teores de fósforo utilizando a tabela 9, classificando o teor de fósforo com relação as classes: Muito baixo, baixo, médio e muito alto, para isso utiliza-se a classe do teor da argila e o teor de fósforo que a análise apresenta.

Tabela 9: Interpretação do teor de fósforo conforme o teor de argila do solo, para culturas de grãos

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

Fonte: SBCS, (2016)

Da mesma forma ocorre com o teor de potássio, fazendo o uso da tabela 10, cruza-se a classe que se encontra a CTC_{ph 7,0} com o teor de potássio que a análise apresenta, classificando assim em Muito baixo, Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto.

Tabela 10: Interpretação de potássio conforme a CTC do solo, para cultura de grãos

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

Fonte: SBCS, (2016)

Para a interpretação de cálcio, magnésio e enxofre, utiliza da tabela 11, fazendo o uso dos teores destes que a análise apresenta, classifica-se em Baixo, Médio ou Alto.

Tabela 11: Interpretação dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo, para cultivo de grãos

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⁾

Fonte: SBCS, (2016)

A interpretação do micronutrientes ocorre da mesma forma que os macronutrientes, ou seja, fazendo o uso da tabela 12, fazendo o uso dos teores destes presentes na análise de solo, classifica-se em Baixo, Médio ou Alto. Tendo em vista que a correção de micronutrientes somente deve ser feita caso a análise de solo e a análise foliar indicar deficiência, pois a maioria dos solos do RS e SC apresentam teores adequados de micronutrientes, e a adubação mineral e orgânica geralmente fornecem alguns ou vários micronutrientes para a cultura, entretanto deve-se analisar a cultura caso exista a necessidade de exigência de algum micronutriente em específico (SBCS, 2016).

Tabela 12: Interpretação dos teores de micronutrientes no solo, para cultivo de grãos

Classe de	Cobre	Zinco	Boro ⁽²⁾	Manganês
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

Fonte: SBCS, (2016)

Feita essa interpretação, já é possível analisar se existe ou não a necessidade e se existe qual a quantidade a ser aplicada dos nutrientes específico por cultura, para isso se faz o uso também das tabelas do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC.

2.11.1 Cultura do trigo

A quantidade de nitrogênio para a cultura do trigo é estimada através da tabela 13, onde sabendo se a cultura anterior era uma leguminosa, ou uma gramínea, e também a interpretação do teor de matéria orgânica do solo, se determina a quantidade de nitrogênio para a cultura, onde essa quantidade é para uma produtividade de 3 ton.ha⁻¹, para cada tonelada a mais a ser produzida acrescenta-se 20 kg.ha⁻¹ de nitrogênio em cultivo anterior de leguminosa e 30 kg.ha⁻¹ em cultivo anterior de gramínea. Desse nitrogênio é aplicado de 15 a 20 kg.ha⁻¹ no sulco de plantio, e o restante em cobertura, a primeira cobertura no afilamento e a segunda após 30 a 45 dias (SBCS, 2016).

Tabela 13: Necessidade de nitrogênio para a cultura do trigo para produzir 3 ton/ha, para rendimentos maiores acrescentar 20 kg.ha⁻¹ para cultivo anterior leguminosas e 30 kg.ha⁻¹ para cultivo anterior gramínea, por tonelada de grão a mais produzida

Matéria orgânica do solo	Cultura antecedente	
	Leguminosa	Gramínea
%	..... kg de N/ha.....	
≤ 2,5	60	80
2,6 - 5,0	40	60
> 5,0	≤ 20	≤ 20

Fonte: SBCS, (2016)

Para fósforo e potássio se utiliza a tabela 14, onde com a interpretação nas classes tanto do fósforo como do potássio é possível obter as quantidades desses nutrientes que são necessárias para produzir 3 ton.ha⁻¹, para cada uma tonelada a mais a ser produzida deve-se acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 10 kg.ha⁻¹ de potássio.

Tabela 14: Recomendação para rendimentos de 3 ton.ha⁻¹, para mais que isso acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fosforo e 10 kg.ha⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais produzida

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
	1º	2º	1º	2º
	...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	155	95	110	70
Baixo	95	75	70	50
Médio	85	45	60	30
Alto	45	45	30	30
Muito alto	0	≤ 45	0	≤ 30

Fonte: SBCS, (2016)

2.11.2 Cultura da soja

A recomendação de nutrientes para a cultura da soja, é semelhante à do trigo, porém como a soja é uma leguminosa, não é recomendada a aplicação de nitrogênio, visto que o nitrogênio que a cultura utiliza é obtido através da fixação biológica de nitrogênio feita pela associação simbiótica entre planta e bactéria, pelos rizóbios em suas raízes, portanto é recomendado fazer a inoculação das sementes com inoculantes recomendados para a cultura. Para fósforo e potássio utiliza a tabela 15, onde sabendo a classificação em classes tanto do fósforo quanto do potássio se obtém a quantidade desses para produzir 3 ton.ha⁻¹ de grãos, para cada tonelada a mais a ser produzida se acrescenta 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha⁻¹ de potássio (SBCS, 2016).

Tabela 15: Recomendação de fósforo e potássio cultura da soja, para rendimentos de 3 ton.ha⁻¹, para mais que isso acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais a ser produzida

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
	1º	2º	1º	2º
	...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	155	95	155	115
Baixo	95	75	115	95
Médio	85	45	105	75
Alto	45	45	75	75
Muito alto	0	≤45	0	≤75

Fonte: SBCS, (2016)

Para enxofre (S), recomenda-se ter um teor maior que 10 mg.dm⁻³, caso o teor de enxofre for menor, deve-se aplicar 20 kg.ha⁻¹ de S-So₄.ha⁻¹. A correção de micronutrientes é necessária somente em solos com teores baixos desses. É recomendada a aplicação de molibdênio pois tendo vista que este melhora o processo de fixação biológica de nitrogênio, tem ganhos em produtividades, as doses ficam de 12 a 25 g.ha⁻¹ via semente, e de 25 a 50 g.ha⁻¹ via foliar (SBCS, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODO

A área a ser amostrada está localizada no município de Ibiaçá – RS, contendo as seguintes coordenadas centrais, latitude 28°10'5.51"S, longitude 51°48'0.51"O, com altitude variando de 780 a 800 metros acima do nível do mar.

Essa área é cultivada em plantio direto há mais de 30 anos, sendo que na última década vem sendo cultivada exclusivamente com soja no verão e aveia preta no inverno. O tipo de solo predominante é latossolo vermelho, mas também se faz presente o Neossolo e Gleissolo.

Na figura 16, temos uma foto da área em dezembro de 2021, nesse momento ela estava cultivada com soja safra 2021/2022, nesse período toda a região sofria com uma forte estiagem, que pode ser observado nas plantas da foto, nas entre linhas (soja cultivada com 40 cm de espaçamento entre linhas) observa-se a palha da aveia preta, que foi cultivada no inverno de 2021 apenas para cobertura de proteção da área.

Figura 16: Foto da área em dezembro de 2021

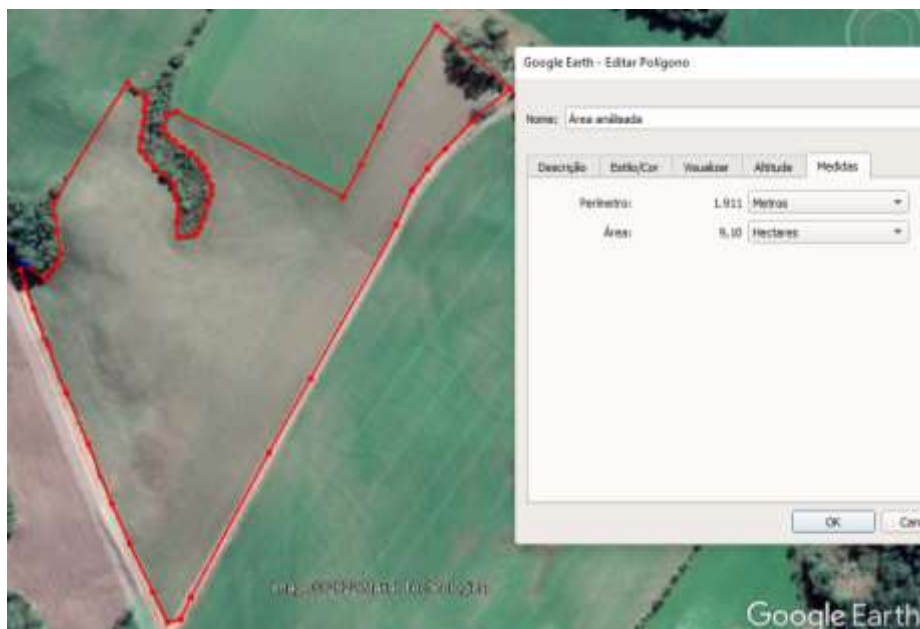


Fonte: Autor, (2022)

A última calagem foi realizada a 3 anos atrás aplicando 3 ton.ha^{-1} de calcário dolomítico, porém o produtor fez essa aplicação por conta, ou seja, sem fazer as análises de solo. O manejo na última década é realizado sempre com as adubações feitas na linha de plantio da cultura da soja em taxa fixa de 300 kg.ha^{-1} , utilizando sempre fertilizante mineral com a formulação 2-23-23 (NPK)

ou semelhantes, porém essa é a formulação que prevalece. Na figura 17 vemos uma imagem de satélite da área, podemos observar que a mesma tem 9,1 ha de área superficial cultivada.

Figura 17: Área analisada



A coleta de solo será de forma não georreferenciada, dessa forma, primeiramente se faz a divisão da área em glebas com fertilidade homogênea, assim, a divisão da área foi feita respeitando o perfil de solo visível e o relevo, tendo em vista realizar uma divisão em glebas que apresentem fertilidade mais homogênea possível visivelmente, pois, não temos mapas de produtividades para auxiliar de forma mais exata nessa divisão.

Assim, na figura 18, temos a área dividida em três glebas homogêneas. Os pontos pretos na figura representam os possíveis pontos de coleta por gleba, lembrando que a coleta é de forma aleatória na área, ou seja, os pontos representam apenas uma ilustração.

Figura 18: Divisão da área da propriedade rural, localizada na comunidade de Secção Fracasso, Ibiaçá-RS



Na figura 19 temos as imagens de cada gleba, sendo que a gleba 01 apresenta um relevo levemente ondulado com 5,2 ha de área superficial, um tem solo profundo de cor vermelha, ou seja, um latossolo vermelho. A gleba 02 apresenta um relevo acidentado, solo contendo pedregulho, apresentando na grande parte da gleba um neossolo, tendo uma área superficial de 2,8 ha. A gleba 03 apresenta um relevo plano, solo de cor escura e profundo, um gleissolo, tendo uma área superficial de 1,1 há.

Figura 19: Imagens das glebas



A coleta das análises de solo será realizada após a colheita da soja da safra 21/22, ou seja, no mês de maio de 2022, a interpretação das mesmas como também a elaboração do plano de adubação e calagem acontecerá no segundo semestre de 2022. A coleta será feita com a pá de corte, coletando a camada 0-10 cm e a camada 10-20 cm de profundidade, conforme a SBCS (2016).

A área no momento da coleta se encontra sem nenhuma cultura, ou seja, ocorre após a colheita da soja. Para tal, localiza-se a linha da cultura da soja, retira a palha da superfície, abre-se uma pequena trincheira de entre linha a entre linha com 20 cm de profundidade, e então retira-se uma fatia de 3 a 5 cm de espessura na profundidade de 20 cm.

A coleta ocorrerá em 15 pontos aleatórios, colocando a camada de 0-10 cm em um balde e a camada de 10-20 cm em outro balde, sendo que após a coleta dos 15 pontos na gleba, será realizada a mistura em cada balde para homogeneizar os pontos coletados. Após retira-se 0,5 kg de solo do balde 0-10 cm coloca em uma sacola plástica com as identificações da área tem assim a amostra a ser analisada, também retira-se 0,5 kg de solo do balde de 10-20 cm de profundidade coloca em uma sacola plástica com as identificações da área, tendo assim outra amostra a ser analisada, o mesmo procedimento é feito para as demais glebas.

Dessa forma para cada gleba terá duas amostras de solo, que consequentemente terá duas análises de solo, uma de 0-10 cm e outra de 10 – 20 de profundidade, totalizando 6 análises de solo para a área total. Essas

amostras de solo são encaminhadas para o laboratório Labfertil da cidade de Coxilha-RS para serem analisadas. Na figura 19, temos a pá de corte e os baldes (0-10 e 10 -20), que serão utilizados para a coleta das amostras de solo.

Figura 20: Ferramentas para coleta de solo



A elaboração do plano de adubação e calagem segue conforme o manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS, 2016), sendo que de acordo com a interpretação dos dados presentes na análise de solo para cada gleba e com o uso do manual fazendo o emprego das etapas de interpretação é possível fazer as indicações de necessidade de calagem e adubação ou não, e caso for necessário a aplicação das quantidades que devem ser aplicadas em cada gleba de calcário e dos nutrientes, montando um plano de calagem e adubação para a cultura do trigo e em sucessão a cultura da soja, com o objetivo de atingir a produtividade almejada de 4 ton.ha⁻¹ de ambas as culturas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta de solo foi realizada com a pá de corte, seguindo a metodologia de coleta de solo para ela de acordo com (SBCS, 2016), coletando 15 pontos por gleba de forma aleatória. Na figura 21, temos a demarcação da abertura da trincheira e a mesma aberta de entre linha a entre linha da cultura anterior (soja com espaçamento de 40 cm), a trincheira tem uma profundidade de 20 cm.

Figura 21: Trincheira para coleta de solo



Após a abertura da trincheira foi retirado uma fatia de solo de 3 cm aproximadamente, separado as camadas de 0-10 e 10-20 cm, colocando cada camada em um balde separado, conforme a figura 22.

Figura 22: Fatia de solo



Após a coleta dos 15 pontos na gleba, foi necessário homogeneizar os pontos coletados para então retirar uma amostra de solo por camada, gerando duas amostras de solo por gleba, o processo se repetiu nas demais duas glebas, gerando ao final seis amostras de solo, que por sua vez gerou seis análises de solo, na figura 23 temos o processo de homogeneização dos pontos coletados e as seis amostras de solo etiquetadas prontas para ser enviadas ao laboratório.

Figura 23: Homogeneização e amostras de solo prontas



As amostras de solo foram enviadas ao laboratório Labfertil da cidade de Coxilha – RS, dessa forma os dados das seis análises de solo estão presentes na tabela 16.

Tabela 16: Dados das análises de solo

Gleba	Profundidade (cm)	pH	Ind. SMP	cmolc/dm ³						K (mg/dm ³)
				AL	Ca	Mg	H + AL	CTC (pH 7,0)	CTC (efetiva)	
1	(0 - 10)	5,36	5,84	0,15	5,94	3,77	5,24	15,35	10,26	158
	(10 - 20)	4,65	5,29	2	3,72	1,95	9,85	15,82	7,97	117
2	(0 - 10)	5,06	5,7	0,25	4,88	3,06	6,15	14,54	8,64	176
	(10 - 20)	4,42	4,92	3,25	2,84	1,44	15,07	19,66	7,84	121
3	(0 - 10)	5,01	5,8	0,25	4,18	2,95	5,49	12,87	7,63	99
	(10 - 20)	4,39	5,16	2,1	2,56	1,3	11,44	15,42	6,08	47
Gleba	Profundidade (cm)	(%) Índices de Saturação						Ca/Mg	(Ca+Mg)/k	
		Bases (V%)	Al	Ca	Mg	K	H			
1	(0 - 10)	65,89	1,46	38,7	24,56	2,63	33,16	1,58	24,03	
	(10 - 20)	37,73	25,1	23,51	12,33	1,89	49,62	1,91	18,95	
2	(0 - 10)	57,7	2,89	33,56	21,05	3,1	40,58	1,59	17,64	
	(10 - 20)	23,34	41,46	14,45	7,32	1,57	60,12	1,97	13,83	
3	(0 - 10)	57,37	3,28	32,48	22,92	1,97	40,71	1,42	28,16	
	(10 - 20)	25,81	34,54	16,6	8,43	0,78	60,57	1,97	32,11	
Gleba	Profundidade (cm)	% (m/v)		mg/dm ³						
		MO	Argila	P	S	B	Cu	Zn	Mn	
1	(0 - 10)	4,6	48	9,1	8	0,49	1,86	2,68	36,9	
	(10 - 20)	3,6	61	3,8	10,1	0,45	1,95	0,76	25,6	
2	(0 - 10)	4,8	40	9,1	12,2	0,32	1,19	2,67	55	
	(10 - 20)	3,9	48	3,2	15,1	0,33	1,46	1,15	47,8	
3	(0 - 10)	5,7	35	6,6	15,1	0,4	1,4	2,32	76,5	
	(10 - 20)	3,4	45	2,5	14,4	0,36	1,9	0,91	78,1	

4.1 CALAGEM DAS GLEBAS

A gleba 01 apresenta um pH na camada de 0-10 cm de 5,36, ou seja, inferior ao pH de referência para as culturas de grãos que é 6.

A tomada de decisão para que seja realizada a calagem, e de forma superficial, segue de acordo com (SBCS, 2016), que no caso de plantio direto já consolidado é ter um pH menor que 5,5 na camada de 0-10 cm, porém não se aplica calagem se a saturação por bases (v%) for maior que 65% e a saturação por alumínio (%Al) for menor que 10%, tudo isso é válido se a %Al na camada de 10-20 cm for inferior a 30%, caso seja maior que 30% a calagem deve ser realizada e de forma incorporada.

A gleba 01 apresenta um pH de 5,36 na camada 0-10 cm, mas uma V% de 65,89 e uma %Al de 1,46, lembrando que a %Al na camada 10-20 cm está 25,10, também temos um teor de fósforo inferior ao teor crítico, e a %Al de 10-20 cm já próxima de 30%.

Assim sendo, deverá ser realizada a calagem na gleba 01, e essa aplicação será de forma superficial, ou seja, aplicando $\frac{1}{4}$ da dose do índice SMP. Como o SMP_{0-10cm} da gleba 01 é de 5,84, dessa forma para um SMP 5,8 e um pH 6,0, a dose a ser aplicada é de 4,2 toneladas.ha⁻¹, ou seja, 1,05 toneladas a cada hectare com PRNT de 100%, como apresentado na tabela 17.

A gleba 02 apresentou um pH na camada de 0-10 cm de 5,06, e uma V% de 57,70, ou seja, há necessidade de calagem.

Mas como na camada 10-20 cm apresentou uma %Al de 41,46, a calagem deve ser feita de forma incorporada, e a quantidade a ser aplicada deve ser o valor da média dos índices SMP das duas camadas.

O SMP_{0-10cm} é 5,70, e o $SMP_{10-20cm}$ é 4,92, logo o $SMP_{médio}$ é 5,31, dessa forma a quantidade de calcário será o que indica na tabela do índice SMP para o pH 6,0 e SMP 5,30, que é 7,5 toneladas com PRNT de 100%. Esses dados podem ser observados na tabela 17.

A gleba 03 apresenta uma situação semelhante a gleba 02, ou seja, o pH na camada 0-10 cm é de 5,01, e V% é de 57,37, logo há a necessidade de calagem. Como a camada 10-20cm tem uma %Al de 34,54%, essa calagem deve ser feita de forma incorporada.

Para saber a quantidade de calcário a ser aplicado, deve-se fazer a média entre o SMP da camada 0-10 e 10-20 cm, onde o SMP_{0-10cm} é 5,80 e o $SMP_{10-20cm}$ é 5,16, portanto o $SMP_{médio}$ é 5,48. Assim a quantidade de calcário a ser aplicada é o que a tabela do índice SMP indica para SMP 5,5 para pH 6,0, que é de 6,1 toneladas com PRNT de 100%, como demonstrado na tabela 17.

Tabela 17: Tabela índice SMP para realização de calagem

Glebas	Índice SMP	pH desejado		
		5,5	6	6,5
1	5,3	4,8	7,5	10,4
	5,4	4,2	6,8	9,5
	5,5	3,7	6,1	8,6
	5,6	3,2	5,4	7,8
	5,7	2,8	4,8	7
	5,8	2,3	4,2	6,3
2	5,3	4,8	7,5	10,4
	5,4	4,2	6,8	9,5
	5,5	3,7	6,1	8,6
	5,6	3,2	5,4	7,8
	5,7	2,8	4,8	7
	5,8	2,3	4,2	6,3
3	5,3	4,8	7,5	10,4
	5,4	4,2	6,8	9,5
	5,5	3,7	6,1	8,6
	5,6	3,2	5,4	7,8
	5,7	2,8	4,8	7
	5,8	2,3	4,2	6,3

Como o PRNT do calcário do fornecedor é de 80% a quantidade real a ser aplicado é dado por:

$$Dose \text{ Calcário } ton. ha^{-1} = \frac{Dose \text{ com PRNT de } 100\%}{PRNT \text{ fornecedor}} * 100$$

Portanto a dose de calcário da gleba 01 é:

$$Dose \text{ Calcário } ton. ha^{-1} = \frac{1,05}{80} * 100 = 1,312 ton. ha^{-1}$$

A dose de calcário para a gleba 02 é:

$$Dose \text{ Calcário } ton. ha^{-1} = \frac{6,1}{80} * 100 = 9,375 ton. ha^{-1}$$

E a dose de calcário da gleba 03 é:

$$Dose \text{ Calcário } ton. ha^{-1} = \frac{7,5}{80} * 100 = 7,625 ton. ha^{-1}$$

4.2 INTERPRETAÇÃO ANÁLISES DAS GLEBAS

Primeiramente necessitamos interpretar os teores de argila, matéria orgânica (MO) e da CTC_{ph7}, para isso utilizamos da tabela 18 abaixo extraída do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC.

Tabela 18: Interpretação dos teores de Argila, Matéria Orgânica e CTC_{ph7} do solo, das três glebas

	Argila		Matéria Orgânica		CTC _{ph7,0}	
	Faixa (%)	Classe	Faixa (%)	Classe	Faixa (cmol _e /dm ³)	Classe
Gleba 01	≤ 20	4	≤ 2,5	Baixo	≤ 7,5	Baixa
	21 – 40	3	2,6 – 5,0	Médio	7,6 – 15,0	Média
	41 – 60	2	> 5,0	Alto	15,1 – 30,0	Alta
	> 60	1	-	-	> 30,0	Muito alta
Gleba 02	≤ 20	4	≤ 2,5	Baixo	≤ 7,5	Baixa
	21 – 40	3	2,6 – 5,0	Médio	7,6 – 15,0	Média
	41 – 60	2	> 5,0	Alto	15,1 – 30,0	Alta
	> 60	1	-	-	> 30,0	Muito alta
Gleba 03	≤ 20	4	≤ 2,5	Baixo	≤ 7,5	Baixa
	21 – 40	3	2,6 – 5,0	Médio	7,6 – 15,0	Média
	41 – 60	2	> 5,0	Alto	15,1 – 30,0	Alta
	> 60	1	-	-	> 30,0	Muito alta

Para os teores de fósforo, utilizamos a classe da argila, e do teor de fósforo presente na análise de solo das glebas. Assim, fazendo o uso da tabela 19 é possível extrair a classe que se encontra o fósforo.

Tabela 19: Interpretação do teor de fósforo no solo das três glebas, referente ao cultivo das culturas de grãos

	Classe de disponibilidade	Classe de teor de argila ^(1,2)			
		1	2	3	4
	.....mg de P/dm ³				
Gleba 01	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
Gleba 02	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
Gleba 03	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

Para a interpretação do potássio, utilizamos faixa da CTC_{ph7} e o teor de potássio presente nas análises, assim com o uso da tabela 20 é possível obter a classe do potássio.

Tabela 20: Interpretação de potássio conforme a CTC do solo para culturas de grão, das três glebas

	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					
Gleba 01	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
Gleba 02	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
Gleba 03	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

A interpretação de cálcio, magnésio e enxofre é feita com base nos teores destes nutrientes obtidos na análise de solo, assim com o uso da tabela 21 é possível obter a classe destes nutrientes.

Tabela 21: Interpretação dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis e de enxofre extraível do solo, das três glebas

	Classe de disponibilidade	Calcio	Magnésio	Enxofre
		.....cmol _c /dm ³		mg/dm ³
Gleba 01	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⁾
Gleba 02	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⁾
Gleba 03	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⁾

Para a interpretação dos micronutrientes: cobre (Cu), zinco (Zn), Boro (B), Manganês (Mn), utilizamos dos teores presentes nas análises de solo das glebas, utilizando a tabela 22 a seguir.

Tabela 22: Interpretação dos teores de micronutrientes no solo, das três glebas

	Classe de	Cobre	Zinco	Boro ⁽²⁾	Manganês
	.....mg/dm ³				
Gleba 01	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
Gleba 02	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	
Gleba 03	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	

Assim após a interpretação das análises de solo das três glebas, é possível observarmos na tabela 23 a interpretação de forma resumida.

Tabela 23: Interpretação de forma resumida das três glebas

Dados	Gleba 01	Gleba 02	Gleba 03
Argila	Classe 2	Classe 3	Classe 3
MO	Médio	Médio	Alto
CTC_{pH7}	Alta	Média	Média
Fósforo (P)	Médio	Baixo	Baixo
Potássio (K)	Alto	Alto	Alto
Cálcio (Ca)	Alto	Alto	Alto
Magnésio (Mg)	Alto	Alto	Alto
Enxofre (S)	Alto	Alto	Alto
Cobre (Cu)	Alto	Alto	Alto
Zinco (Zn)	Alto	Alto	Alto
Boro (Bo)	Alto	Alto	Alto
Manganês (Mn)	Alto	Alto	Alto

5 RECOMENDAÇÃO ADUBAÇÃO CULTURA DO TRIGO

A cultura do trigo será o primeiro cultivo, sendo que a cultura anterior era soja, portanto a cultura anterior era uma leguminosa, a expectativa de produção é de 4 toneladas por hectare.

5.1 NITROGÊNIO PARA CULTURA DO TRIGO

Interpretando a tabela 24 utilizando da informação da cultura anterior que no caso era uma leguminosa (soja), bem como o teor de matéria orgânica que é de 4,6%, 4,8%, 5,7% respectivamente para gleba 01, 02 e 03, conseguimos obter a necessidade de nitrogênio para a cultura do trigo para uma expectativa de rendimento de 3 toneladas por hectare de grãos.

Tabela 24: Necessidade de nitrogênio para a cultura do trigo das três glebas, para produzir 3 ton.ha⁻¹, para rendimentos maiores acrescentar 20 kg.ha⁻¹ para cultivo anterior leguminosas e 30 kg.ha⁻¹ para cultivo anterior gramínea, por tonelada de grão a mais produzida

	Matéria orgânica do solo	Cultura antecedente	
		Leguminosa	Gramínea
Gleba 01	%	..... kg de N/ha.....	
	≤ 2,5	60	80
	2,6 - 5,0	40	60
	> 5,0	≤ 20	≤ 20
Gleba 02	%	..... kg de N/ha.....	
	≤ 2,5	60	80
	2,6 - 5,0	40	60
	> 5,0	≤ 20	≤ 20
Gleba 03	%	..... kg de N/ha.....	
	≤ 2,5	60	80
	2,6 - 5,0	40	60
	> 5,0	≤ 20	≤ 20

A produção estimada é de 4 ton.ha⁻¹, portanto, deve-se acrescentar 20 kg.ha⁻¹ a mais de nitrogênio do que a tabela 24 indica por gleba, assim necessita de 60, 60 e 40 kg.ha⁻¹ para gleba 01, 02 e 03 respectivamente, para alcançar a

produtividade almejada. Deve-se por de 15 a 20 kg.ha⁻¹ aplicado na linha de semeadura e o restante em cobertura.

5.2 FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DO TRIGO

Para fósforo e potássio utiliza da tabela 25, onde já sabemos que para fósforo estamos com teores médio, baixo e baixo, e para potássio teores alto, alto e alto, respectivamente para as glebas 01, 02 e 03.

Tabela 25: Necessidade de fósforo e potássio das três glebas para produzir 3 ton.ha⁻¹, para mais que isso acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fosforo e 10 kg.ha⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais produzida

	Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
		1º	2º	1º	2º
		...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Gleba 01	Muito baixo	155	95	110	70
	Baixo	95	75	70	50
	Médio	85	45	60	30
	Alto	45	45	30	30
	Muito alto	0	≤ 45	0	≤ 30
Gleba 02	Muito baixo	155	95	110	70
	Baixo	95	75	70	50
	Médio	85	45	60	30
	Alto	45	45	30	30
	Muito alto	0	≤ 45	0	≤ 30
Gleba 03	Muito baixo	155	95	110	70
	Baixo	95	75	70	50
	Médio	85	45	60	30
	Alto	45	45	30	30
	Muito alto	0	≤ 45	0	≤ 30

A produtividade estimada é de 4 ton.ha⁻¹ e, portanto, deve-se acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 10 kg.ha⁻¹ de potássio a mais do que a tabela 25 apresenta para cada uma das glebas. Dessa forma é necessário 100 kg.ha⁻¹ de fósforo, e 40 kg.ha⁻¹ de potássio na gleba 01. Já para gleba 02 e 03, é necessário 110 kg.ha⁻¹ de fósforo e 40 kg.ha⁻¹ de potássio.

Na tabela 26 é possível observar, de forma resumida, a necessidade para a cultura do trigo para atingir a produtividade almeja, dos nutrientes N,P e K em kg.ha⁻¹ para cada uma das glebas.

Tabela 26: Necessidade de N, P e K em kg.ha⁻¹ por gleba para cultura do trigo

Glebas	Recomendação de adubação kg.ha ⁻¹		
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
1	60	100	40
2	60	110	40
3	40	110	40

6 RECOMENDAÇÃO ADUBAÇÃO PARA A CULTURA DA SOJA

A cultura da soja será implantada após a colheita do trigo, ou seja, é o segundo cultivo, a expectativa de produção é de 4 ton.ha⁻¹, média da região em anos normais de precipitações e demais condições meteorológicas.

Não é recomendado a adubação nitrogenada para a cultura da soja, pois, a mesma recebe o nitrogênio através da fixação biológica realizada por organismos chamados de rizóbio que vivem em simbiose com a planta, dessa forma esses organismos retiram o N do ar, quebram suas ligações, e o que sobra de seus metabolismos é fornecido a planta, em troca a planta fornece carboidratos que são necessários para estes organismos.

A inoculação deve ser feita a sombra, e o inoculante deve ser mantido a uma temperatura inferior a 25°C (SBCS, 2016).

Para enxofre (S), recomenda-se ter um teor maior que 10 mg/dm³ (SBCS, 2016), todas as glebas possuem essa quantidade necessária de enxofre, somente a gleba 01 na camada 0-10 cm tem menos que que 10 mg/dm³, porem na camada 10-20cm possuiu mais que 10 mg/dm³, portanto não é necessário a correção de enxofre em nenhuma das glebas para a cultura da soja.

6.1 FÓSFORO E POTÁSSIO PARA A CULTURA DA SOJA

Para fósforo e potássio utiliza-se da tabela 27, onde já sabemos que para fósforo estamos com teores médio, baixo e baixo, e para potássio teores alto, alto e alto, respectivamente para as glebas 01, 02 e 03.

Tabela 27: Necessidade de fósforo e potássio das três glebas para a cultura da soja, para rendimentos de 3 ton.ha⁻¹, para mais que isso acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha⁻¹ de potássio para cada tonelada a mais a ser produzida

Gleba 01	Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
		1°	2°	1°	2°
		...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	155	95	155	115	
Baixo	95	75	115	95	
Médio	85	45	105	75	
Alto	45	45	75	75	
Muito alto	0	≤45	0	≤75	

Gleba 02	Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
		1°	2°	1°	2°
		...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	155	95	155	115	
Baixo	95	75	115	95	
Médio	85	45	105	75	
Alto	45	45	75	75	
Muito alto	0	≤45	0	≤75	

Gleba 03	Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
		1°	2°	1°	2°
		...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	155	95	155	115	
Baixo	95	75	115	95	
Médio	85	45	105	75	
Alto	45	45	75	75	
Muito alto	0	≤45	0	≤75	

Como a produtividade almejada é de 4 ton.ha⁻¹, é necessário acrescentar 15 kg.ha⁻¹ de fósforo e 25 kg.ha⁻¹ de potássio a mais do que a tabela 27 apresenta em todas as glebas. Sendo assim, a gleba 01 necessita de 60 kg.ha⁻¹ de fósforo e 100 kg.ha⁻¹ de potássio, para as glebas 02 e 03 é necessário 90 kg.ha⁻¹ de fósforo e 100 kg.ha⁻¹ de potássio, como representado na tabela 28.

Tabela 28: Necessidade de P e K em kg.ha⁻¹ por gleba para cultura da soja

Glebas	Recomendação de adubação		
	Nitrogênio	Fósforo kg.ha ⁻¹	Potássio kg.ha ⁻¹
1	Usar inoculação	60	100
2	Usar inoculação	90	100
3	Usar inoculação	90	100

7 ADUBAÇÃO MINERAL PARA O CULTIVO DO TRIGO

Como apresentado na tabela 26 é necessário 60 kg.ha^{-1} de N, 100 kg.ha^{-1} de fósforo, e 40 kg.ha^{-1} de potássio na gleba 01. Já para gleba 02 é necessário 60 kg.ha^{-1} de N, 110 kg.ha^{-1} de fósforo e 40 kg.ha^{-1} de potássio, e para gleba 03 é necessário 40 kg.ha^{-1} de N, 110 kg.ha^{-1} de fósforo e 40 kg.ha^{-1} de potássio.

Necessitamos de um adubo mineral que na devida quantidade por hectare forneça o mais aproximado possível essas quantidades de nutrientes, lembrando que a quantidade de N na linha de semeadura é de 15 a 20 kg.ha^{-1} , o restante é feito em cobertura, portanto as quantidades em kg.ha^{-1} de NPK por gleba para a semeadura são:

Gleba 01 - NPK = $20 - 100 - 40$

Gleba 02 - NPK = $20 - 110 - 40$

Gleba 03 - NPK = $20 - 110 - 40$

Aplicando o máximo divisor comum 5 nas quantidades por gleba, temos as formulações teóricas de fertilizantes, ou seja, aplicando 500 kg.ha^{-1} dessas formulações atenderia a estas necessidades de NPK das glebas, as formulações teóricas são:

Gleba 01 - NPK = $4 - 20 - 8$

Gleba 02 - NPK = $4 - 22 - 8$

Gleba 03 - NPK = $4 - 22 - 8$

Porém no mercado não existe essas formulações a venda, dessa forma é necessário ajustar as quantidades para uma fórmula comercial de fertilizante, de tal forma que fique o mais próximo possível.

Tendo como critério de ajuste para as fórmulas comerciais uma variação de 10 kg.ha^{-1} para mais ou para menos nas necessidades de NPK das glebas (SBCS, 2016).

A fórmula comercial que mais se adequa é a NPK 5-30-10 temos que a necessidade por hectare (NC) para a gleba 02 e 03 que tem a mesma necessidade seria:

$$NC = \frac{\text{Soma dos Valores NPK necessários}}{\text{Soma dos valores NPK da fórmula}} \cdot 100 = \frac{20 + 110 + 40}{5 + 30 + 10} * 100 = 377 \text{ kg. ha}^{-1}$$

Assim aplicando 365 kg.ha⁻¹ da formulação NPK 5-30-10, temos 18,25 kg.ha⁻¹ de N, 109,5 kg.ha⁻¹ de P, e 36,5 kg.ha⁻¹ de K. Essa dosagem atende todas as glebas nas necessidades de NPK, ficando dentro da variação dos entorno de 10 kg.ha⁻¹ tanto de N como de como de P e K.

7.1 ADUBAÇÃO EM COBERTURA CULTURA DO TRIGO

Será aplicado 18,25 kg.ha⁻¹ de nitrogênio no sulco de semeadura. Portanto, para gleba 01 e 02 temos que diminuir dos 60 kg.ha⁻¹ que é a necessidade de N: 60 - 18,25 = 41,75 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. Para a gleba 03 a necessidade é 40 kg.ha⁻¹ de N, assim a quantidade de N em cobertura é: 40 - 18,25 = 21,75 kg.ha⁻¹. Utilizaremos uréia como fonte de nitrogênio, sendo que a fórmula da uréia é: 45-0-0, ou seja, 45% de N.

Para gleba 01 e 02:

100 kg de uréia _____ 45 kg de N

kg.ha⁻¹ uréia _____ 41,75 kg.ha⁻¹

É necessário aplicar 93 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura na gleba 01 e 02 para atender a necessidade de N.

Para gleba 03:

100 kg de uréia _____ 45 kg de N

kg.ha⁻¹ uréia _____ 21,75 kg.ha⁻¹

É necessário aplicar 48 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura na gleba 03 para atender a necessidade de N.

Sendo que essa aplicação em cobertura deve ser aplicada em duas vezes, 50% da dose no início do perfilhamento e os outros 50% início do alongamento (SBCS, 2016).

8 ADUBAÇÃO MINERAL PARA O CULTIVO DA SOJA

A tabela 28 traz as quantidades em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK para atingir a produtividade de $4 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ na cultura da soja, sendo que N não é necessário aplicar, portanto para a gleba 01 é necessário $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P e $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K, e para as glebas 02 e 03 é necessário $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P e $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K.

De acordo com SBCS, (2016), a quantidade máxima a ser utilizada no sulco de plantio de K é de $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, visto que valores maiores pode ocasionar efeito salino. Dessa forma será aplicado na linha de plantio $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ tanto de P quanto de K, visando evitar efeito salino, o restante será feito a lanço, para a gleba 01 é necessário apenas $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P, e será aplicado $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mas fica dentro da variação que o manual de adubação e calagem recomenda que é de $10 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ tanto para mais quanto para menos. Ou seja, buscou-se uma taxa fixa de aplicação para realizar o plantio sem mudar a regulagem da semeadora, sendo que se fosse mudar a regulagem da semeadora durante o plantio em cada gleba se tornaria muitas manobras no plantio, dificultando o plantio, devido a divisão das glebas apresentar linhas bem irregulares. Assim para ambas as glebas a quantidade de NPK em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no sulco é:

$$\text{NPK} = 0 - 70 - 70$$

Aplicando o máximo divisor comum que é 5, obtemos a formulação teórica, onde aplicando $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ desta atinge os $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P e K na sulco de plantio, dessa forma a formulação teórica é:

$$\text{NPK} = 0 - 14 - 14$$

Não existe essa formulação no mercado. Dessa forma terá que ser ajustado para uma fórmula comercial que fique o mais próximo possível. A fórmula comercial que mais se adequa é a $\text{NPK} = 0 - 25 - 25$.

Portando, para a fórmula comercial $0 - 25 - 25$ temos que a necessidade por hectare (NC) seria:

$$NC = \frac{\text{Soma dos Valores NPK necessários}}{\text{Soma dos valores NPK da fórmula}} \cdot 100 = \frac{0 + 70 + 70}{0 + 25 + 25} * 100 = 280 \text{ kg. ha}^{-1}$$

Com a aplicação de 280 kg.ha⁻¹ do fertilizante mineral de fórmula NPK 0 – 25 – 25, conseguiremos atingir os 70 kg.ha⁻¹ de fósforo e de potássio em todas as glebas, o restante terá que ser aplicado a lanço.

Todas as glebas exigem 100 kg.ha⁻¹ de K, sendo que no sulco será aplicado 70 kg.ha⁻¹, ficando 30 kg.ha⁻¹ para ser aplicado a lanço. A fonte que será utilizada é o cloreto de potássio (KCL) 58% de K₂O, conforme a seguir:

100kg (KCL) _____ 58 kg de K

KCL.ha⁻¹ _____ 30 kg.ha⁻¹ de K

Assim é necessário aplicar a lanço antes do plantio 52 kg.ha⁻¹ de KCL em todas as glebas para atender à necessidade de potássio.

A gleba 02 e 03 necessitam de 90 kg.ha⁻¹ de P, sendo que no sulco de plantio será aplicado 70 kg.ha⁻¹, assim 20 kg.ha⁻¹ de P será realizado a lanço. A fonte de fósforo usada será o superfosfato simples (SFS) que contém 18% de P, assim:

100 kg (SFS) _____ 18 kg de P

SFS.ha⁻¹ _____ 20 kg.ha⁻¹ de P

Temos que é necessário aplicar 111 kg.ha⁻¹ de SFS na gleba 02 e 03 para atender a necessidade de P.

9 ADUBAÇÃO ORGANO MINERAL PARA A CULTURA DO TRIGO

Como adubação alternativa a adubação somente mineral, podemos fazer o uso da orgânica.

Assim, para a cultura do trigo será recomendado aplicar cama de frango devido sua facilidade de encontrar na região, os dados referentes a cama de frangos serão tirados do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (SBCS, 2016).

Para produzir 4 ton.ha⁻¹ de trigo existe a necessidade na gleba 01 de 60, 100 e 40 kg.ha⁻¹ de NPK respectivamente, na gleba 02 necessitamos de 60,110 e 40 kg.ha⁻¹ de NPK respectivamente, e na gleba 03 são 40,110 e 40 kg.ha⁻¹ de NPK respectivamente.

Fazendo o uso da cama de frangos com 3 a 4 lotes temos os seguintes teores médios, conforme a tabela 29.

Tabela 29: Teores médios de nutrientes, carbono e matéria seca da cama de frango 3-4 lotes, valores expresso em %massa/massa com base em material seco

Adubo Orgânico	C- Orgânico	N (total)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Matéria Seca
	% (m/m)						
Cama de frango (3 e 4 lotes)	30	3,2	3,5	2,5	4	0,8	75

Na tabela 30, temos os índices de eficiência da cama de frango com relação aos cultivos, pois a cama de frango por ser um fertilizante orgânico apresenta assim como os demais, variações em suas taxas de liberação dos nutrientes para a plantas.

Tabela 30: Índice de eficiência em cultivos sucessivos para NPK da cama de frango

Adubo Orgânico	Nutriente	Índice de eficiência	
		1° cultivo	2° cultivo
Cama de frango	N	0,5	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1	-

Para determinar a quantidade em kg.ha⁻¹ a ser aplicada da cama de frango em função da necessidade de nutrientes para atingir a produtividade almejada, usamos a equação abaixo.

$$A = QD / \left[\frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot D \right] (kg. ha^{-1})$$

Onde:

- A: Quantidade de cama de frango a ser aplicada ($kg.ha^{-1}$);
 QD: Quantidade necessária do nutriente analisado ($kg.ha^{-1}$);
 C: Concentração do nutriente na matéria seca (%);
 D: Índice de eficiência do nutriente analisado (%);
 B: O teor de matéria seca do adubo orgânico (%).

Assim é possível calcular a quantidade de cama de frango em função da demanda de cada nutriente. Importante que se deve aplicar a menor quantidade possível de cama de frango, ou seja, aplicar o necessário para suprir a menor quantidade entre os nutrientes calculados, tudo isso para evitar poluição ambiental. A diferença que falta nos demais nutrientes de cada gleba será feita uma adubação mineral.

Para a gleba 01 é necessário de NPK: 60 – 100 - 40 $kg.ha^{-1}$ respectivamente.

Dessa forma para nitrogênio temos:

$$A = 60 / \left[\frac{75}{100} \cdot \frac{3,2}{100} \cdot 0,5 \right] = 5.000 (kg.ha^{-1})$$

Para fósforo temos:

$$A = 100 / \left[\frac{75}{100} \cdot \frac{3,5}{100} \cdot 0,8 \right] = 4.761,90(kg.ha^{-1})$$

Para potássio:

$$A = 40 / \left[\frac{75}{100} \cdot \frac{2,5}{100} \cdot 1 \right] = 2.133,33 (kg.ha^{-1})$$

Devemos escolher a menor dose de todas para então evitar problemas de poluição ambiental, que é de 2.133 $kg.ha^{-1}$, essa quantidade supre 40 $kg.ha^{-1}$ $kg.ha^{-1}$ de potássio, assim aplicando essa dose de 2.133 $kg.ha^{-1}$ de cama de frango na equação acima e isolando o QD e substituindo os valores temos que para nitrogênio a seguinte quantidade:

$$QD = A * \frac{B}{100} * \frac{C}{100} * D (kg.ha^{-1})$$

Assim para nitrogênio:

$$QD (N) = 2133 * \frac{75}{100} * \frac{3,2}{100} * 0,5 = 25,60 \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$$

Para fósforo:

$$QD (P) = 2133 * \frac{75}{100} * \frac{3,5}{100} * 0,8 = 44,80 \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$$

Portanto aplicando 2.133 kg.ha⁻¹ de cama de frango temos 25,6, 44,8 e 40 kg.ha⁻¹, de NPK respectivamente. Logo falta 34,4 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 55,2 kg.ha⁻¹ de fósforo na gleba 01 para suprir a demanda.

Para a gleba 02 a necessidade de NPK é de 60, 110 e 40 kg.ha⁻¹ respectivamente. Para a gleba 03 a necessidade de NPK é de 40, 110 e 40 kg.ha⁻¹ respectivamente. Portanto, se realizarmos os cálculos conforme feito para a gleba 01 a menor quantidade de cama de frango será sempre para suprir a necessidade dos 40 kg.ha⁻¹ de potássio, pois as três glebas tem a mesma necessidade de potássio. Assim a dose de cama de frango para as glebas 02 e 03, será a mesma para a gleba 01, que é de 2.133 kg.ha⁻¹.

Aplicando essa dose de 2.133 kg.ha⁻¹ na gleba 02 é necessário repor 34,4 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 65,2 kg.ha⁻¹ de fósforo. Para a gleba 03 é necessário acrescentar 14,4 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 65,2 kg.ha⁻¹ de fósforo.

Na tabela 31 está representado de forma resumida as quantidades de NPK que a cama de frango fornece na dose aplicada, e o que falta de NPK para atingir a produtividade almejada de 4 ton.ha⁻¹.

Tabela 31: Quantidades de NPK fornecido, e que falta, na aplicação de cama de frango

Glebas	Fertilizante	Dose (kg.ha ⁻¹)	Nutrientes	Necessário (kg.ha ⁻¹)	Fornecido (kg.ha ⁻¹)	Falta (kg.ha ⁻¹)
1	Cama de frango	2.133	N	60	25,6	34,4
			P	100	44,8	55,2
			K	40	40	0
2	Cama de frango	2.133	N	60	25,6	34,4
			P	110	44,8	65,2
			K	40	40	0
3	Cama de frango	2.133	N	40	25,6	14,4
			P	110	44,8	65,2
			K	40	40	0

A diferença faltante de NPK será adicionada com fertilizantes minerais, conforme a seguir.

Para a adubação em cobertura do nitrogênio na gleba 01 e 02 será utilizado como fonte de nitrogênio a uréia na fórmula (45-0-0), assim para suprir os 34,4 kg.ha⁻¹ faltantes na gleba 01 e 02 temos:

100 kg de uréia _____ 45 kg de N

kg.ha⁻¹ uréia _____ 34,4 kg.ha⁻¹

É necessário aplicar 76 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura na gleba 01 e 02 para atender a necessidade de N.

Para gleba 03 é necessário apenas 14,4 kg.ha⁻¹ de nitrogênio:

100 kg de uréia _____ 45 kg de N

kg.ha⁻¹ uréia _____ 14,4 kg.ha⁻¹

É necessário aplicar 32 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura na gleba 03 para atender a necessidade de N.

Para o fósforo faltou na gleba 01 a quantidade de 55,2 kg.ha⁻¹, e nas glebas 02 e 03 65,2 kg.ha⁻¹ de fósforo, dessa forma será aplicado na linha de semeadura em todas as glebas 55,2 kg.ha⁻¹, e nas glebas 02 e 03 mais uma aplicação a lanço de 10 kg.ha⁻¹ de fósforo. Será utilizado como fonte de fósforo o super fosfato simples (SFS).

SFS na base, todas as glebas:

100 kg (SFS) _____ 18 kg de P

SFS.ha⁻¹ _____ 55,2 kg.ha⁻¹ de P

Será necessário aplicar 307 kg.ha⁻¹ de SFS em todas as glebas para atender a necessidade de P.

SFS a lanço para as glebas 02 e 03:

100 kg (SFS) _____ 18 kg de P

SFS.ha⁻¹ _____ 10 kg.ha⁻¹ de P

Temos que é necessário aplicar 56 kg.ha⁻¹ de SFS nas glebas 02 e 03 para atender a necessidade de P.

10 ADUBAÇÃO MINERAL DA SOJA APÓS ADUBAÇÃO ORGÂNICA DO TRIGO

Não é recomendado a adubação orgânica da soja, pois, geralmente os fertilizantes orgânicos fornecem muito nitrogênio, sendo que a soja tem a capacidade de fixar nitrogênio. Assim será realizado a adubação mineral na soja, mas como foi realizado adubação orgânica no primeiro cultivo (trigo), devido aos índices de eficiência da cama de frango usada no trigo, sobra N e P para o segundo cultivo, no caso a soja, assim devemos descontar o teor de P das necessidades das glebas, fósforo esse que provém da cama de frango usada no trigo.

A quantidade de P que sobra para a soja é dado pela quantidade de cama de frango utilizada no primeiro cultivo (2.133 kg.ha⁻¹), e pelo índice de eficiência do fósforo no segundo cultivo que é de 0,2, assim substituindo na equação da adubação orgânica com cama de frango temos:

$$QD (P) = 2133 * \frac{75}{100} * \frac{3,5}{100} * 0,2 = 11 \text{ (kg. ha}^{-1}\text{)}$$

Portanto, será diminuído de todas as glebas a quantidade de 11 kg.ha⁻¹ de fósforo da necessidade para atingir a produtividade almejada, necessidades essas presentes na tabela 31, já descontado o fósforo que provém da cama de frango utilizada no primeiro cultivo.

Tabela 32: Necessidades de NPK cultura da soja após adubação orgânica no trigo

Glebas	Recomendação de adubação		
	Nitrogênio	Fósforo kg.ha ⁻¹	Potássio kg.ha ⁻¹
1	Usar inoculação	49	100
2	Usar inoculação	79	100
3	Usar inoculação	79	100

A fórmula comercial que mais se adequa a necessidade é a NPK: 0 – 20 – 30, lembrando que não é recomendado usar mais que 80 kg.ha⁻¹ de potássio na linha devido os riscos de salinidade, portanto será utilizado o limite, assim:

$$NC (K) = \frac{K \text{ necessário}}{K \text{ da fórmula}} \cdot 100 = \frac{80}{30} * 100 = 266,66 \text{ kg.ha}^{-1}$$

Aplicando 265 kg.ha⁻¹ de 0 - 20 - 30, temos 79,5 kg.ha⁻¹ de potássio e 53 kg.ha⁻¹ de fósforo, assim será aplicado 265 kg.ha⁻¹ de fórmula 0 – 20 – 30, suprimindo a necessidade de P da gleba 01, necessitando uma adubação a lanço nas glebas 02 e 03 para suprir 26 kg.ha⁻¹ de fósforo e 20,5 kg.ha⁻¹ de potássio em todas as glebas.

Como fonte de fósforo será utilizado o SFS, assim para as glebas 02 e 03:

100 kg (SFS) _____ 18 kg de P

SFS.ha⁻¹ _____ 26 kg.ha⁻¹ de P

Temos que é necessário aplicar 144 kg.ha⁻¹ de SFS nas glebas 02 e 03 para atender a necessidade de P.

A fonte de potássio será o KCL, dessa forma para todas as glebas temos:

100kg (KCL) _____ 58 kg de K

KCL.ha⁻¹ _____ 20,5 kg.ha⁻¹ de K

É necessário aplicar 35 kg.ha⁻¹ de KCL em todas as glebas para suprir a necessidade de K das 3 glebas.

11 CUSTOS CALAGEM PARA SUCESSÃO SOJA E TRIGO

Os custos da calagem levam em consideração o valor do calcário a ser aplicado, que nesse caso será o calcário dolomítico, sendo que o calcário é cotado em reais por tonelada. Além do custo do calcário em si, temos o custo de aplicação deste calcário, que normalmente é reais por hectare, essa aplicação será realizada com caminhões espalhadores.

A gleba 01 é necessário a aplicação de calcário na forma superficial, já a gleba 02 e 03 é necessário realizar e essa aplicação de forma incorporada, assim existe também o custo de revolvimento desse solo, esse custo é dado em reais por hora do trator. A gleba 01 necessita de 1,312 ton.ha⁻¹, a gleba 02 necessita de 9,375 ton.ha⁻¹ de calcário, e a gleba 03 é necessário aplicar 7,625 ton.ha⁻¹, essa dosagem refere ao PRNT de 80% do fornecedor que será utilizado.

11.1 CUSTOS CALAGEM GLEBA 01

O custo da calagem da gleba 01 refere-se ao custo de 1,05 ton.ha⁻¹ de calcário com correção do PRNT para 80%, que é o PRNT do calcário que será aplicado, mais os custo da aplicação, a gleba 01 possui uma área de 5,2 ha.

O custo do calcário é dado por:

$$R\$. ha^{-1} = \left(\frac{\text{Necessidade calcário a PRNT 100\% (ton. ha}^{-1}\text{)}}{\text{PRNT do fornecedor}} * 100 \right) * \text{preço}$$

O custo da ton.ha⁻¹ do calcário já espalhado é de 250 reais.ton⁻¹, logo o custo será:

$$R\$. ha^{-1} \text{ calcário já espalhado} = \left(\frac{1,05}{80} * 100 \right) * 250 = 328,12 (R\$. ha^{-1})$$

O Custo total da gleba com o calcário aplicado será de:

$$R\$ = (328,12 (R\$. ha^{-1}) * ha) = 328,12 * 5,2 = R\$ 1.706,25$$

11.2 CUSTOS CALAGEM GLEBA 02

Os custos para a realização da calagem para a gleba 02 é semelhante a gleba 01, que fica o custo das 7,5 ton.ha⁻¹ de calcário corrigidas para o PRNT do calcário aplicado, mais o custo de aplicação, mais o custo de revolvimento do solo, lembrando que a gleba 02 possui 2,8 ha.

O calcário a ser aplicado possui um PRNT de 80%, o custo da ton.ha⁻¹ já espalhado é de 250 reais.ton⁻¹, logo o custo será:

$$R\$. ha^{-1} \text{ calcário já espalhado} = \left(\frac{7,5}{80} * 100 \right) * 250 = 2.343,75 (R\$. ha^{-1})$$

O Custo total da gleba com o calcário aplicado será de:

$$R\$ = (2.343,75 (R\$. ha^{-1}) * ha) = 2.343,75 * 2,8 = R\$ 6.562,50$$

A gleba 02 possui uma área de 2,8 ha, levando em consideração que o custo da hora do trator é de 250 R\$.ha⁻¹, e que são necessário 1,5 horas de trator por ha, o custo de revolvimento do solo será:

$$R\$ = (trator (R\$. hora^{-1}) * ha * 1,5(hora, ha^{-1})) = 250 * 2,8 * 1,5 = R\$ 1.050,00$$

Assim o custo da calagem da gleba 02 é de 6.562,50 mais 1.050,00, totalizando 7.612,50 reais.

11.3 CUSTOS CALAGEM GLEBA 03

O procedimento para os custo da calagem na gleba 03 é semelhante a gleba 02, oque muda é área, onde a gleba 03 é de 1,1 ha, e a necessidade de calcário que é de 6,1 ton.ha⁻¹ de calcário por PNRT de 100%.

O calcário a ser aplicado possui um PNRT de 80%, o custo da ton.ha⁻¹ já espalhado é de 250 reais.ton⁻¹, logo o custo será:

$$R\$. ha^{-1} = \left(\frac{6,1}{80} * 100 \right) * 250 = 1.906,25 (R\$. ha^{-1})$$

O Custo total da gleba com o calcário aplicado será de:

$$R\$ = (1906,25 (R\$. ha^{-1}) * ha) = 1.906,25 * 1,1 = R\$ 2.096,87$$

A gleba 03 possui uma área de 1,1 ha, dessa forma o trator que fará a incorporação do calcário é o mesmo da gleba 02, assim, o custo da hora do trator é de 250 R\$.hora⁻¹, e também são necessário 1,5 horas de trator por ha, o custo de revolvimento será:

$$R\$ = (trator (R\$. hora^{-1}) * ha * 1,5 (hora, ha^{-1})) = 250 * 1,1 * 1,5 = R\$ 412,50$$

Assim o custo da calagem da gleba 03 é de 2.096,87 mais 412,50, totalizando 2.509,37 reais.

12 CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL TRIGO

O custo da adubação mineral do trigo refere-se ao custo da adubação de base mais a adubação em cobertura, dessa forma existe o custo do trator para aplicar a adubação em cobertura.

O fertilizante NPK utilizado na base é o 5-30-10 na dose de 365 kg.ha⁻¹, o custo da tonelada desse fertilizante é de 4400 reais, dessa forma o custo da adubação de base é de:

1.000 kg (5-30-10) _____ R\$ 4.400,00

365 kg (5-30-10) _____ R\$ custo.ha⁻¹

Assim o custo.ha⁻¹ é de 1.606,00 reais, essa adubação vai em toda a área, ou seja, nos 9,1 ha, dessa forma o custo total da adubação de base é:

$$\text{Adubação de Base (R\$)} = (1.606 \text{ (R\$.ha}^{-1}) * \text{ha}) = 1.606 * 9,1 = \text{R\$ } 14.614,60$$

A adubação em cobertura é referente a aplicação da ureia, o custo da tonelada da uréia 45% é de 4.000,00 reais, o custo é para a gleba 01 e 02 que é necessário 93 kg.ha⁻¹ de uréia é:

1.000 kg (Uréia 45%) _____ R\$ 4.000,00

93 kg.ha⁻¹(Uréia 45%) _____ R\$ custo.ha⁻¹

O custo é de 372 reais.ha⁻¹ para a gleba 01 e 02. A área total dessas duas glebas é 8 ha, e o custo da aplicação é de 200 reais.hora⁻¹, e são necessário 0,5 hora.ha⁻¹ para realizar a aplicação, (pois são duas aplicações de 0,25 horas.ha⁻¹, devido ao parcelamento da aplicação da ureia), assim o custo total da adubação em cobertura das glebas 01 e 02 é:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R\$. hora}^{-1}) * 0,5 (\text{hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 372,00 \text{ (R\$, ha}^{-1}))$$

$$\text{R\$ gleba 01 e 02} = (200 * 0,5 * 8) + (8 * 372,00) = 3.776,00$$

Já para a gleba 03 é necessário 48 kg.ha⁻¹. Assim o custo é de:

1.000 kg (Uréia 45%)_____ R\$ 4.000,00

48 kg.ha⁻¹(Uréia 45%)_____ R\$ custo.ha⁻¹

O custo para a gleba 03 é de 192 reais.ha⁻¹, como a gleba 03 tem 1,1 ha, o custo da gleba é de:

$$R\$ = ((trator (R\$. hora^{-1}) * 0,5 (hora. ha^{-1}) * ha) + (ha * 192,00 (R\$, ha^{-1})))$$

$$R\$ \text{ gleba } 03 = (200 * 0,5 * 1,1) + (1,1 * 192,00) = 312,20$$

Dessa forma o custo total da adubação em cobertura é:

$$Adubação \text{ em cobertura } (R\$) = \text{custos gleba } 01 \text{ e } 02 + \text{custos gleba } 03$$

$$Adubação \text{ em cobertura } (R\$) = 3.744,00 + 312,20 = 4.056,20$$

13 CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL SOJA

O custo de adubação mineral da cultura da soja é referente ao custo da adubação de base, e da adubação a lanço.

O fertilizante utilizado na base é o NPK 0-25-25, na dosagem de 280 kg.ha⁻¹, o custo da tonelada é de 5.000,00 reais, dessa forma o custo da adubação de base é de:

1.000 kg (0-25-25)_____ R\$ 5.000,00

280 kg (0-25-25)_____ R\$ custo.ha⁻¹

Assim o custo.ha⁻¹ é de 1.400,00 reais, essa adubação vai em toda a área, ou seja, nos 9,1 ha, dessa forma o custo total da adubação de base é:

$$Adubação \text{ de Base } (R\$) = (1.400 (R\$. ha^{-1}) * ha) = 1.400 * 9,1 = R\$ 12.740,00$$

A adubação a lanço do K ocorre em toda a área, na dosagem de 52 kg.ha⁻¹ de KCL, o custo da tonelada do KCL é de 5.600,00 reais, logo o custo será:

1.000 kg (KCL)_____ R\$ 5.600,00

52 kg.ha⁻¹(KCL)_____ R\$ custo.ha⁻¹

Assim o custo.ha⁻¹ de KLC é de 291,20 reais.ha⁻¹. Além disso temos o custo de aplicação que é de 0,25 horas de trator.ha⁻¹, com um custo de 200 R\$.hora⁻¹, dessa forma o custo total do KCL aplicado na área é:

$$R\$ = ((\text{trator } (R\$. \text{hora}^{-1}) * 0,25 (\text{hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 291,20 (R\$. \text{ha}^{-1})))$$

$$\text{Adubação a lanço K } (R\$) = (200 * 0,25 * 9,1) + (9,1 * 291,20) = 3104,92$$

Outra adubação a lanço é o P, essa será realizada na gleba 02 e 03, na dosagem de 111 kg.ha⁻¹ de SFS, o custo da tonelada do SFS é de 4.000,00 reais, assim o custo será:

$$1.000 \text{ kg (SFS)} \text{_____} R\$ 4.000,00$$

$$111 \text{ kg.ha}^{-1}(\text{SFS}) \text{_____} R\$ \text{ custo.ha}^{-1}$$

Portanto o custo será de 444,00 reais.ha⁻¹, como será aplicado nas duas glebas, a soma das áreas é de 3,9 ha, tendo que o custo de aplicação é de 0,25 horas de trator a cada hectare, e o custo da hora é de 200 R\$.hora⁻¹, assim o custo será:

$$R\$ = ((\text{trator } (R\$. \text{hora}^{-1}) * 0,25 (\text{hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 444,00 (R\$. \text{ha}^{-1})))$$

$$\text{Adubação a lanço P } (R\$) = (200 * 0,25 * 3,9) + (3,9 * 444) = 1.926,60$$

14 CUSTOS DA ADUBAÇÃO ORGANO MINERAL DO TRIGO

Os custos da adubação organo mineral do trigo refere-se os custos da cama de frango, mais os custos da adubação em cobertura, mais os custos da adubação de base, mais a adubação a lanço do fósforo, e os custo referente as aplicações.

A cama de frango custa em média 200 reais.ton⁻¹ já aplicada, dessa forma como será aplicado 2,133 ton.ha⁻¹, o custo será de:

$$\text{Custo } (reais. \text{ha}^{-1}) = \text{camafrango } (reais. \text{ton}^{-1}) * \text{quantidade } (\text{ton. ha}^{-1})$$

Assim:

$$\text{Custo } (reais. \text{ha}^{-1}) = 200 * 2,133 = 426,60$$

O custo da área será:

$$\text{Custo total cama de frango (R\$)} = \text{custo}(\text{reais. ton}^{-1}) * \text{área (há)}$$

Dessa forma:

$$\text{Custo total cama de frango (R\$)} = 426,60 * 9,1 = 3.882,60$$

A adubação em cobertura é referente a aplicação da ureia, o custo da tonelada da uréia 45% é de 4.000,00 reais, o custo é para a gleba 01 e 02 que é necessário 76 kg.ha⁻¹ de uréia, assim:

$$1.000 \text{ kg (Uréia 45\%)} \text{_____ R\$ 4.000,00}$$

$$76 \text{ kg.ha}^{-1}(\text{Uréia 45\%}) \text{_____ R\$ custo.ha}^{-1}$$

O custo é de 304 reais.ha⁻¹ para a gleba 01 e 02. A área total dessas duas glebas é 8 ha, e o custo da aplicação é de 200 reais.hora⁻¹, e são necessário 0,5 hora.ha⁻¹ para realizar a aplicação, (pois são duas aplicações de 0,25 horas.ha⁻¹, devido ao parcelamento da aplicação da ureia), assim o custo total da adubação em cobertura das glebas 01 e 02 é:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R\$. hora}^{-1}) * 0,5 (\text{hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 304,00 (\text{R\$, ha}^{-1})))$$

$$\text{R\$ gleba 01 e 02} = (200 * 0,5 * 8) + (8 * 304,00) = 3.232,00$$

Já para a gleba 03 é necessário 32 kg.ha⁻¹. Assim o custo é de:

$$1.000 \text{ kg (Uréia 45\%)} \text{_____ R\$ 4.000,00}$$

$$32 \text{ kg.ha}^{-1}(\text{Uréia 45\%}) \text{_____ R\$ custo.ha}^{-1}$$

O custo para a gleba 03 é de 128 reais.ha⁻¹, como a gleba 03 tem 1,1 ha, o custo da gleba é de:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R\$. hora}^{-1}) * 0,5 (\text{hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 128,00 (\text{R\$, ha}^{-1})))$$

$$\text{R\$ gleba 03} = (200 * 0,5 * 1,1) + (1,1 * 128,00) = 250,80$$

Dessa forma o custo total da adubação em cobertura é:

$$\text{Adubação em cobertura (R\$)} = \text{custos gleba 01 e 02} + \text{custos gleba 03}$$

$$\text{Adubação em cobertura (R\$)} = 3.232,00 + 250,80 = 3.482,80$$

Outra adubação a adubação de base do P, essa será realizada em todas as glebas, na dosagem de 307 kg.ha⁻¹ de SFS, o custo da tonelada do SFS é de 4.000,00 reais, assim o custo será:

$$1.000 \text{ kg (SFS)} \text{_____ R\$ } 4.000,00$$

$$307 \text{ kg.ha}^{-1} \text{(SFS)} \text{_____ R\$ custo.ha}^{-1}$$

Portanto o custo será de 1.228,00 reais.ha⁻¹, o custo total será:

$$\text{Adubação de Base (R\$)} = (1.228,00 \text{ (R$. ha}^{-1}) * \text{ha}) = 1.228 * 9,1 = \text{R\$ } 11.174,80$$

Outro custo é a adubação a lanço do P, essa será realizada na gleba 02 e 03, na dosagem de 56 kg.ha⁻¹ de SFS, o custo da tonelada do SFS é de 4.000,00 reais, assim o custo será:

$$1.000 \text{ kg (SFS)} \text{_____ R\$ } 4.000,00$$

$$56 \text{ kg.ha}^{-1} \text{(SFS)} \text{_____ R\$ custo.ha}^{-1}$$

Portanto o custo será de 224,00 reais.ha⁻¹, como será aplicado nas duas glebas, a soma das áreas é de 3,9 ha, tendo que o custo de aplicação é de 0,25 horas de trator a cada hectare, e o custo da hora é de 200 R\$.hora⁻¹, assim o custo será:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R$. hora}^{-1}) * 0,25 \text{ (hora. ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 224,00 \text{ (R$. ha}^{-1}))$$

$$\text{Adubação a lanço P (R\$)} = (200 * 0,25 * 3,9) + (3,9 * 224) = 1.068,60$$

15 CUSTOS ADUBAÇÃO MINERAL DA SOJA APÓS ADUBAÇÃO ORGÂNICA DO TRIGO

O custo de adubação mineral da soja após a adubação orgânica do trigo é referente ao custo da adubação de base, e da adubação a lanço.

O fertilizante utilizado na base é o NPK 0-20-30, na dosagem de 265 kg.ha⁻¹, o custo da tonelada é de 4800,00 reais, dessa forma o custo da adubação de base é de:

1.000 kg (0-20-30)_____ R\$ 4.800,00

265 kg (0-20-30)_____ R\$ custo.ha⁻¹

Assim o custo.ha⁻¹ é de 1.272,00 reais, essa adubação vai em toda a área, ou seja, nos 9,1 ha, dessa forma o custo total da adubação de base é:

$$\text{Adubação de Base (R\$)} = (1.272 \text{ (R\$.ha}^{-1}) * \text{ha}) = 1.272 * 9,1 = \text{R\$ 11.575,20}$$

Outra adubação refere-se a adubação a lanço do P, essa será realizada na gleba 02 e 03, na dosagem de 144 kg.ha⁻¹ de SFS, o custo da tonelada do SFS é de 4000,00 reais, assim o custo será:

1.000 kg (SFS)_____ R\$ 4.000,00

144 kg.ha⁻¹(SFS)_____ R\$ custo.ha⁻¹

Portanto o custo será de 576,00 reais.ha⁻¹, como será aplicado nas duas glebas, a soma das áreas é de 3,9 ha, tendo que o custo de aplicação é de 0,25 horas de trator a cada hectare, e o custo da hora é de 200 R\$.hora⁻¹, assim o custo será:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R\$.hora}^{-1}) * 0,25 \text{ (hora.ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 576,00 \text{ (R\$.ha}^{-1}))$$

$$\text{Adubação a lanço P (R\$)} = (200 * 0,25 * 3,9) + (3,9 * 576) = 2.441,40$$

A adubação a lanço do K ocorre nas 3 glebas, na dosagem de 35 kg.ha⁻¹ de KCL, o custo da tonelada do KCL é de 5.600,00 reais, logo o custo será:

1.000 kg (KCL)_____ R\$ 5.600,00

35 kg.ha⁻¹(KCL)_____ R\$ custo.ha⁻¹

Assim o custo.ha⁻¹ de KLC é de 196,00 reais.ha⁻¹. Além disso temos o custo de aplicação que é de 0,25 horas de trator.ha⁻¹, com um custo de 200 R\$.hora⁻¹, dessa forma o custo total do KCL aplicado na área é:

$$\text{R\$} = ((\text{trator (R\$.hora}^{-1}) * 0,25 \text{ (hora.ha}^{-1}) * \text{ha}) + (\text{ha} * 196 \text{ (R\$.ha}^{-1}))$$

$$\text{Adubação a lanço K (R\$)} = (200 * 0,25 * 9,1) + (9,1 * 196) = 2.238,60$$

16 RESUMO DO PLANO DE ADUBAÇÃO PARA AS CULTURAS DE SOJA E TRIGO

Com o entendimento dos principais conceitos da fertilidade do solo foi possível realizar uma avaliação de uma área de terra de 9,1 ha.

Após a coleta das amostras de solo, estas foram enviadas ao laboratório para analisar o solo, com as análises de solo foi possível interpretá-las e assim gerar um plano de intervenção da fertilidade do solo para essa área, de tal forma que fosse possível atingir os objetivos deste trabalho, que é de gerar um plano de calagem e adubação para que se consiga atingir uma produtividade de 4 ton.ha⁻¹ na cultura do trigo e da cultura da soja. Assim foi possível gerar um plano de calagem e adubação organo mineral, como também um plano de calagem e adubação somente mineral como está disposto na tabela 33 para o primeiro cultivo (trigo).

Tabela 33: Plano de calagem e adubação mineral primeiro cultivo (trigo)

Recomendação de adubação mineral e calagem para a cultura do trigo						
Gleba	Aplicação		Fertilizantes /Corretivo	Kg/ha	Custo.h a ⁻¹ já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
1	Calagem		Dolomítico	1.312	328,12	1.706,25
	Adubação mineral	Base	NPK (5-30-10)	365	1.606,00	8.351,20
		Cobertura	Uréia (45-0-0)	93	472,00	2.454,40
Gleba	Aplicação		Fertilizantes/Corretivo	Kg/ha	Custo.h a ⁻¹ já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
2	Calagem		Dolomítico	9.375	2.718,75	7.612,50
	Adubação mineral	Base	NPK (5-30-10)	365	1.606,00	4.496,80
		Cobertura	Uréia (45-0-0)	93	472,00	1.321,60
Gleba	Aplicação		Fertilizantes/Corretivo	Kg/ha	Custo.h a ⁻¹ já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
3	Calagem		Dolomítico	7.625	2.281,24	2.509,37
	Adubação mineral	Base	NPK (5-30-10)	365	1.606,00	1.766,60
		Cobertura	Uréia (45-0-0)	48	283,81	312,20
Custo total primeiro cultivo (R\$)						30.530,92

Na tabela 34 o plano de adubação mineral para o segundo cultivo (soja).

Tabela 34: Plano de adubação mineral segundo cultivo (soja)

Recomendação de adubação mineral para a cultura da soja						
Glebas	Aplicação		Fertilizantes	Kg/ha	Custo.ha-1 já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
1	Adubação mineral	Base	NPK (0-25-25)	280	1.400,00	7.280,00
		Lanço	KCL	52	341,20	1.774,24
2	Adubação mineral	Base	NPK (0-25-25)	280	1.400,00	3.920,00
		Lanço	KCL	52	341,20	955,36
			SFS	111	494,00	1.383,20
3	Adubação mineral	Base	NPK (0-25-25)	280	1.400,00	1.540,00
		Lanço	KCL	52	341,20	375,32
			SFS	111	494,00	543,40
Custo total segundo cultivo						17.771,52

Na tabela 35 está presente o plano de calagem e adubação organo mineral para o primeiro cultivo (trigo).

Tabela 35: Plano de calagem e adubação organo mineral primeiro cultivo (trigo)

Recomendação de adubação organo mineral e calagem para a cultura do trigo					
Gleba	Aplicação	Fertilizantes	Kg/ha	Custo.ha-1 já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
1	Calagem	Dolomítico	1.312	328,12	1.706,25
	Cama de frango	cama de 3 a 4 lotes	2.133	426,60	2.218,32
	Cobertura	Uréia (45-0-0)	76	404,00	2.100,80
	Adubação de base	SFS	307	1.228,00	6.385,60
2	Calagem	Dolomítico	9.375	2.718,75	7.612,50
	Cama de frango	cama de 3 a 4 lotes	2.133	426,60	1.194,48
	Cobertura	Uréia (45-0-0)	76	404,00	1.131,20
	Adubação de base	SFS	307	1.228,00	3.438,40
	Adubação a lanço	SFS	56	274,00	767,20
3	Calagem	Dolomítico	7.625	2.281,24	2.509,37
	Cama de frango	cama de 3 a 4 lotes	2.133	426,60	469,26
	Cobertura	Uréia (45-0-0)	32	228,00	250,80
	Adubação de base	SFS	307	1.228,00	1.350,80
	Adubação a lanço	SFS	56	274,00	301,40
Custo total					31.436,38

Na tabela 36 está presente o plano de adubação mineral da soja após a adubação orgânica do trigo.

Tabela 36: Plano de adubação mineral da soja após adubação orgânica do trigo

Recomendação de adubação para a cultura da soja						
Glebas	Aplicação		Fertilizantes	Kg/ha	Custo.ha⁻¹ já Aplicado(R\$)	Custo da gleba (R\$)
1	Adubação mineral	Base	NPK (0-20-30)	265	1.272,00	6.614,40
		Lanço	KCL	35	246,00	1.279,20
2	Adubação mineral	Base	NPK (0-20-30)	265	1.272,00	3.561,60
		Lanço	KCL	35	246	688,80
			SFS	144	626	1.752,80
3	Adubação mineral	Base	NPK (0-20-30)	265	1.272,00	1.399,20
		Lanço	KCL	35	246	270,60
			SFS	144	626	688,60
Custo total segundo cultivo						16.255,20

Lembrando que todas as adubações a lanço de super fosfato simples nas glebas 02 e 03, podem ser realizadas juntamente com a calagem, com o objetivo de incorporar esse fósforo no solo, evitando perdas por lixiviação, visto que o fósforo é um nutriente pouco móvel em solo.

17 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhor viabilidade econômica ocorre com a adubação organo mineral do trigo, seguido da adubação mineral da soja, visto que se torna mais em conta financeiramente pois, o plano de calagem e adubação somente mineral custa R\$ 30.530,92 na cultura do trigo mais R\$ 17.771,52 na cultura da soja, totalizando entre os dois cultivos R\$ 48.302,44. Já, fazendo o uso do plano de calagem e adubação organo mineral da cultura do trigo o custo é de R\$ 31.436,38 mais R\$ 16.255,20 da adubação mineral da soja, totalizando entre os dois cultivos um valor de R\$ 47.691,58.

Portanto, o recomendado é a utilização do plano de calagem e adubação organo mineral da cultura do trigo, seguido da adubação mineral da soja, visto que se torna mais atrativo economicamente, além de que o uso de adubos orgânicos é uma prática sustentável.

Dessa forma, fica evidente a necessidade para uma correta tomada de decisões no que diz respeito a produtividade das culturas, fazer análises de solo e uma correta interpretação destas. A análise de solo é a única maneira segura de saber quais nutrientes/corretivos, e em que quantidades deve-se adicionar ao solo para atingir a produtividade esperada para a cultura de interesse. Também é possível observar que é possível a correção de fertilidade do solo em pequenas áreas, sem o uso da agricultura de precisão.

Em suma, fica evidente a importância de uma assistência técnica que oriente o produtor em como deve ser seus manejos, visto que o solo é um recurso natural essencial não renovável, e este é a principal forma para a produção de alimentos, onde a dependência dos seres vivos ao recurso solo, só tende a aumentar, portanto, devemos preservá-lo, e usá-lo com mais eficiência e sustentabilidade, ou seja, estudar e aplicar os conhecimentos é essencial, lembrando que tanto a calagem, como a adubação orgânica e mineral são práticas de manejo e conservação do solo chamadas de edáficas, portanto, além de corrigir a fertilidade está ocorrendo a conservação do recurso solo.

Além disso fica claro que uma assistência técnica de qualidade que oriente o produtor em suas decisões, faz com que as mesmas sejam mais assertivas e por sua vez apresente um maior retorno financeiro das atividades.

REFERÊNCIAS

- BONATO Emílio R. & BONATO Ana V. **A soja no Brasil: História e Estatística**. Londrina – PR: Embrapa, 1987. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/446431/1/Doc21.pdf> >. Acesso em: 28 dez. 2021.
- BRANDÃO Débora S. *et al.* **Química e Fertilidade do Solo**. Porto Alegre - RS: Sagah, 2021.
- CAMARGOS Sônia L. **Acidez do solo e Calagem (Reação do Solo)**. Departamento de Solos e Engenharia Rural: UFMT, 2005. Disponível em: < https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf >. Acesso em: 07 Abril 2022.
- CAIEIRÃO Eduardo *et al.* **Uso do germoplasma de Embrapa nos programas de melhoramento de trigo no Brasil**. Ciência Rural, Santa Maria, v.44, n.1, p.57-63, Jan, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000144>> Acesso em: 23 Mar. 2022.
- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). **Cultura do trigo**. Brasília – DF: Conab, 2017. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf >. Acesso em: 23 Mar. 2022.
- FINKLER Raquel *et al.* **Ciência do Solo e Fertilidade**. Porto Alegre – RS: Sagah, 2018.
- KERBAUY Gilberto B. **Fisiologia Vegetal**. 3ªed. Rio de Janeiro – RJ: Guanabara Koogan LTDA, 2019.
- LUZ Maria J. S.; FERREIRA Gilvan B.; BEZERRA José R. C. **Adubação e Correção do solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise de Solo**. Circular Técnica 63. Campina Grande – PB: Embrapa, 2002. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/19595/1/CIRTEC63.pdf> >. Acesso em: 07 de Abril 2022.
- MORI Claudia de *et al.* Trigo: **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília – DF: Embrapa, 2016. Disponível em: < <https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/arquivoPDF.php?publicacaooid=90000034> >. Acesso em: 28 de dez. 2021.
- NOGUEIRA Michelle B. *et al.* **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre – RS: Sagah, 2020.
- OLIVEIRA Arnold B. *et al.* Soja: **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília – DF: Embrapa 2019: Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208388/1/500-PERGUNTAS-Soja-ed-01-2019.pdf> >. Acesso em: 28 dez. 2021.
- PELINSON Natália S. *et al.* **Morfologia e Gênese do Solo**. Porto Alegre – RS: Sagah, 2021.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação: Para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 11 ed. RS/SC. Sociedade Brasileira de Ciências do solo – Núcleo Regional Sul. 2016.

Disponível em:

<https://www.sbcsnrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf>. Acesso em : 29 dez. 2021

WIETHÖLTER Sírio. **Calagem no Brasil.** Passo Fundo – RS: Embrapa, 2000.

Disponível em: <

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84194/1/CNPT-DOC.-22-00.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2021.