

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ FELIPE CINTRA

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS DE SANTA HELENA
- PARANÁ**

SANTA HELENA

2025

LUIZ FELIPE CINTRA

**DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS DE SANTA HELENA
- PARANÁ**

Diagnosis of Soil Fertility in Santa Helena - Paraná

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

Orientador(a): Prof. Dr. Lincon Oliveira Stefanello da
Silva

Coorientador(a): Profa. Dra. Alessandra Matte

SANTA HELENA

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUIZ FELIPE CINTRA

DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DOS SOLOS DE SANTA HELENA - PARANÁ

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

Data de aprovação: 05/dezembro/2025

Lincon Oliveira Stefanello da Silva
Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Edicleia Aparecida Bonini e Silva
Doutora em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Daniel Antonio Moro
Engenheiro Agrônomo
Secretaria da Agricultura - Prefeitura Municipal de Santa Helena

SANTA HELENA
2025

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso aos meus pais, Assumar e Sueli, que são minha base, meu alicerce e minha maior fonte de inspiração. Cada conquista alcançada ao longo desta trajetória tem um pouco de vocês, do amor que sempre me ofereceram, da força que me ensinaram a ter e do exemplo de dedicação e honestidade que carregam consigo. A presença de vocês em minha vida é o que torna possível cada passo rumo ao futuro que escolhi construir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada é possível.

Quero expressar, do fundo do meu coração, minha gratidão aos meus pais, Assumar e Sueli, minha base de vida, que sempre me apoiaram com amor, força e incentivo. Estendo também meus agradecimentos aos demais familiares, que nunca deixaram de acreditar em mim e me ofereceram suporte em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Lincon Stafanello, que guiou esta pesquisa com excelência e me auxiliou de maneira atenciosa, competente e compreensiva. Também registro meu agradecimento à minha coorientadora, Dra. Alessandra Matte, profissional exemplar que acompanhou esta trajetória acadêmica e contribuiu de forma significativa para meu desenvolvimento pessoal e científico.

Aos meus amigos, deixo minha sincera gratidão por estarem ao meu lado nessa caminhada. Além de me ajudarem academicamente, tornaram meus dias mais leves, alegres e motivadores.

Por fim, registro minha profunda gratidão à Instituição (UTFPR), aos professores e aos colaboradores, que possibilitam o funcionamento com excelência e tornam realidade os sonhos daqueles que buscam transformar conhecimento em futuro.

"A vaca não dá leite." (Cortella, 2015).

RESUMO

A agricultura brasileira, especialmente no Oeste do Paraná (PR), sustenta elevados níveis de produção agrícola devido à expansão tecnológica e ao manejo intensivo das principais culturas. Na região, predominam solos argilosos altamente intemperizados, como Latossolos e Nitossolos, que apresentam baixa fertilidade natural e exigem práticas criteriosas de correção da acidez e adubação equilibrada. Nesse contexto, a análise química do solo torna-se essencial para diagnosticar limitações nutricionais, orientar recomendações técnicas e garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Assim, o objetivo deste trabalho foi diagnosticar a fertilidade e a disponibilidade de elementos químicos dos solos de Santa Helena (PR), identificando limitações nutricionais e possíveis riscos ambientais para orientar o manejo agrícola. O estudo foi conduzido no município de Santa Helena (PR) a partir da análise de um banco de dados composto por amostras de solo coletadas em áreas agrícolas entre 2019 e 2021. Foram utilizados os atributos químicos do solo, matéria orgânica (MOS), pH, fósforo (P) e potássio (K) disponíveis, cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis, alumínio (Al^{3+}) tóxico, soma de bases (SB), $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$, $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e índices de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). Foram considerados os critérios do Manual de Adubação e Calagem do Paraná para empregar as classes de disponibilidade (muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto e condição a evitar) para cada atributo químico. As variáveis foram submetidas à análise descritiva, considerando médias, desvios-padrão e coeficientes de variação. Foram elaboradas figuras com base na distribuição relativa para comparar tendências nos três anos avaliados. Toda a organização, tabulação e elaboração das figuras foram realizadas no ambiente estatístico R. Os resultados mostraram melhora consistente na fertilidade dos solos entre 2019 e 2021, com aumento das classes altas e muito altas de MOS, pH, P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} , além da redução dos níveis de Al^{3+} . Essas alterações refletiram em maiores valores de $\text{CTC}_{\text{pH}7}$, $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, V% e participação de Ca e K na CTC do solo, indicando melhores condições químicas para o desenvolvimento das culturas. As melhorias observadas sugerem que as práticas de manejo adotadas no período contribuíram para elevar a disponibilidade de nutrientes e potencializar a produtividade agrícola do município. Apesar dos avanços, destaca-se a necessidade de cautela no uso de calcário, devido ao risco de desequilíbrio na relação entre Ca e Mg, e redução da disponibilidade de micronutrientes em função do aumento do pH, reforçando a importância do monitoramento contínuo da fertilidade do solo para orientar decisões de manejo e políticas públicas futuras.

Palavras-chave: Química do solo; Valores de referência; Políticas públicas.

ABSTRACT

Brazilian agriculture, particularly in western Paraná (PR), maintains high productivity levels supported by technological advances and intensive management of major cropping systems. In this region, highly weathered clayey soils, mainly Oxisols and Ultisols, predominate; these soils exhibit low natural fertility and therefore require precise acidity correction and balanced fertilization strategies. In this context, soil chemical analysis is essential for diagnosing nutritional limitations, guiding technical recommendations, and ensuring the sustainability of agricultural systems. Thus, the objective of this study was to diagnose soil fertility and the availability of chemical elements in Santa Helena (PR), identifying nutritional constraints and potential environmental risks to support agricultural decision-making. The study analyzed a database of soil samples collected from agricultural fields in Santa Helena between 2019 and 2021. The following soil chemical attributes were evaluated: soil organic matter (SOM), pH, available phosphorus (P) and potassium (K), exchangeable calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}), toxic aluminum (Al^{3+}), sum of bases (SB), cation exchange capacity at pH 7.0 ($\text{CEC}_{\text{pH}7}$), effective CEC ($\text{CEC}_{\text{effective}}$), and the base saturation (V%) and aluminum saturation (m%) indices. Availability classes (very low, low, middle, high, very high, and condition to be avoided) were assigned according to the criteria of the Paraná Fertilization and Liming Manual. The variables were subjected to descriptive statistical analysis using means, standard deviations, and coefficients of variation, and frequency distribution graphs were generated to compare trends across the three years. All data processing and figure development were performed using the R statistical environment. The results revealed consistent improvements in soil fertility from 2019 to 2021, marked by higher frequencies of high and very high classes of SOM, pH, P, K, Ca^{2+} , and Mg^{2+} , alongside reduced Al^{3+} levels. These shifts resulted in increased $\text{CEC}_{\text{pH}7}$, $\text{CEC}_{\text{effective}}$, V%, and greater contributions of Ca and K to the exchange complex (CTC), indicating more favorable chemical conditions for crop development. The improvements suggest that management practices adopted during the period enhanced nutrient availability and likely contributed to increased agricultural productivity in the municipality. However, caution is advised regarding excessive limestone application, which may unbalance the Ca:Mg ratio and reduce micronutrient availability under elevated pH conditions. Overall, the findings reinforce the importance of continuous soil fertility monitoring as a strategic tool to support technical management decisions and guide future public policies.

Keywords: Soil chemistry; Reference values; Public policies.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ordens, termos de conotação ou memorização, e área de representação dos solos do Brasil.....	27
Tabela 2 – Critérios estabelecidos pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná.....	28
Tabela 3 - Análise descritiva dos atributos químicos do solo (MOS, pH, P, K, Ca, Mg, Al, SB, CTCpH7, CTCefetiva, V, m, K-CTC, Ca-CTC e Mg-CTC) nos anos 2019, 2020 e 2021 no município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do município de Santa Helena.....	29
Figura 2 - Distribuição percentual das classes de interpretação de matéria orgânica e pH nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	
33Figura 3 - Distribuição percentual das classes de interpretação de fósforo (P) e potássio (K) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	
34Figura 4 - Distribuição percentual das classes de interpretação de cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺) e alumínio (Al ³⁺) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	
35Figura 5 - Distribuição percentual das classes de interpretação de capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (CTC _{pH7,0}) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC _{efetiva}) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	40
Figura 6 - Distribuição percentual das classes de interpretação de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	
39Figura 7. Distribuição percentual das classes de interpretação da percentagem de potássio (% K), cálcio (% Ca) e magnésio (% Mg) na capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC _{pH7,0}) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Características edáficas da agricultura	15
3.2 Cenário Paranaense dos Solos	17
3.3 Região Oeste Paranaense	19
3.4 Fatores que influenciam a fertilidade do solo	20
3.5 Fertilidade do solo: qualidade química	22
3.6 Elementos principais para produção agrícola	24
4 METODOLOGIA	
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira se consolidou como uma das maiores forças produtivas do mundo, sustentada por avanços tecnológicos e pela expansão das áreas cultivadas. De acordo com levantamentos recentes da CONAB, a produção nacional de grãos ultrapassa 320 milhões de toneladas, refletindo a elevada capacidade produtiva do país (CONAB, 2025). No Paraná, a agricultura possui papel de destaque, com produção superior a 40 milhões de toneladas, sendo o Oeste Paranaense uma das regiões mais dinâmicas devido à forte presença de soja, milho e trigo. No contexto municipal, Santa Helena também participa desse cenário produtivo, apresentando, segundo dados do IBGE, produção anual superior a 90 mil toneladas de soja e mais de 70 mil toneladas de milho em anos recentes, evidenciando sua relevância no mosaico agrícola regional (IBGE, 2024).

Na região Oeste do Paraná predominam solos argilosos altamente intemperizados, como Latossolos e Nitossolos (Pauletti e Motta, 2019), originários de rochas basálticas. Esses solos apresentam em sua mineralogia predomínio de argilas 1:1, especialmente caulinita, e elevados teores de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Rheinheimer et al., 2000). Tais características químicas conferem a esses solos uma alta acidez natural e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), resultando em condições quimicamente pobres quando comparados a ambientes menos intemperizados, como Chernossolos e Luvisolos. Assim, apesar de sua boa estrutura física e estabilidade de agregados, esses solos exigem manejo criterioso para sustentar altos níveis de produtividade potencial.

Diante dessas propriedades intrínsecas, torna-se imprescindível adotar estratégias de correção da acidez e práticas de adubação equilibradas. A calagem é fundamental para neutralizar o alumínio tóxico (Al^{3+}), elevar o pH e favorecer a disponibilidade de elementos essenciais, enquanto a adubação balanceada garante a correção, manutenção e reposição da fertilidade do solo ao longo dos ciclos produtivos (NEPAR, 2019). Nesse contexto, a análise química do solo se destaca como a principal ferramenta de diagnóstico, permitindo avaliar, de forma objetiva e precisa, a condição nutricional potencial de um ambiente agrícola. Essa abordagem é indispensável para a tomada de decisão técnica e para a construção de sistemas de produção sustentáveis (Aires et al., 2022).

Os principais atributos químicos considerados em avaliações de fertilidade incluem pH (em água ou em sal), acidez potencial ($H + Al$ ou SMP/TSM), saturação por bases ($V\%$), teores de alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) “trocáveis”, teores de fósforo (P) e potássio (K) “disponíveis”, e de carbono (C) orgânico do solo (matéria orgânica do solo – MOS) (CQFS

– RS/SC, 2016). Cada nutriente irá apresentar valores críticos de referência, os níveis críticos (NC), os quais subsidiam a proposição arbitrária de classes de disponibilidade (muito baixa, baixa, média, alta, muito alta, condição a evitar) e orientam a recomendação de correções e adubações (NEPAR, 2019). Essas propostas buscam maximizar o desempenho das culturas a partir da máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE). Assim, valores abaixo dos considerados críticos indicam limitação nutricional, com potencial resposta à correção/adubação, enquanto níveis acima dos ideais podem implicar riscos ambientais, como lixiviação ou contaminação de corpos d'água, além de menor rentabilidade ao produtor (Aires et al., 2022). Assim, investigar e aplicar esses conceitos é fundamental para um manejo técnico eficiente e sustentável.

Diante do exposto, e considerando a dinâmica intensa dos sistemas agrícolas da região Oeste do Paraná, é fundamental realizar frequentemente diagnósticos da fertilidade do solo. Essas informações poderão subsidiar políticas públicas mais eficientes, especialmente aquelas voltadas ao financiamento e à distribuição de insumos como calcário e fertilizantes, garantindo que tais investimentos sejam direcionados de maneira estratégica e sustentável. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico da fertilidade e da disponibilidade de elementos químicos nos solos de Santa Helena (PR), identificando limitações nutricionais e possíveis riscos ambientais para orientar o manejo agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse estudo foi realizar um diagnóstico da fertilidade e da disponibilidade de elementos químicos nos solos de Santa Helena (PR), identificando limitações nutricionais e possíveis riscos ambientais para orientar o manejo agrícola.

2.2 Objetivos específicos

- Classificar e interpretar a disponibilidade de elementos químicos no solo em Santa Helena (PR), considerando as variações ao longo do período avaliado;
- Avaliar a fertilidade do solo a partir dos principais parâmetros químicos do solo em Santa Helena (PR) para otimizar a produção agrícola;
- Identificar possíveis limitações nutricionais e riscos ambientais decorrentes das atuais condições químicas do solo em Santa Helena (PR).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Características edáficas da agricultura

O uso inadequado do solo, aliado a pressões socioeconômicas, tem levado à degradação acelerada de muitas áreas. A expansão desordenada da fronteira agrícola, o desmatamento e o uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos estão entre os principais fatores que afetam a qualidade do solo e comprometem os serviços ecossistêmicos (Stuchi, 2022).

O solo é o produto da degradação de rochas e minerais, junto à decomposição da matéria orgânica preexistente por meio do tempo e dos processos de intemperismo. O solo é um produto heterogêneo, cuja formação é diversa e composta por diferentes horizontes e camadas, que refletem a formação histórica do solo e são resultado do processo de intemperismo de rochas originárias. Para medir o solo, é preciso realizar o seu dimensionamento, o que envolve a definição dos seus limites.

A parte superior é definida pela superfície do terreno, enquanto os limites laterais são estipulados pelo contato com corpos d'água, geleiras, rochas ou banhados. O limite inferior do solo é estabelecido quando se encontra o material de origem, caracterizado pela ausência de atividade microbológica (Pauletti e Motta, 2019). O solo é elemento essencial da vida humana, pois é fonte de base para o crescimento das plantas e para a construção de infraestruturas. Para obter plantas de qualidade, é necessário um solo estruturado, com alta fertilidade, considerando que cada cultura possui exigências específicas e se adapta a diferentes tipos de solos.

Por isso, é importante conhecer e diferenciar os solos pelas características essenciais, como a cor, o nível de fertilidade, a quantidade e o tipo de partículas minerais que os compõem, a forma como essas partículas se organizam em agregados ou torrões, o teor de água presente e o nível de matéria orgânica (Coelho et al., 2013). Além disso, o solo é um recurso natural finito, o que exige cuidados e manejo adequados. Ainda que novos solos possam se formar, esse processo é extremamente lento, são necessários centenas de anos para que se forme 1 cm de solo (Brady; Weil, 2013).

Isso demonstra que buscar novos solos não é uma alternativa viável. Portanto, é importante manejar de forma correta, para evitar problemas como lixiviação, erosão, salinização, compactação e desequilíbrios na fertilização dos solos, especialmente no contexto brasileiro. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), conforme descrito por Pauletti e Motta (2019), organiza os solos em diferentes categorias com base em propriedades semelhantes, atribuindo nomes específicos que refletem o conhecimento científico atual.

No Brasil, a diversidade dos fatores que influenciam a formação dos solos, como o tipo

de rocha-mãe, o clima, o relevo, a atividade biológica e o tempo de formação, resulta em uma ampla variedade de processos pedogenéticos. Isso contribui para a grande heterogeneidade dos solos no país. Atualmente, são conhecidas 13 classes principais de solos no território brasileiro, com distribuição variada entre as regiões.

Algumas classes predominam em determinados estados, enquanto outras são exclusivas de áreas específicas. As principais classes de solos no Brasil são: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Planossolos, Plintossolos, Organossolos e Vertissolos (Lima; Lima; Melo, 2012).

Tabela 1 – Ordens, termos de conotação ou memorização, e área de representação dos solos do Brasil.

Ordens	Termos de conotação ou memorização	Área no Brasil (%)
Latossolos	Solos velhos (muito alterados em relação à rocha de origem), profundos, com grande desenvolvimento do horizonte B.	31,6%
Argissolos	Solos com acúmulo de argila no horizonte B.	26,9%
Neossolos	Solos jovens em início de formação (sem presença de horizonte B).	13,2%
Plintossolos	Solos com acúmulo de ferro em algum horizonte, causando endurecimento.	7,0%
Cambissolos	Solos que possuem horizonte B em estágio inicial de formação	5,3%
Gleissolos	Solos com cores acinzentadas.	4,7%
Luvisolos	Solos jovens com acúmulo de argila no horizonte B e alta fertilidade química natural.	2,9%
Espodossolos	Solos com alto teor de areia, que apresentam horizonte B com acúmulo de matéria orgânica.	2,7%
Planossolos	Solos com acúmulo de argila no horizonte B, que geralmente têm cores acinzentadas.	2,7%
Nitossolos	Solos velhos com horizonte B com estrutura desenvolvida e superfícies brilhantes no horizonte B	1,1%
Chernossolos	Solos jovens, com razoável conteúdo de matéria orgânica e alta fertilidade química natural.	0,4%
Vertissolos	Solos jovens, que formam fendas quando secos, com elevada fertilidade química. Expansão e contração com umidade	0,2%

Organossolos	Solos com altos teores de matéria orgânica, mas baixa fertilidade química.	0,03%
--------------	--	-------

Fonte: Autor (2025)

3.2 Cenário Paranaense dos Solos

O Paraná é um estado importante no setor agrícola do país, sendo responsável por mais de 14 milhões de hectares, divididos em, aproximadamente, 305 mil estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2017). O estado tem uma rica diversidade de produção agrícola, dividida em lavouras temporárias e permanentes, e as pastagens plantadas e naturais. Para isso, a agricultura paranaense tem capacidade de uso de acordo com a diversidade dos solos, sendo a origem do solo consequência da atuação conjunta de fatores como clima subtropical úmido, relevo variado, materiais de origem (basalto e arenito) e vegetação.

O estado do Paraná possui 9 classes de solo de importância econômica, sendo as principais, Latossolo, Neossolos, Nitossolos, Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Chernossolos e Organossolos (Lima; Lima; Melo, 2012). Os Latossolos, Nitossolos, Neossolos e Argissolos representam mais de 80% da área do solo paranaense (Bhering et al., 2007).

Os Latossolos são solos bastante profundos, ultrapassando geralmente dois metros de espessura. Apresentam alto grau de intemperismo, o que significa que estão bastante alterados em relação à rocha de origem e são considerados solos antigos. Costumam ocorrer em topos de relevo mais suave ou planos, onde predominam boas condições físicas, como elevada porosidade, boa permeabilidade e drenagem eficiente, o que evita o acúmulo excessivo de água.

No estado do Paraná, essa classe de solo é a mais comum, ocupando aproximadamente 31% de seu território. No entanto, regiões como a Planície Litorânea e áreas mais íngremes possuem menor ocorrência de Latossolos. Do ponto de vista agrícola, os Latossolos são amplamente utilizados devido às suas qualidades físicas favoráveis, como relevo plano, ausência de pedras, boa profundidade e excelente drenagem (Marcatto, Silveira, Cruz, 2024).

Apesar de apresentarem naturalmente baixa fertilidade, o uso adequado de correção e adubação permite que sejam altamente produtivos. Entretanto, os Latossolos presentes na região noroeste do Paraná, por possuírem maior quantidade de areia, tendem a ser mais frágeis e vulneráveis à erosão, mesmo estando em áreas de relevo suave (Seidel et al., 2023).

Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, caracterizados por serem rasos e estarem em estágio inicial de formação. Normalmente, apresentam apenas um horizonte A diretamente sobre o horizonte C ou sobre a própria rocha-matriz. No Paraná, ocupam cerca de 22% do território,

estando presentes em todas as regiões, embora tenham menor presença na porção noroeste do estado. No contexto agrícola, estes solos enfrentam limitações importantes, como relevo acentuado, baixa profundidade e presença frequente de pedras.

Apesar disso, podem apresentar tanto baixa quanto alta fertilidade. Quando possuem boa qualidade química, são bastante aproveitados, principalmente por pequenos agricultores familiares. Por outro lado, em áreas com menor fertilidade e terrenos inclinados, recomenda-se sua preservação natural, voltada à conservação da vegetação e da fauna. Do ponto de vista ambiental, os Neossolos são considerados solos frágeis.

Os tipos arenosos, em especial, têm pouca capacidade de reter água e nutrientes, o que compromete sua função como filtro natural contra poluentes. Em razão disso, a sua utilização pode acelerar processos erosivos e comprometer o meio ambiente local (Seidel et al., 2023).

Os Argissolos são caracterizados por apresentarem um acúmulo de argila no horizonte B, o que significa que essa camada subsuperficial contém mais argila do que a camada superior (horizonte A), que é mais arenosa. Essa distribuição reduz a capacidade do horizonte A de reter nutrientes essenciais às plantas. No estado do Paraná, os Argissolos estão presentes em aproximadamente 15,5% do território, distribuindo-se desde o litoral até a região noroeste.

No entanto, são pouco frequentes em áreas com presença de rochas basálticas, como nas regiões norte, oeste e sudoeste. Costumam ocorrer em terrenos com relevo moderadamente inclinado. A fertilidade desses solos pode variar de acordo com o tipo de rocha que lhes deu origem, podendo ser solos naturalmente ricos ou pobres em nutrientes. Em relação ao meio ambiente, os Argissolos são bastante suscetíveis à erosão, especialmente quando localizados em terrenos com maior inclinação (Bognola et al., 2002).

Os Nitossolos possuem como principal característica um horizonte B com agregados que apresentam um brilho marcante em sua superfície. Esse aspecto reluzente pode ter origem na movimentação de partículas de argila, que são transportadas pela água a partir das camadas superiores do solo, ou ainda pelo alisamento causado pelo movimento de expansão e contração das argilas. No Paraná, os Nitossolos estão presentes em cerca de 15% do território, sendo mais comuns em áreas com rochas basálticas, como as regiões norte, oeste e sudoeste do estado.

Essas áreas geralmente possuem relevo moderadamente inclinado. Na agricultura, esses solos se destacam por apresentarem, em sua maioria, boa fertilidade natural. No entanto, o relevo mais acidentado de algumas dessas áreas pode dificultar a mecanização e aumentar o risco de processos erosivos. Do ponto de vista ambiental, os Nitossolos exigem atenção especial em áreas com relevo ondulado. Quando não são manejados de forma adequada, há uma grande possibilidade de ocorrência de erosão, o que compromete a estabilidade e a qualidade do solo

(Bognola et al. 2002).

A elevada produtividade agrícola exerce pressão sobre os recursos naturais, aumentando os riscos de degradação do solo, como a compactação e a erosão. Como forma de mitigação, agricultores têm adotado práticas conservacionistas, como o plantio direto, o terraceamento, a rotação de culturas e a adubação verde. Paralelamente, fatores socioeconômicos influenciam diretamente o uso da terra, a adoção de tecnologias e o grau de conservação dos recursos naturais (Machado, 2005). Diante disso, torna-se essencial compreender a relação entre as propriedades edáficas e os contextos sociais e econômicos do meio rural paranaense.

3.3 Região Oeste Paranaense

A Região Oeste do Paraná possui grande relevância no cenário agrícola nacional, sendo uma das principais produtoras de grãos, suínos e aves do país (Mattei; Cattelan; Piffer, 2024). Essa expressiva atividade agropecuária está diretamente relacionada à qualidade dos solos, à estrutura fundiária e ao desenvolvimento socioeconômico da região (Silva et al., 2024).

Neste contexto, torna-se imprescindível compreender a distribuição e o potencial dos solos locais, bem como os fatores humanos que afetam sua conservação e uso racional. A Região Oeste do Paraná é, predominantemente, composta por Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos, derivados de rochas basálticas, caracterizados por sua elevada profundidade, boa estrutura e alta capacidade de retenção de água (Rocha et al., 2024).

No entanto, apesar da fertilidade natural desses solos, sua acidez e a alta suscetibilidade à erosão exigem manejo adequado, sobretudo em áreas de relevo ondulado, comum na região (Nolla et al., 2020). A alta produtividade agrícola, aliada ao uso frequente de máquinas pesadas e à pressão por safras intensivas, aumenta o risco de degradação dos solos. Problemas como compactação, perda de matéria orgânica e erosão laminar são recorrentes.

Em resposta, muitos produtores da região têm adotado sistemas conservacionistas, como plantio direto na palha, rotação de culturas, culturas de cobertura e uso racional de insumos (Franchini et al., 2011). A atuação de instituições como o Instituto de Desenvolvimento do Paraná (IDR-Paraná), universidades e cooperativas tem sido fundamental na difusão de tecnologias sustentáveis de manejo. Programas estaduais de conservação do solo e da água, como o "Renovação das Microbacias" e o incentivo ao plantio direto, têm fortalecido a sustentabilidade produtiva na região (Paraná, 2023).

O município de Santa Helena, localizado na Região Oeste do estado do Paraná, apresenta características físicas e socioeconômicas que o inserem de forma expressiva no

contexto do agronegócio regional (Zibert; Shikida, 2004). Situado em uma região de clima subtropical úmido, com relevo levemente ondulado e presença de solos de elevada fertilidade natural, o território municipal favorece práticas agrícolas intensivas e tecnificadas (Fronza, 2019).

Santa Helena tem uma altitude de 258 m (Miranda et al., 2021), o que pode ser um fator que influencia na produção, sendo na região oeste grandes variações de altitudes, chegando até 580 m em Cascavel (Caviglione et al., 2021). De acordo com o IBGE (2017), o município possui uma estrutura fundiária composta, majoritariamente, por pequenas e médias propriedades. Essa configuração favorece sistemas de produção diversificados, com integração lavoura-pecuária e práticas de alto rendimento, como o cultivo de soja e milho.

A implementação de sistemas de plantio direto, rotação de culturas, adubação verde, calagem e culturas de cobertura tem contribuído para a conservação dos solos no município. Tais práticas fazem parte de um movimento regional de agricultura conservacionista, amplamente incentivado pelas cooperativas, pelo setor técnico e por políticas públicas estaduais (Rocha et al., 2022).

Segundo a Embrapa (2007), os solos predominantes em Santa Helena são os Nitossolos Vermelhos Distroférricos e Latossolos Vermelho Eutroférricos, derivados de rochas basálticas. Estes solos são profundos, bem estruturados, com elevada capacidade de retenção de água e grande potencial agrícola. Contudo, apresentam acidez natural e elevada suscetibilidade à erosão quando manejados de forma inadequada, especialmente em áreas com declividades acentuadas (Bastiani, 2024). Por essa razão, o manejo conservacionista se torna essencial para evitar processos de degradação.

3.4 Fatores que influenciam a fertilidade do solo

O solo agricultável é derivado de diversos fatores que influenciam sua qualidade. O solo pode ser dividido em três partes, que são química, física e biológica (Cordeiro et al., 2023). A qualidade do solo depende fortemente da forma como ele é utilizado e manejado. As práticas adotadas no manejo podem modificar suas características, impactando a sustentabilidade do ambiente e levando à redução da qualidade do solo, o que, por sua vez, compromete a produtividade na agricultura.

Medir a qualidade do solo é uma ação determinante para esclarecer situações, trazendo melhores critérios para tomada de decisão, mostrando a capacidade de uso do solo, níveis de fertilidade e recuperação de um solo degradado (Chaves et al., 2012). A qualidade do solo está intimamente ligada à sua influência em diversos processos hidrológicos, como a taxa de

infiltração, o escoamento superficial, a drenagem e a ocorrência de erosão.

Além disso, o solo também exerce um papel importante no fornecimento e na retenção de água e oxigênio, essenciais para o desenvolvimento vegetal. Para avaliar a qualidade física do solo, alguns atributos são comumente observados, como a textura, a estrutura, a agregação das partículas, a densidade, a condutividade hidráulica, a resistência à penetração, a taxa de infiltração de água e a porosidade total (Carmo et al., 2020).

Quando o solo sofre compactação, há redução da macroporosidade e da atividade biológica, o que resulta no aumento da densidade e prejudica o crescimento das raízes. Isso pode dificultar a recuperação de áreas degradadas. Os indicadores físicos também ajudam a identificar problemas como baixa permeabilidade e limitações na disponibilidade de água e nutrientes.

Solos com textura arenosa, por exemplo, tendem a ter maior condutividade hidráulica devido à presença de mais macroporos e à menor retenção de água em comparação com solos argilosos (Brady; Weil, 2013). Por outro lado, o manejo inadequado pode alterar a densidade e porosidade do solo, reduzindo a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial, o que favorece a erosão.

Entre os principais atributos físicos, a textura do solo se destaca por sua estabilidade ao longo do tempo, sendo pouco afetada por práticas agrícolas. No entanto, ela influencia diretamente outras propriedades, como a densidade, a porosidade e a capacidade de conduzir água (Carmo et al., 2020). A porosidade e a densidade do solo são propriedades dinâmicas, ou seja, variam com o uso e são de fácil avaliação. Elas estão diretamente relacionadas à compactação e à limitação do crescimento radicular.

Já a estabilidade dos agregados do solo impacta diretamente na erosão, pois interfere na infiltração, retenção de água e na aeração, fatores essenciais para o equilíbrio do solo (Carmo et al., 2018). A condutividade hidráulica, por sua vez, é um parâmetro importante para o planejamento de sistemas de drenagem, pois expressa a capacidade do solo em permitir o movimento da água em seu interior (Suszek et al., 2019).

Os indicadores biológicos do solo, como a biomassa microbiana, o nitrogênio mineralizável, a respiração microbiana, a atividade de enzimas e o quociente metabólico, desempenham um papel fundamental tanto na ciclagem de nutrientes quanto na estimativa da capacidade do solo para sustentar o crescimento das plantas. A análise biológica do solo é essencial para avaliar a atividade dos microrganismos, um fator que tem grande influência na qualidade geral do solo (Andrade, 2021).

Diferentemente dos indicadores químicos e físicos, cujos níveis de referência são bem

estabelecidos para diferentes solos e culturas, os indicadores biológicos ainda apresentam desafios na interpretação de seus resultados, devido à despadronização dos organismos microbiológicos. No entanto, estudar esses parâmetros é crucial para compreender os processos ecológicos em áreas degradadas ou em processo de recuperação, sendo também indispensáveis para a manutenção de sistemas produtivos sustentáveis.

Isso porque estão diretamente ligados à saúde do solo, influenciando funções vitais, como a ciclagem de nutrientes e o equilíbrio das relações ecológicas. Para que os atributos microbiológicos sejam eficazes como ferramentas de análise, é importante que sejam mensurados com precisão, aplicáveis a diferentes tipos de solo, fáceis de medir, economicamente viáveis, sensíveis a alterações ambientais e cientificamente validados. Idealmente, mais de um desses indicadores deve ser utilizado simultaneamente, especialmente se forem independentes entre si (Santos et al., 2025).

Entre os principais atributos aplicados na avaliação da matéria orgânica do solo destacam-se parâmetros biológicos e bioquímicos, como a respiração basal, a atividade enzimática, o conteúdo de nitrogênio e carbono da biomassa microbiana e a diversidade dos microrganismos presentes. Esses indicadores são considerados sensíveis e eficazes para acompanhar mudanças ambientais que possam impactar o solo, dessa forma, o uso de atributos biológicos é extremamente relevante na avaliação da condição ambiental do solo, já que refletem diretamente sua saúde (Silva et al., 2021). Eles permitem identificar se o solo está mantendo suas funções ecológicas e os serviços ambientais essenciais à sustentabilidade dos ecossistemas.

3.5 Fertilidade do solo: qualidade química

A qualidade química do solo é determinante para o sucesso das culturas agrícolas, sendo responsável pela disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Para avaliar essa qualidade, são utilizados diversos indicadores, como o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a disponibilidade de nutrientes e o teor de matéria orgânica (Cardozo et al., 2013; Chaveiro et al., 2022).

Esses indicadores são fundamentais para determinar a capacidade de uso do solo, considerando que cada tipo apresenta características químicas específicas, exigindo, portanto, manejos adaptados às suas particularidades (Cardozo et al., 2013). Entre esses parâmetros, destaca-se o pH, que é essencial, especialmente nos solos das regiões tropicais, como ocorre na maioria dos solos brasileiros.

Frequentemente, esses solos apresentam elevada acidez, o que pode resultar na

presença de alumínio e manganês em concentrações tóxicas para as plantas. Essa condição reduz a disponibilidade de nutrientes importantes, como cálcio e magnésio, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular e comprometendo a absorção de água e nutrientes. Por outro lado, em regiões semiáridas, o solo pode apresentar pH mais alcalino, especialmente em áreas irrigadas com água rica em bicarbonato, modificando gradativamente sua composição química.

Assim, o pH do solo influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, a toxicidade de certos elementos, a atividade microbiana, o surgimento de doenças, a competição entre espécies vegetais e até mesmo as condições físicas do solo (Santos, 2024). Outro componente essencial da qualidade química do solo é a matéria orgânica, composta por material de origem biológica, incluindo organismos vivos e restos em decomposição (DOS Santos, 2024).

A fração viva é representada por raízes e microrganismos, enquanto a maior parte corresponde à matéria orgânica morta, formada por resíduos vegetais e substâncias humificadas e não humificadas. Alterações em seu teor são lentas e perceptíveis apenas ao longo do tempo, especialmente quando relacionadas a mudanças no uso e manejo do solo (Silva et al., 2023).

Em geral, sua concentração é maior nas camadas superficiais, diminuindo com a profundidade. A quantidade e a qualidade da matéria orgânica dependem da entrada de resíduos, da taxa de decomposição, da textura do solo, do clima e da cobertura vegetal, influenciando diretamente a população de microrganismos. A matéria orgânica exerce papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas agrícolas, afetando atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Seu ciclo inicia-se com a decomposição de resíduos orgânicos por microrganismos heterotróficos, resultando na formação de moléculas mais simples (Cunha; Mendes; Giongo, 2015). Posteriormente, ocorre a humificação, processo que gera substâncias húmicas de alta estabilidade e elevado peso molecular, promovendo melhorias significativas nas propriedades físico-químicas do solo, como o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), a estabilidade estrutural e a retenção de água (Silva, 2023).

A estabilização da matéria orgânica reduz seu potencial de perda por erosão, lixiviação e oxidação, contribuindo para a resiliência do solo frente a distúrbios físicos e químicos. Parte dessa matéria, no entanto, é mineralizada, transformando-se em formas inorgânicas assimiláveis pelas plantas, como íons de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), fosfato (HPO_4^{2-}) e sulfato (SO_4^{2-}). A integração desses processos garante a manutenção da fertilidade do solo, a melhoria de sua estrutura e o suporte à biodiversidade edáfica.

Assim, o manejo adequado da matéria orgânica, por meio de práticas como o plantio direto, a adubação orgânica e a rotação de culturas, é fundamental para assegurar a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental (Cunha; Mendes; Giongo, 2015). A CTC é outro indicador crucial da qualidade química do solo, representando a aptidão do solo para reter e trocar cátions como cálcio, magnésio, potássio, sódio e amônio. Essa capacidade está diretamente associada à fertilidade, uma vez que, os nutrientes são absorvidos pelas plantas na forma iônica.

A CTC depende da presença de cargas elétricas na superfície das partículas do solo e da área disponível para adsorção (Nolla et al., 2020). Sua medição é essencial para compreender o potencial do solo em armazenar nutrientes, sendo calculada com base na soma dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e dos íons ácidos (Al^{3+} e H^+), permitindo estimar a eficiência do solo em manter esses elementos. Esse processo está relacionado à presença de coloides minerais e orgânicos que possuem cargas elétricas, favorecendo o fenômeno da adsorção iônica (Cordeiro et al., 2023).

Por fim, destaca-se a saturação por bases, que expressa a proporção de cátions básicos em relação à capacidade total de troca de cátions. Solos com alta saturação por bases (acima de 50%) são denominados eutróficos e considerados férteis, enquanto solos com baixa saturação (abaixo de 50%) são classificados como distróficos, apresentando menor fertilidade.

Este parâmetro é amplamente utilizado para avaliar a necessidade de calagem, prática destinada a corrigir a acidez do solo e melhorar suas condições para o cultivo. Além disso, a saturação por bases contribui para o planejamento do manejo agrícola, caracterizando o estado nutricional do solo em áreas cultivadas ou naturais (Vieira, 2016).

3.6 Elementos principais para produção agrícola

A nutrição mineral é essencial para o desenvolvimento das plantas e o sucesso das culturas agrícolas. Dentre os elementos mais importantes para a produção, destaca-se o nitrogênio (N), fundamental para a síntese de aminoácidos, proteínas, clorofila e enzimas. No solo, o nitrogênio está disponível principalmente nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), sendo sua principal fonte natural a matéria orgânica, por meio da mineralização do nitrogênio orgânico.

No entanto, em sistemas agrícolas, sua reposição é frequentemente realizada com fertilizantes como ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e adubos orgânicos. Devido à sua alta mobilidade, especialmente na forma nítrica, o nitrogênio está sujeito a perdas significativas por lixiviação e desnitrificação, o que torna necessário um manejo criterioso (Dias, 2016).

Outro nutriente essencial é o fósforo (P), que atua nos processos de transferência de energia, como na formação de ATP e ADP, além de ser indispensável para a divisão celular, o desenvolvimento do sistema radicular e o florescimento das plantas. No solo, o fósforo está presente principalmente como íons fosfato (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), mas sua disponibilidade é limitada pela fixação em formas insolúveis, associadas ao ferro e ao alumínio em solos ácidos, ou ao cálcio em solos alcalinos.

Para a adubação, utilizam-se fontes como superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato natural e fosfato monoamônico (MAP). Devido à sua baixa mobilidade no solo, recomenda-se a aplicação localizada para aumentar a eficiência de absorção (Vilar; Vilar, 2013). O potássio (K) também é um elemento vital, regulando processos osmóticos, a abertura estomática e a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos.

Ele está disponível na solução do solo como K^+ , sendo diretamente absorvido pelas raízes (Medeiros, 2022). Suas fontes naturais incluem minerais potássicos como feldspatos e micas, enquanto, nos sistemas agrícolas, sua reposição é feita por meio de fertilizantes como cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3). Por ser relativamente móvel, especialmente em solos arenosos de baixa capacidade de troca de cátions, o potássio está sujeito à lixiviação, demandando atenção no manejo (Pamplona, 2025).

O cálcio (Ca) é outro nutriente estrutural indispensável, essencial para a formação da parede celular e o desenvolvimento do sistema radicular. No solo, o cálcio encontra-se adsorvido nos colóides e na solução como Ca^{2+} , sendo suas principais fontes os corretivos de acidez, como o calcário (CaCO_3), o gesso agrícola (CaSO_4) e outros produtos calcíticos e dolomíticos. Sua disponibilidade depende fortemente do pH do solo, sendo reduzida em condições de elevada acidez (CQFS-RS/SC, 2016).

De forma semelhante, o magnésio (Mg) desempenha papel fundamental, sendo o átomo central da molécula de clorofila e atuando na ativação de diversas enzimas envolvidas no metabolismo vegetal. O Mg^{2+} está presente tanto na solução do solo quanto nos sítios de troca catiônica, sendo fornecido, principalmente, por fontes como o calcário dolomítico, o sulfato de magnésio e óxidos de magnésio. A deficiência de magnésio é recorrente em solos arenosos ou altamente lixiviados, exigindo monitoramento e suplementação adequada (CQFS-RS/SC, 2016).

Por fim, o enxofre (S) é essencial, pois integra a estrutura de aminoácidos como a cisteína e a metionina, sendo indispensável à síntese de proteínas. Disponibiliza-se no solo na forma de sulfato (SO_4^{2-}), absorvido pelas raízes. Sua principal fonte natural é a matéria orgânica, cuja mineralização depende da atividade microbiana. Além disso, diversos fertilizantes

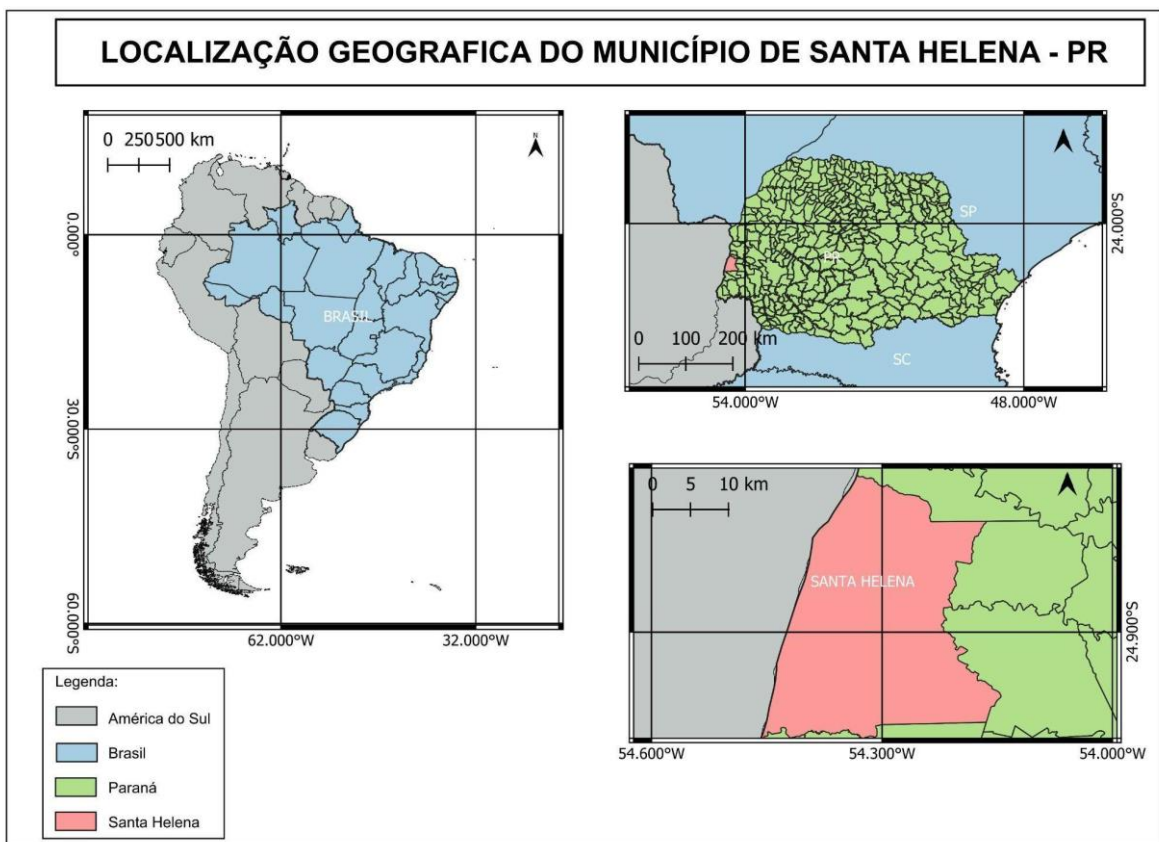
sulfatados são utilizados, como o sulfato de amônio, o gesso agrícola, o superfosfato simples e o sulfato de potássio (CQFS-RS/SC, 2016).

A análise química do solo, conforme o manual da EMBRAPA (1997), é essencial para avaliar a fertilidade e identificar limitações que afetam o crescimento das plantas. Ela inclui a determinação do pH, que indica o grau de acidez do solo e influencia a disponibilidade de nutrientes e a toxidez de alumínio. Também envolve a medição do carbono orgânico, importante para estimar o teor de matéria orgânica e a capacidade do solo de reter nutrientes e água. A análise dos cátions trocáveis — como cálcio, magnésio, potássio e sódio — juntamente com a acidez trocável ($H^+ + Al^{3+}$), permite calcular a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases, parâmetros que mostram o potencial de fertilidade do solo e sua necessidade de calagem. Além disso, a quantificação de nutrientes como fósforo, enxofre e micronutrientes complementa o diagnóstico da disponibilidade nutricional. A importância dessa análise está em fornecer informações confiáveis para o manejo adequado do solo, permitindo recomendações precisas de adubação, correção da acidez e manutenção da qualidade química do ambiente agrícola. Dessa forma, a análise química é uma ferramenta indispensável para garantir produtividade, sustentabilidade e eficiência no uso dos recursos do solo.

4 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no município de Santa Helena, estado do Paraná (PR), localizado a $24,8608^\circ$ de latitude sul e $54,2438^\circ$ de longitude oeste, com altitude média de 258 metros acima do nível do mar (Figura 1). A pesquisa teve como principal objetivo diagnosticar a situação atual da fertilidade dos solos do município, utilizando como base os critérios técnicos estabelecidos pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR, 2019).

Figura 1 - Localização geográfica do município de Santa Helena.



Fonte: Autor (2025).

Para tanto, foi realizada a análise de um banco de dados composto por resultados laboratoriais de amostras de solo coletadas em propriedades rurais de Santa Helena, durante os anos de 2019, 2020 e 2021. Essas amostras, provenientes de diferentes glebas agrícolas, foram organizadas e padronizadas de forma a garantir a representatividade e a confiabilidade dos dados obtidos.

No presente estudo, a análise dos atributos químicos do solo, a matéria orgânica do solo (MOS), estimada a partir do teor de carbono orgânico, parâmetro fundamental para avaliar

a qualidade estrutural e a capacidade do solo de reter água e nutrientes. Em seguida, avaliou-se o pH em CaCl_2 e água, indicadores diretos do grau de acidez, com forte influência sobre a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a dinâmica dos elementos tóxicos.

Os teores de P disponíveis por Mehlich-1 foram analisados como um dos principais macronutrientes responsáveis pelo desenvolvimento radicular e energético das plantas. Da mesma forma, o K^+ disponível por Mehlich-1 foi avaliado, por sua importância no equilíbrio osmótico, na regulação estomática e na resistência das plantas ao estresse. Os níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, bases indispensáveis para processos fisiológicos e estruturais, também foram quantificados, pois influenciam diretamente a fertilidade e a saturação por bases do solo. A presença de Al^{3+} foi analisada devido ao seu potencial tóxico para as plantas em ambientes ácidos, podendo limitar o crescimento radicular e reduzir a absorção de nutrientes essenciais. A partir dos teores de cátions trocáveis, é possível determinar a soma de bases (SB), representando a quantidade total de cátions básicos disponíveis no solo.

Posteriormente, avaliou-se a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTCpH7), parâmetro que expressa o potencial máximo do solo em reter nutrientes quando a acidez é neutralizada. Também foi estimada a CTC efetiva, que considera apenas os cátions presentes no pH natural do solo, refletindo a real disponibilidade de cargas para troca iônica. Com base nesses resultados, é possível calcular a saturação por bases (V%), que indica o grau de ocupação da CTC por cátions essenciais, e a saturação por alumínio (m%), que quantifica o impacto do alumínio na acidez e potencial toxicidade do ambiente radicular. Por fim, foram determinadas as participações relativas dos cátions na CTC, representadas pelos índices K-CTC, Ca-CTC e Mg-CTC, importantes para avaliar o equilíbrio nutricional e a proporção adequada entre os nutrientes.

Os resultados dos parâmetros químicos do solo foram classificados conforme os critérios estabelecidos pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR, 2019) e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios estabelecidos pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná.

Classe de interpretação		Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Condição a evitar
P	mg dm^{-3}	< 3	3 – 6	6,01 – 9,99	10 – 12	> 12	> 60
K	$\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$	< 0,06	0,06 – 0,12	0,13 – 0,21	0,22 – 0,45	> 0,45	-
pH CaCl_2		< 4,0	4,0 – 4,4	4,5 – 4,9	5,0 – 5,5	> 5,5	> 6,0
pH H_2O		< 4,7	4,7 – 5,1	5,2 – 5,6	5,7 – 6,2	> 6,2	> 6,7
Al^{3+}	$\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$	< 0,3	0,3 – 0,7	0,8 – 1,5	1,6 – 2,5	> 2,5	-

Ca ²⁺	cmol _c /dm ⁻³	< 0,5	0,5 – 1,0	1,1 – 2,0	2,1 – 6,0	> 6,0	-
Mg ²⁺	cmol _c /dm ⁻³	< 0,2	0,2 – 0,4	0,5 – 1,0	1,1 – 2,0	> 2,0	-
CTC _{pH7}	cmol _c /dm ⁻³	< 5	5 – 7	8 – 14	15 – 24	> 24	-
CTC _{ef}	cmol _c /dm ⁻³	< 1,1	1,1 – 2,0	2,1 – 4,0	4,1 – 8,0	> 8,0	-
m	%	< 5	5 – 10	11 – 20	21 – 50	> 50	-
V	%	< 20	21 – 35	36 – 50	51 – 70	> 70	> 90
MOS	%	< 0,7	0,7 – 1,4	1,5 – 2,4	2,5 – 3,4	> 3,4	-
CO	g dm ⁻³	< 4	4 – 8	9 – 14	15 – 20	> 20	-

Fonte: Autor (2025).

Para apresentação dos resultados, foi realizada uma análise descritiva, apresentando os valores médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) de cada variável resposta analisada ao longo dos 3 anos avaliados. Posteriormente, foram elaborados gráficos de frequência de distribuição, comparativos entre os três anos analisados, permitindo observar variações e tendências nos parâmetros da fertilidade do solo ao longo do tempo. As figuras foram elaboradas no ambiente estatístico R (R Core Team, 2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos do município de Santa Helena, no extremo Oeste paranaense, são derivados predominantemente de rochas basálticas, as quais, de forma natural, sofreram intenso processo de intemperismo físico e químico (Santos, 2021). Desta forma, predominam nas áreas agrícolas do município Latossolos e Nitossolos, os quais são em geral bem desenvolvidos fisicamente, com grande profundidade efetiva de perfil de solo, mas com limitações químicas naturais, como baixos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e elevados teores de alumínio, o qual é tóxico às plantas (Gatiboni, 2003; Melo; Mendonça, 2019). Entretanto, em função do processo de correção do solo por meio da calagem e adubação para correção, manutenção e exportação de nutrientes pelas culturas, atualmente os solos agricultáveis apresentam valores distintos das suas condições iniciais.

Nesse contexto, o monitoramento dos atributos químicos do solo é fundamental para o adequado planejamento do programa de correção e adubação das áreas agrícolas, buscando sempre a máxima produtividade das culturas, associada ao menor custo no uso de insumos, como calcário e fertilizantes (melhor relação custo-benefício) (Aires et al., 2022). Para isso, o acesso a informações municipais, como a um banco de dados de amostras de solo (Tabela 3), é fundamental para nortear futuros processos governamentais de apoio à agricultura, especialmente a local, a qual move a economia do município.

Tabela 3 - Análise descritiva dos atributos químicos do solo (MOS, pH, P, K, Ca, Mg, Al, SB, CTC_{pH7}, CTC_{efetiva}, V, m, K-CTC, Ca-CTC e Mg-CTC) nos anos 2019, 2020 e 2021 no município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.

Atributos químicos	2019			2020			2021		
	\bar{x}	s	CV	\bar{x}	s	CV	\bar{x}	s	CV
MOS (g dm ⁻³)	10,84	4,53	0,42	16,15	6,11	0,38	15,44	4,55	1,69
pH CaCl ₂	4,91	0,62	0,13	5,18	0,61	0,12	5,00	0,55	0,11
P (mg dm ⁻³)	14,94	19,09	1,28	28,96	69,19	2,39	16,22	17,87	1,10
K (cmolc dm ⁻³)	0,39	0,37	0,97	0,58	0,53	0,91	0,45	0,33	0,73
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	4,17	2,37	0,57	8,17	3,71	0,45	8,13	3,86	0,48
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,97	0,77	0,39	2,51	1,47	0,58	2,15	1,41	0,65
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,24	0,45	1,87	0,19	0,41	2,21	0,22	0,36	1,69
CTC _{pH7} (cmolc dm ⁻³)	11,87	3,15	0,27	16,17	4,76	0,29	17,44	4,32	0,25
CTC _{efetiva} (cmolc dm ⁻³)	6,76	2,92	0,43	11,44	4,97	0,43	10,95	4,92	0,45

3)									
V (%)	53,93	15,04	0,28	67,51	14,86	0,22	59,19	17,01	0,29
m (%)	6,23	12,75	2,05	2,98	7,35	2,47	4,13	8,79	2,13
K - CTC (%)	3,20	2,87	0,90	3,48	2,73	0,78	2,61	1,79	0,69
Ca - CTC (%)	34,01	12,19	0,36	49,13	11,51	0,23	44,94	13,80	0,31
Mg - CTC (%)	16,73	4,73	0,28	14,81	5,51	0,37	11,63	4,95	0,43

MOS: Matéria Orgânica do Solo; pH: Potencial Hidrogeniônico; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; SB: Soma de Bases; CTCpH7: Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0; CTCefetiva: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio; K-CTC: Participação do Potássio na CTC; Ca-CTC: Participação do Cálcio na CTC; Mg-CTC: Participação do Magnésio na CTC. \bar{x} = média amostral; s = desvio padrão amostral; CV coeficiente de variação expreso em ercentage (%).

Diante dessa abordagem, podemos verificar que os teores médios de matéria orgânica do solo (MOS) aumentaram ao longo dos anos 2019, 2020 e 2021 (Tabela 3). Isso fica evidente pela redução das percentagens de MOS nas classes de interpretação “muito baixa” e “baixa” e pelo respectivo aumento nas classes “alta” e “muito alta” (Figura 2). Tal comportamento pode estar associado à adoção de práticas agrícolas conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), o qual está alicerçado nos pilares do (i) não revolvimento do solo (não oxidação da MOS), (ii) cobertura permanente do solo (uso de culturas de cobertura ou intensificação do sistema de produção), e (iii) rotação de culturas (com utilização de milho safra, com elevado potencial de aporte de carbono ao solo) (Passos; Alvarenga; Santos, 2018). Essas estratégias, quando realizadas conjuntamente, favorecem o incremento de C no solo e, por consequência, de MOS, a qual pode ser observada nas condições municipais.

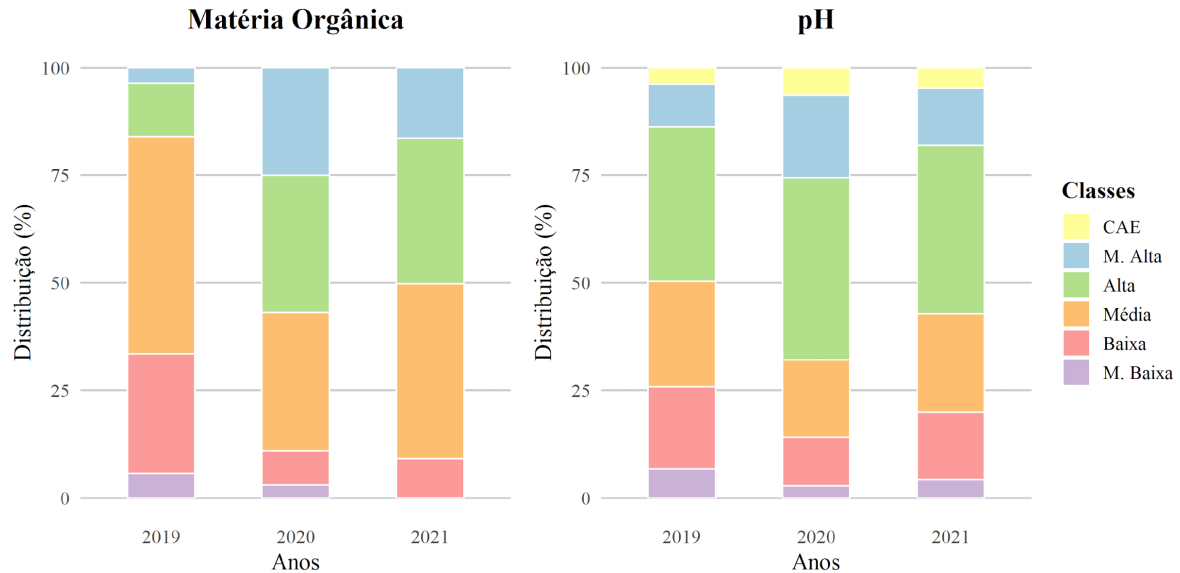
Associado a isso, o pH do solo tem extrema importância na dinâmica da MOS, pois o adequado pH pode favorecer a atividade da população microbiana do solo, responsável pela mineralização dos resíduos e, conseqüentemente, pela liberação de nutrientes às plantas (Silva, 2024). O pH expressa o grau de acidez ou alcalinidade do solo, sendo sua manutenção em níveis não críticos condição essencial ao desenvolvimento das principais culturas agrícolas. Em geral, valores de pH em CaCl_2 superiores a 5,0 ou valores de pH em água superiores a 5,5 são recomendados para cultivos de interesse econômico (Janota, 2023), como as culturas de soja, milho, trigo, cevada, aveia, entre outras cultivadas no município.

Diante dos resultados do estudo, constatou-se que em 2019 cerca de 50% dos solos de Santa Helena apresentavam pH do solo em situação indesejada (classes de interpretação muito baixa, baixa e média) (Figura 2), com média de 4,91 (Tabela 3). Essa é uma situação

relativamente fácil de ser corrigida, mas muitas vezes negligenciada pelos agricultores. Entretanto, é de suma importância para o sucesso agrícola, visto que o pH do solo regula a disponibilidade de todos os elementos no solo. Assim, em situações com valores abaixo de 5,0 ocorre o predomínio de alumínio na forma tóxica às plantas, que é o alumínio trivalente (Al^{3+}), e que causa redução no crescimento e desenvolvimento das raízes, diminuindo absorção de elementos essenciais e benéficos (Cardozo, 2021). Essa cascata de eventos prejudica a produtividade potencial das lavouras.

Esses valores médios de pH aumentaram para 5,18 e 5,0 respectivamente, em 2020 e 2021 (Tabela 3), reduzindo cerca de 31 e 43% sua contribuição relativa nas classes de disponibilidade baixa e muito baixa (Figura 2), demonstrando uma evolução no possível processo de calagem das áreas. O que é de extrema importância, pois na faixa entre 5,0 e 6,0, os nutrientes do solo encontram-se em suas formas mais disponíveis às plantas, favorecendo o processo de absorção, transporte e acúmulo de nutrientes (Janota, 2023). Entretanto, atualmente 4,82% das áreas apresentaram solos com pH em condições a evitar (Figura 3), nas quais o pH está muito elevado, e seu excesso causa uma redução na disponibilidade de micronutrientes, em especial, cobre, zinco, ferro e manganês, essenciais para obtenção de altas produtividades (Smiderle et al., 2003). Esse processo é conhecido como supercalagem, em que as doses de calcário são aplicadas acima da capacidade de tamponamento do solo e da necessidade das culturas.

Figura 2 - Distribuição percentual das classes de interpretação de matéria orgânica e pH nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



Classes de interpretação de matéria orgânica: Muito baixa (< 0,7); Baixa (0,7 a 1,4); Média (1,5 a 2,4); Alta (2,5 a 3,4) e Muita Alta (> 3,4). Classes de interpretação de pH em CaCl₂: Muito baixa (< 4,0); Baixa (4,0 a 4,4); Média (4,5 a 4,9); Alta (5,0 a 5,5); Muito Alta (> 5,5) e Condição a evitar “CAE” (> 6,0) (NEPAR, 2019).

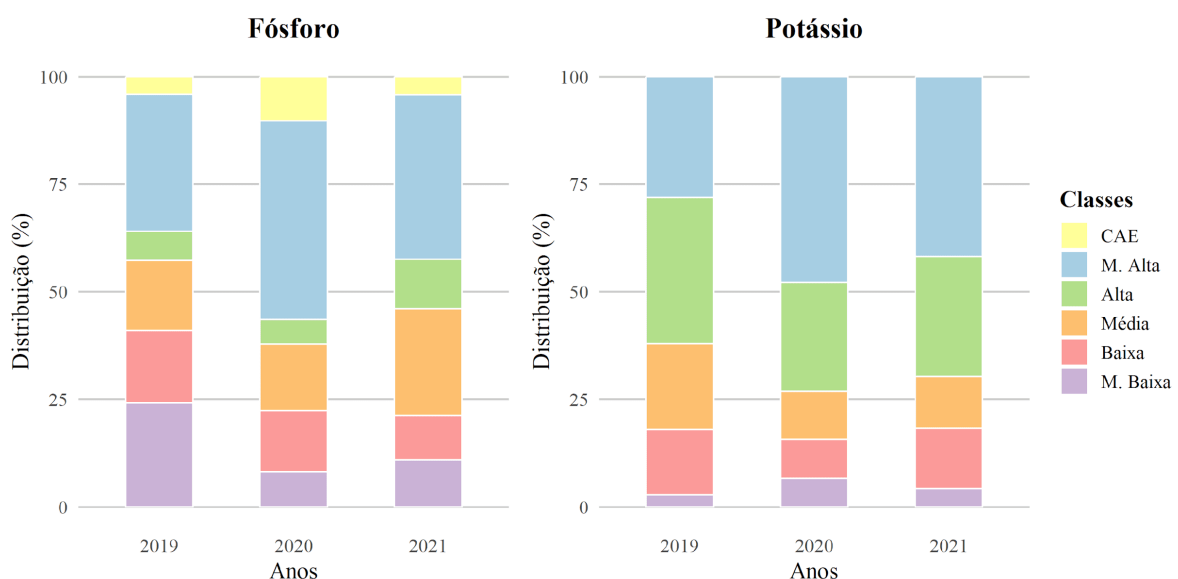
Em relação ao P, observa-se que, no ano de 2019, predominavam as classes muito baixa (24,16%), baixa (16,85%) e média (16,29%) (Figura 3), indicando que grande parte das áreas avaliadas apresentava deficiência do nutriente, o qual apresentava valor médio de 14,94 mg dm⁻³ (Tabela 3). Esse cenário ainda é comum em solos tropicais e subtropicais brasileiros altamente intemperizados, como os Latossolos e Nitossolos presentes na região (Schwalbert et al., 2023). Isso porque o P tende a ser fortemente adsorvido pelos óxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (resultado do “P - disponível” apresentado nos laudos químicos de análise de solo) (Gallo, 2020).

No entanto, ao longo dos anos seguintes, percebe-se uma tendência de melhoria significativa na disponibilidade de P (Tabela 3), com aumento progressivo das classes de interpretação alta (5,69 e 11,52%) e muito alta (46,24 e 38,18%) em 2020 e 2021, respectivamente (Figura 3). Essa elevação pode ter ocorrido em decorrência de três estratégias: (i) resultado da calagem, a qual pode ser possível inferir pelo aumento do pH do solo, a qual fornece hidroxilas (OH⁻) ao sistema, e estas saturam os sítios de adsorção do solo, possibilitando o deslocamento do P, fosfato (PO₄⁻) para a solução do solo; (ii) pelo maior aporte de P no sistema produtivo, possivelmente em função de práticas de adubação corretiva e de

manutenção; (iii) aumento da MOS, a qual pode atuar como um agente complexante e redutor temporário da adsorção de P na matriz mineral do solo (Sato; Comerford, 2005; Schwalbert et al., 2023).

No caso do K, as classes de interpretação alta (33,99%) e muito alta (28,09%) apresentavam predominância relativa em 2019 (Figura 3), já indicando teores acima do satisfatório para o cultivo agrícola (Tabela 3). Essa condição favorável se manteve e aumentou nos anos de 2020 e 2021 (73,12 e 69,70%), com ligeira redução nos somatórios das classes média, baixa e muito baixa (26,88 e 30,30%) (Figura 3). Tal tendência pode estar associada ao fato de o nutriente estar sendo repostado em maiores quantidades das quais é extraído, o que sugere um balanço positivo (mais entradas em relação a saídas). Associado a isso, existe a errônea cultura de que esse nutriente é altamente móvel no solo, o que não é verdade, visto que sua movimentação até a superfície externa das raízes ocorre via difusão, ou seja, a curtas distâncias, como o P (Martinez; Lucena; Bonilla, 2021). Mas a sua elevada mobilidade nos tecidos da planta e alta extração, em comparação ao P, favorecem um entendimento de “mobilidade”, que está muitas vezes associado a uma elevada saturação na CTC do solo, especialmente nas camadas superficiais dos solos do Paraná, que recomendam calcário com base na saturação por bases (contém K em sua proposta de cálculo).

Figura 3 - Distribuição percentual das classes de interpretação de fósforo (P) e potássio (K) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



Classes de interpretação de P para solos com teores de argila superiores a 400 g kg^{-1} : Muito baixa (< 3); Baixa (3 a 6); Média (6,01 a 9,99); Alta (10 a 12); Muito Alta (> 12) e Condição a evitar “CAE” (> 6,0); Classes de

interpretação de K: Muito baixa (< 0,06); Baixa (0,06 a 0,12); Média (0,13 a 0,21); Alta (0,22 a 0,45) e Muito Alta (> 0,45) (NEPAR, 2019).

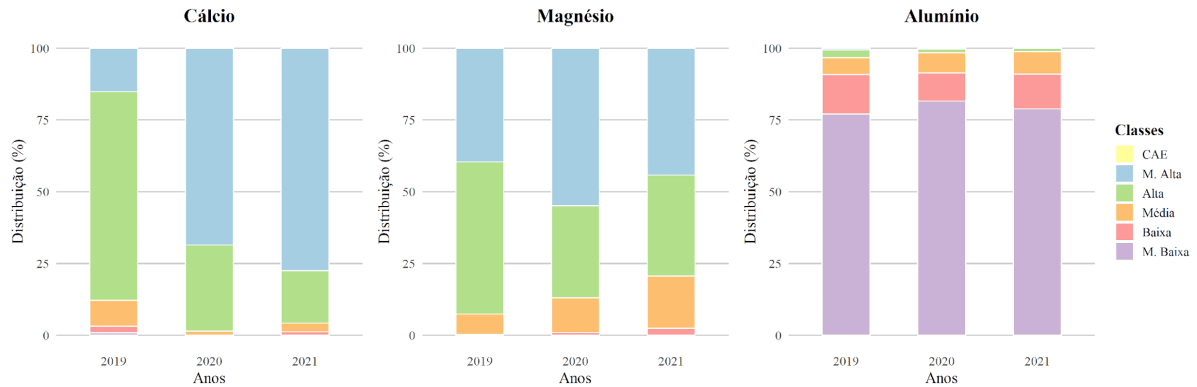
Observa-se, ao longo do período analisado, um aumento expressivo nos teores médios de Ca das amostras de solo (Tabela 3), o que resultou em maior expressão das classes de interpretação de Ca alta e muito alta (Figura 4). Em 2019, ainda havia uma proporção considerável de amostras nas classes alta e muito alta (72,75 e 15,17%) (Figura 5), o que indicava uma disponibilidade mais que suficiente do nutriente em grande parte das áreas avaliadas. Contudo, nos anos subsequentes, em 2020 e 2021, ainda ocorreu aumento dos teores de Ca (Tabela 3), com predominância das amostras na classe muito alta (68,56 e 77,58%) (Figura 4), demonstrando um avanço significativo na correção da acidez do solo e das bases trocáveis no solo. Essa melhoria pode estar associada à prática recorrente de calagem, comum nos sistemas agrícolas da região, por vezes, realizada com tanta frequência que não permite a reacidificação do solo, para a qual os modelos de doses foram ajustados. Isso ocorre pois no Paraná as recomendações de calagem são baseadas no aumento dos valores de saturação por bases, as quais são governadas por cálcio, e não propriamente pelo pH do solo (Vieira, 2010). O aumento do Ca também pode propiciar melhorias nas condições de estrutura do solo, pois o elemento contribui para a floculação das partículas e o desenvolvimento radicular, favorecendo maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (Carpenedo, 2023).

O comportamento dos teores de Mg nas amostras de solo seguiu tendência semelhante à do Ca (Tabela 3). Em 2019, predominavam as classes de interpretação alta e muito alta (53,09 e 39,61%), com pequena contribuição da classe média (7,02%) (Figura 4). Entretanto, observou-se um incremento gradual na classe de interpretação média nos anos de 2020 e 2021 (12,07 e 18,18%) (Figura 4). Essa redução nos tores de Mg reflete uma tendência de excesso na recomendação de calagem, com foco em Ca apenas. Especialmente, porque em geral, o Mg é incorporado ao solo por meio de corretivos da acidez do solo, como os calcários, hidróxidos e óxidos que contenham Mg em sua composição, o que onera o preço do insumo. Todavia, a manutenção de teores adequados de Mg é fundamental, pois o elemento desempenha papel essencial no crescimento vegetativo das plantas, pois é constituinte central da molécula de clorofila, diretamente relacionada à produtividade vegetal (De Sousa, 2021). Além disso, com uma calagem exacerbada, o equilíbrio adequado entre Ca e Mg será prejudicado, e havendo uma saturação elevada de Ca no solo, o Mg terá sua disponibilidade e absorção reduzidas pelas plantas (Pauletti, 2020).

De maneira geral, e como esperado, o Al apresentou em 2019, 2020 e 2021 predomínio

nas classes de interpretação muito baixa (76,97, 81,55 e 78,79%), baixa (13,76, 9,79 e 12,12%) e média (5,90, 7,06 e 7,88%) (Figura 4). Essa condição é extremamente positiva, uma vez que o Al, quando em formas trocáveis (Al^{3+}), é tóxico às plantas, principalmente em pH em água abaixo de 5,5, podendo inibir o crescimento radicular e a absorção de nutrientes (Pauletti, 2020). A manutenção de baixos teores de Al sugere que as práticas de calagem têm sido eficientes na neutralização da acidez ativa (H^+) e da acidez potencial, reduzindo a disponibilidade do Al^{3+} no complexo de troca. Além disso, os elevados teores de K, Ca e Mg observados nos resultados anteriores contribuem para a redução da capacidade competitiva do Al^{3+} na solução do solo, uma vez que há predominância de cátions básicos saturando os sítios de troca (Rodrighero, Barth, Caires, 2015).

Figura 4 - Distribuição percentual das classes de interpretação de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



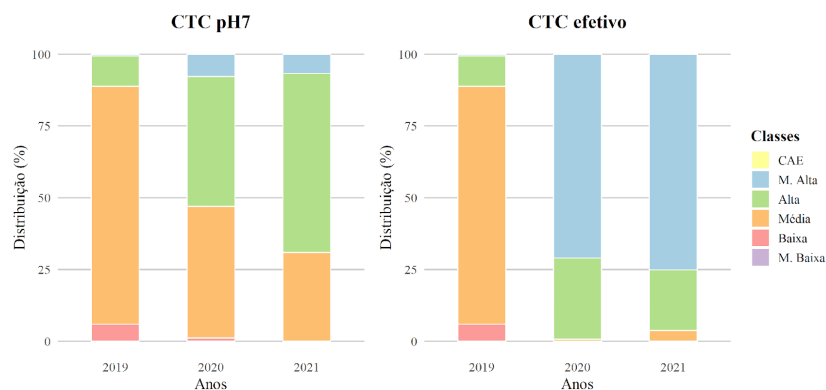
Classes de interpretação de Ca: Muito baixa (< 0,5); Baixa (0,5 a 1,0); Média (1,1 a 2,0); Alta (2,1 a 6,0) e Muito Alta (> 6); Classes de interpretação de Mg: Muito baixa (< 0,2); Baixa (0,2 a 0,4); Média (0,5 a 1,0); Alta (1,1 a 2,0) e Muito Alta (> 2,0); Classes de interpretação de Al: Muito baixa (< 0,3); Baixa (0,3 a 0,7); Média (0,8 a 1,5); Alta (1,6 a 2,5) e Muito Alta (> 2,5) (NEPAR, 2019).

A capacidade de troca catiônica a pH 7,0 ($\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$) reflete a capacidade máxima de retenção de cátions pelo solo em condições neutras de pH, englobando tanto as cargas permanentes dos minerais de argila quanto as cargas variáveis da matéria orgânica e dos óxidos (Ronquim, 2020). No ano de 2019, os teores médios de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ eram de 11,87 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 3), predominando a classe de interpretação média (82,87%) (Figura 5), indicando que os solos estavam com menor potencial de retenção de nutrientes. Nos anos subsequentes, e de maneira gradual, houve uma elevação significativa das bases no solo, aumento da $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ para valores médios de 16,17 e 17,44 (Tabela 3), resultando em contribuições na classe alta (45,33 e 62,42%), associadas à redução das classes médias (45,79 e 30,91%) e baixas (1,14 e 0%) (Figura 5). Esse incremento é um indicativo de melhoria na qualidade química e física dos solos, podendo estar associado ao manejo adequado da calagem e fertilizantes, e também ao uso de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, que favorecem o aumento dos teores de MOS, com consequente acúmulo de cargas negativas e maior capacidade de retenção de nutrientes (Rodrighero, Barth, Caires, 2015).

Já a capacidade de troca catiônica efetiva ($\text{CTC}_{\text{efetiva}}$) representa a soma dos cátions efetivamente trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+}) nas condições reais do solo, ou seja, no pH natural em que a amostra de solo se encontra no momento da coleta. Em 2019, observa-se predominância de amostras na classe média (82,87%) (Figura 5), o que sugere que, naquele momento, havia maior probabilidade de acidez em função do Al^{3+} . Com o passar dos anos,

especialmente em 2020 e 2021, houve um aumento expressivo dos valores médios da CTC_{efetiva} (Tabela 3), e conseqüentemente, das classes alta (28,25 e 21,21%) e muito alta (71,07 e 75,15%) (Figura 5), o que indica que o solo passou a ter maior capacidade de troca efetiva e, portanto, maior saturação por bases em condições naturais. Esse avanço é coerente com os resultados observados com o aumento dos teores de Ca, Mg e SB, indicando um processo contínuo de correção da acidez do solo e melhoria da fertilidade. O aumento da CTC efetiva também está relacionado à redução dos teores de Al³⁺, o que permite que as cargas negativas do solo sejam ocupadas por cátions essenciais ao crescimento vegetal, favorecendo a absorção e o equilíbrio nutricional (Pauletti, 2020).

Figura 5 - Distribuição percentual das classes de interpretação de capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (CTC_{pH7,0}) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{efetiva}) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



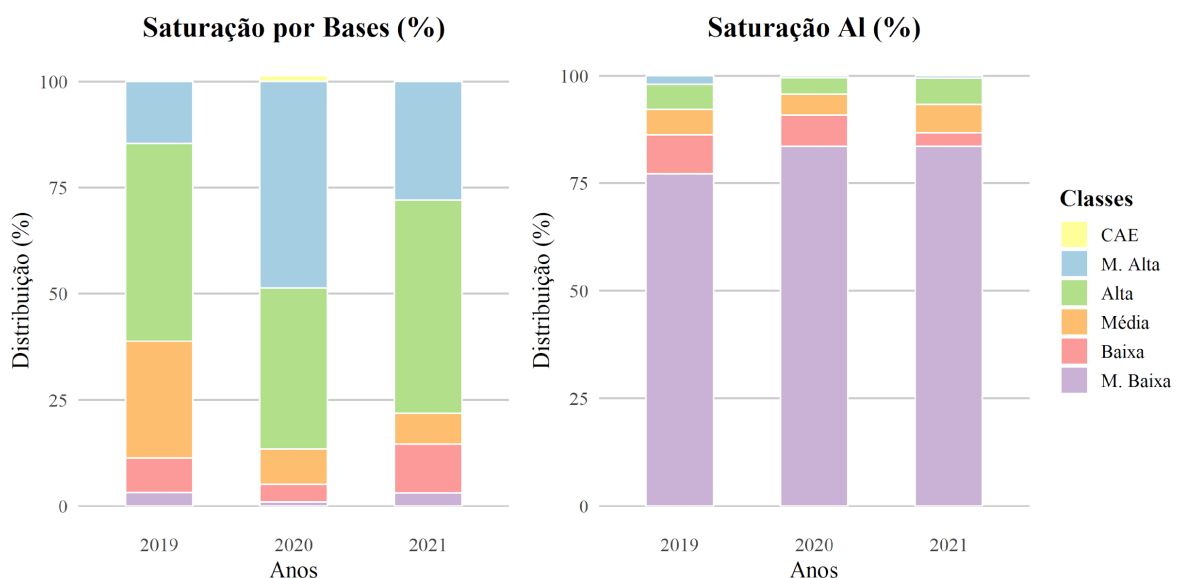
Classes de interpretação de CTC_{pH7,0}: Muito baixa (< 5); Baixa (5 a 7); Média (8 a 14); Alta (15 a 24) e Muito Alta (> 24); Classes de interpretação de CTC_{efetiva}: Muito baixa (< 1,1); Baixa (1,1 a 2,0); Média (2,1 a 4,0); Alta (4,1 a 8,0) e Muito Alta (> 8,0) (NEPAR, 2019).

Em relação à saturação por bases (V%), observou-se que, no ano de 2019, houve predominância das classes média (27,53%) e alta (46,63%) (Figura 6), representando uma condição de fertilidade intermediária boa para a maioria dos solos analisados. Essa distribuição indica que, nesse período, grande parte das amostras apresentavam níveis adequados de bases trocáveis (Tabela 3), o que sugere uma acidez moderada e disponibilidade satisfatória de elementos essenciais para as plantas. No ano de 2020, verificou-se um aumento significativo dos valores médios de V% (Tabela 3), e, por consequência, das classes alta e muito alta, as quais passaram a representar a maior parte das amostras avaliadas (37,88 e 48,73%) (Figura 6). Esse avanço indica melhoria nas condições químicas do solo, possivelmente associada à realização

de calagem e correções de fertilidade, práticas que elevam o pH e aumentam a saturação por bases. Já em 2021, ocorreu uma redução da classe muito alta (27,88%), associada ao aumento da classe alta (50,30%) (Figura 6), processo naturalmente esperado. Esse comportamento pode estar relacionado à extração contínua de nutrientes pelas culturas, especialmente em áreas destinadas à intensa utilização, como para produção de feno, silagem e grama para jardim (Müller; Feldmann; Mühl, 2022).

No que se refere à saturação por alumínio (m%), verificou-se que, nos três anos avaliados (2019, 2020 e 2021), a classe de interpretação muito baixa foi predominante, representando mais de 75% das amostras (Figura 6). As classes baixa e média ocorreram em proporções reduzidas, enquanto as classes alta e muito alta praticamente não foram observadas (Figura 6). Essa constância de valores baixos de m% é uma indicativa de solos com acidez controlada (Tabela 3), o que reduz significativamente os riscos de toxicidade radicular causada por Al^{3+} , favorecendo o crescimento radicular e a absorção de nutrientes (Pauletti, 2020). A baixa saturação por alumínio, mantida ao longo dos três anos, reforça a hipótese de que os solos da região vêm recebendo práticas regulares de calagem.

Figura 6 - Distribuição percentual das classes de interpretação de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



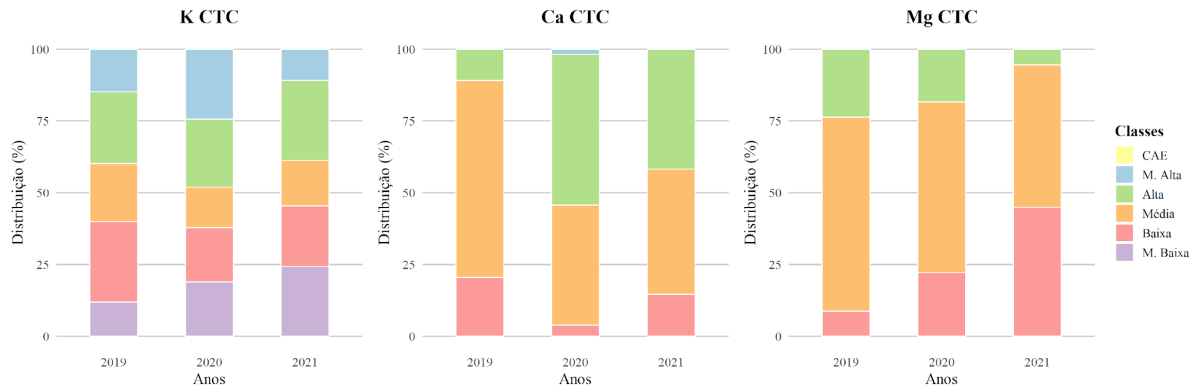
Classes de interpretação de V%: Muito baixa (< 20); Baixa (21 a 35); Média (36 a 50); Alta (51 a 70); Muito Alta (> 70) e Condição a evitar “CAE” (> 90); Classes de interpretação de m%: Muito baixa (< 5); Baixa (5 a 10); Média (11 a 20); Alta (21 a 50) e Muito Alta (> 50) (NEPAR, 2019).

Em relação à contribuição percentual do potássio (K) na CTC (K-CTC), observou-se que, em 2019, houve predominância das classes muito baixa, baixa e média (60,11%), com menor participação das classes alta e muito alta (39,89%) (Figura 7). Isso sugere que, naquele período, parte considerável dos solos apresentava teores limitantes de K, ou seja, abaixo do nível crítico (Figura 3), o que pode ter restringido o desenvolvimento das culturas mais exigentes nesse nutriente (Prezotti, Guarçoni, 2013). Em 2020 e 2021, foi possível observar um discreto e gradual aumento na classe muito baixa (18,91 e 24,24%) (Figura 7). Esse comportamento pode estar relacionado à extração intensa de K pelas culturas agrícolas, especialmente gramíneas que são cultivadas na região, como milho silagem, milho grão, ou outras utilizadas em fenação e gramas para jardins, sem a devida reposição via adubação potássica (Pesini, 2025).

Já em relação à contribuição percentual do cálcio (Ca) na CTC (Ca-CTC), nota-se que no ano de 2019 houve uma maior representatividade da classe de interpretação média (68,54%), seguida pela classe baixa (20,51%) (Figura 7). No ano seguinte, verificou-se uma redução das classes média (41,82%) e baixa (3,86%), associada ao aumento das classes alta (52,50%) e muito alta (1,82%) (Figura 7), que foi guiada pelo aumento significativo dos teores de Ca na CTC (Tabela 3). Sendo que no ano 2021 houve novamente um aumento da classe média (43,64%) e baixa (14,55%), atrelada à redução da classe alta (41,82%) (Figura 7). Essas flutuações nas proporções de Ca na CTC entre os anos são naturais, especialmente em ambientes agrícolas com elevado processo de extração pelas culturas, como é o caso da agricultura praticada no extremo oeste paranaense (Furlan, 2024).

Por fim, a contribuição relativa do magnésio (Mg) na CTC (Mg-CTC) apresentou aumento gradual das classes baixa e média ao longo dos anos 2019 (8,73 e 67,61%), 2020 (22,05 e 59,55%) e 2021 (44,85 e 49,70%), respectivamente (Figura 7). Em consonância, ocorreu redução nas proporções de Mg-CTC na classe alta (23,66, 18,41 e 5,45%) (Figura 8). Esses resultados indicam uma tendência de decréscimo dos teores de Mg (Tabela 3), possivelmente em função do uso de corretivos e fertilizantes mais ricos em Ca, em relação à Mg, o que pode provocar desequilíbrio nas relações Ca/Mg devido à competição entre esses cátions pelos sítios de troca (Guimarães, 2013).

Figura 7. Distribuição percentual das classes de interpretação da percentagem de potássio (% K), cálcio (% Ca) e magnésio (% Mg) na capacidade de troca catiônica a pH 7,0 ($CTC_{pH7,0}$) nos anos 2019, 2020 e 2021 nos solos do município de Santa Helena, Extremo Oeste do Paraná, Brasil.



Classes de interpretação de % de K na $CTC_{pH7,0}$: Muito baixa (< 1); Baixa (1 a 2); Média (2 a 3); Alta (3 a 5) e Muito Alta (> 5) (CQFS-RS/SC, 2016); Classes de interpretação de % de Ca na $CTC_{pH7,0}$: Baixa (< 25); Média (26 a 50); Alta (51 a 70) e Muito Alta (> 70) (IAC, 2022); Classes de interpretação de % de Mg na $CTC_{pH7,0}$: Baixa (< 10); Média (10 a 20) e Alta (> 20) (CQFS-RS/SC, 2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados analisados, podemos destacar que a atual situação da fertilidade dos solos do município de Santa Helena é muito boa. O que foi observado a partir da melhoria dos parâmetros químicos dos solos amostrados em 2019, em relação aos períodos de 2020 e 2021. Em especial, pela maior frequência de distribuição de níveis altos e muito altos das variáveis MOS, pH, P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} , e níveis baixos e muito baixos de Al^{3+} , os quais resultaram respectivamente em maiores valores de CTC_{pH7} e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, V% e contribuição de Ca-CTC e K-CTC, em relação à diminuição dos valores de m% e Mg-CTC.

Esses resultados demonstram que as condições de pH do solo adequado favorecem a maior disponibilidade de nutrientes às plantas, o que implica diretamente na produtividade potencial das lavouras do município. Somado a isso, podemos afirmar que as práticas desenvolvidas pelo município de 2019 até 2021 resultaram nas melhorias químicas e de fertilidade do solo e possivelmente impactaram positivamente na renda do produtor rural.

Entretanto, fica uma ressalva sobre o uso indiscriminado de calcário, o qual, dependendo de sua composição (geralmente rica em Ca^{2+}), pode afetar negativamente a disponibilidade de Mg^{2+} , automaticamente competindo pelos sítios de sorção no solo e reduzindo a participação relativa do Mg junto à CTC do solo. Além de aumentar demasiadamente o pH do solo e possivelmente diminuir a disponibilidade de micronutrientes, como cobre, zinco, ferro e manganês.

Por fim, destacamos que o monitoramento da fertilidade do solo é uma ótima ferramenta para embasar decisões políticas relacionadas à agricultura, visto que quantifica de maneira prática a realidade química das lavouras, e seu potencial produtivo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS (Paraná). **Safra de milho do Paraná deve ter a maior produtividade média da história em 2025**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 27, 2025. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Safra-de-milho-do-Parana-deve-ter-maior-produtividade-media-da-historia-em-2025>. Acesso em: 27 maio 2025.
- ANDRADE, J. S. **Metodologias para análise da qualidade biológica do solo**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, 2021.
- AYRES, G. et al. **Diagnóstico da fertilidade do solo e níveis críticos de nutrientes em folhas de videiras ‘Bordô’ e ‘Moscatto Branco’**. [S. l.]: Boletim Técnico, 2022. ISBN: 978-85-8328-091-0.
- BASTIANI, K. E. S. **Estratégias de calagem e fertilização com fósforo e potássio: efeito na distribuição vertical da acidez e nutrientes no solo e na produtividade de grãos**. 2024. 4.284 MB. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2024.
- BHERING, S. B.; et al. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Viçosa, MG: SBCS; Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM
- BOGNOLA, I. A. et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região Centro-Leste do Estado do Paraná (área 10)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. n. 11, 110 p.
- BRADY, N.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
- BRASIL.Senado Federal. **Política Nacional de Microbacias Hidrográficas avança**. Agência Senado, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/05/18/politica-nacional-de-microbacias-hidrograficas-avanca>. Acesso em: 3 maio 2025.
- CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. **Scientia Agricola**, [S. l.], v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013. DOI: 10.1590/S0103-90162013000400009.
- CARDOSO, K. P. S. **Mitigação de efeitos deletérios do alumínio tóxico por bactérias promotoras de crescimento vegetal na cultura do trigo [Triticum aestivum (L.) Thell]**. 2021. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021
- CARMOS, M. C. et al. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia Ocidental. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 5, n. 9, p. 153–160, 2018.
- CARPENEDO, G. **Formas de calagem e adubação na produtividade de soja (Glycine max) e trigo (Triticum aestivum)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Agronomia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Curitibanos, 13 de junho de 2023.

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Rios da Bacia Hidrográfica Paraná III**. Colombo: Embrapa Floresta, 2021. 44 p.

CHAVEIRO, A. C. E. et al. Qualidade física e química do solo em plantio direto cultivado com hortaliças – uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, p. e32711931564, 2022.

CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446–454, out./dez. 2012.

COELHO, M. R. et al. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, F. M. S et al. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013. cap. 3, p. 45-62.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: 12º Levantamento, Safra 2024/25**. Brasília, DF: CONAB, 2025.

CORDEIRO, L. R. B. A et al. Indicadores de qualidade do solo em cultivos de plantas forrageiras: uma revisão. **Revista Geama**, v. 9, n. 3, p. 75-85, 2023.

COSTA, C. C. da. **Importância econômica da amostragem de solo na adubação agrícola**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40).

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, . cap. 9, p. 273–293, 2015.

DIAS, A. C. F. Transformações do nitrogênio no solo. In: CARDOSO, E. J.; ANDREOTE, F. D. (Orgs.). **Microbiologia do solo**. p. 99-109, 2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212 p, 1997.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná: folha MI-503**. Curitiba: Embrapa Solos; Embrapa Floresta; Instituto Agrônômico do Paraná, 2007. Escala 1:250.000. (Mapa). Complementação e atualização: SiBCS, 2006.

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, . 52p, 2011

FRONZA, F. L. **Determinação do potencial erosivo do solo nas bacias dos rios São Francisco Falso e São Francisco Verdadeiro, região oeste do estado do Paraná**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

FURLAN, M. **Influência da aplicação de gesso agrícola na produtividade da soja e na mobilidade de cátions em um Cambissolo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Curitibanos, 2024

GALLO, A. D. S. **Variabilidade espacial das formas de fósforo em solo sob manejo conservacionista no sistema integrado de produção agroecológica**. 2020.— Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, 2020.

GUIMARÃES-JÚNIOR, M. P. A. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as disponibilidades de nutrientes em solos arenosos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 4, p. 460-467, 2013.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**: Resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://censoagro.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**: total da população do Paraná. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/resultados/tabelas_pdf/total_populacao_parana.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/referencias>. Acesso em: 15 out. 2025.

JANOTA, Y. T. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e produtivo do feijoeiro (**Phaseolus vulgaris L.**) sob diferentes doses de calcário. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Agronomia) — Universidade Católica de Moçambique, Faculdade de Ciências Agrárias, Cuamba, 2023.

KUMAR, A; SINGH, S. KUMAR, S. A study on soil classification using machine learning techniques. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 10, n. 5, p. 1–6, maio 2021.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. **Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Estadual Paraná, 18 p, 2012.

MACHADO, W. S. **Avaliação comparativa do processo de ocupação e degradação das terras das microbacias hidrográficas dos ribeirões Três Bocas e Apertados no norte do Paraná**. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H.; CRUZ, G. H. A. A importância do relevo e do manejo agrícola nas transformações pedogenéticas: estudo de um sistema pedológico no norte do Paraná – Sul do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 44, p, 2024.

MARTINEZ, H; E; P; LUCENA, J; J;; BONILLA M;, I. (Orgs.). **Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal**. Viçosa: Editora UFV, 1. ed., 2021. ISBN 978-65-5925-019-6.

MATTEI, T. S; CATTELAN, R; PIFFER, M. Grau de diversificação agropecuária e

desenvolvimento rural do Paraná: uma análise conjunta com o crescimento econômico. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 270-296, maio/ago. 2024.

MEDEIROS, F. R. **Comportamento do potássio em solos de produtores rurais agroecológicos em Mossoró-RN**. 2022. 43 f. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

MIRANDA, G. V. et al. Desempenho de cultivares de soja IPRO no extremo oeste do Estado do Paraná em baixa altitude / Desempenho de cultivares de soja IPRO em baixa altitude no extremo oeste do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 4, p. 34898–34911, 2021.

MÜLLER, T.; FELDMANN, N. A.; MÜHL, F. R. Diagnóstico da fertilidade do solo de pequenas propriedades nos municípios de Itapiranga e São João do Oeste. **Revista Inovação – Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, Itapiranga (SC), v. 1, n. 2, p. 29-44, 2022.

NOLLA, A. et al. Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial / Correction of soil acidity and availability of phosphorus and potassium in an oxisol submitted to surfaced and incorporated liming. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 2478–2487, 2020.

PAMPLONA, R. A. P. **Desempenho agrônômico e fisiológico de feijão a adubação potássica sob estresse hídrico**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2025.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Sistema de plantio direto. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, Cap. 3, p. 61-104, 2018.

PAULETTI, V. **Equilíbrio entre bases do solo e produtividade das culturas**. Informações Agrônômicas NPCT, Nutrição de Plantas Ciência & Tecnologia, Piracicaba-SP, n.º 7, set. 2020.

PAULETTI, V; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 289 p, 2019.

PESINI, G. **Dinâmica do potássio no sistema solo-planta: efeito de doses, modo de aplicação, calagem e preparo do solo**. 2025. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2025

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**. Incpar. Vitória, 2013.

ROCHA, A. S. et al. . Mapeamento geoambiental do Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 6, p. 4441–4466, 2024.

ROCHA, A.S. et al. Mapeamento da capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do paraná 3: contribuições para o planejamento rural e ambiental. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 266–285, 2018

ROCHA, A. S. da; NÓBREGA, M. T. de; CUNHA, J. E. da. Caracterização físico-hídrico-químico de Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto no Oeste do Paraná. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 2, p. 14–27, 2022.

RODRIGHERO, M. B., BARTH, G., & CAIRES, E. F. Aplicação Superficial De Calcário Com Diferentes Teores De Magnésio E Granulometrias Em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, 39(6), 1723–1736, 2015.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.º 8. Campinas: Embrapa, 2010.

SANTOS, J. S. S. **Adubação com fontes nitrogenadas e enxofre elementar: resposta agrônômica do capim BRS Paiaguás e acidificação de solo alcalino**. 2024. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2024.

SANTOS, M. P. A. et al. Indicadores de qualidade do solo que utilizam parâmetros físico-químicos e microbiológicos: uma revisão sistemática da literatura com o Método Direto. **Revista Delos**, [S. l.], v. 18, n. 63, p. e 3735, 2025.

SATO, Shinjiro; COMERFORD, N. B. Influência do pH do solo na adsorção e dessorção de fósforo num Ultissolo úmido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694, out. 2005.

SBCS. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, . 482 p, 2017.

SEIDEL, E. P. et al. **Principais solos da mesorregião Oeste do Paraná: abordagem para educadores do ensino fundamental e médio**. Marechal Cândido Rondon: NEPAR/SBCS, 2023.

SILVA, A. F. C. et al. Caracterização das sub-bacias hidrográficas dos rios São Francisco e São Francisco Falso, oeste do Paraná, Brasil. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 13, p. e 11568, 2024.

SILVA, D. S; ARIMA, E. Y. Consequências para a sustentabilidade da tomada de decisões sobre mudanças no uso do solo com base na climatologia atual nos cerrados brasileiros. **Terra**, v. 12, n. 4, p. 914, 2023.

SILVA, M. de O. et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Qualidade do solo: indicadores biológicos para uma gestão sustentável. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 1, p. 6853–6875, 2021.

SMIDERLE, O. J. et al. **Efeito de doses de zinco e cobre em características físicas e químicas de grãos de soja armazenados em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003.

SOCIETY BRAZILIAN OF SOIL SCIENCE – NUCLEUS REGIONAL SOUTH. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 2016. Disponível em:

[https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual de Calagem e Adubacao para os Estados do R S e de SC-2016.pdf](https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_R_S_e_de_SC-2016.pdf). Acesso em: 3 maio 2025.

SOUSA, F. F. **Nodulação, nutrição, crescimento e produtividade de duas cultivares de feijão-comum em resposta ao magnésio**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2021.

SOUZA, Z. M. et al. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.4, p. 840–847, 2010.

STUCHI, J. F. **Políticas públicas e governança ambiental para a construção do Plano Nacional de Gestão Sustentável do Solo e da Água no Brasil**. 2022. Tese (Doutorado em Recursos Naturais e Gestão Sustentável) – Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, Departamento de Ciencias Sociales, Filosofía, Geografía y Traducción e Interpretación, Universidad de Córdoba, Córdoba, 2022.

SUSZEK, F. L.; SAMPAIO, S. C.; LIMA, V. L. A. Controle estatístico de qualidade da condutividade hidráulica em luvisolo e neossolo com variação da densidade do solo. **Irriga, Botucatu**, v. 24, n. 1, p. 16-24, jan.-mar. 2019.

TEIXEIRA, P. C. et al. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 574 p, 2017.

VIEIRA, A. V. G. **Fertilidade do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região da Grande Dourados**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2016.

VIEIRA, R. C. B. **Camada diagnóstica, critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em solos sob plantio direto no centro-sul do Paraná**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2013.

ZIEBERT, R. A. SHIKIDA, P. F. A. Avicultura e produção integrada em Santa Helena, Estado do Paraná: uma abordagem a partir da nova economia institucional. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 71–86. 2004

