

ALINE FERREIRA DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE
PRODUÇÃO DE BASE AGROECOLÓGICA NO ESTADO DE
SERGIPE**

São Cristóvão – SE

Setembro de 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE
PRODUÇÃO DE BASE AGROECOLÓGICA NO ESTADO DE
SERGIPE**

**Monografia apresentada ao Departamento de
Engenharia Agrônômica – Universidade
Federal de Sergipe, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.**

APROVADO em:

ORIENTADO: Aline Ferreira dos Santos

Prof. Dr. Airon José da Silva
(Orientador)

Prof. Dr. Marcos Cabral de V. Barretto
(Banca examinadora)

Profa. Dra. Glauca Barretto Gonçalves
(Banca examinadora)

Dedico este trabalho a todos aqueles que, com coragem e persistência, lutaram e seguem lutando pela **democratização do acesso ao ensino público, gratuito e de qualidade**. Que cada conquista acadêmica, como esta, seja também um tributo à resistência coletiva e à crença no poder transformador da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me conceder a vida e por ter me sustentado até aqui. À Nanã, por me ensinar sua paciência e serenidade para esperar o momento certo. À Oxóssi, por me inspirar a seguir em frente com determinação.

Agradeço à família que me escolheu. Aos meus pais, Eloisa e Raimundo (*in memoriam*), assim como aos meus irmãos Djavan, Denise e Welliton por todo o amor que me ofertam, pelo apoio incondicional pelo encorajamento a seguir meus propósitos.

À minha companheira de vida, Livia, que esteve comigo nos momentos mais desafiadores desta jornada. Obrigada por toda paciência, compreensão e por me incentivar diariamente a persistir e acreditar no meu potencial.

Aos meus amigos, em especial Grazielle, Marcos e Ramon. Agradeço por todo companheirismo, pelas conversas de apoio e incentivo, pelo ombro sempre disposto ao cuidado e pela compreensão diante das minhas ausências. A amizade de vocês tornou esta caminhada mais leve e significativa.

Ao meu orientador, Professor Airon, por todo o apoio e por acreditar no meu potencial desde o início. Sua orientação e postura acolhedora e incentivadora foram fundamentais para a construção deste trabalho e para o meu desenvolvimento ao longo da graduação.

À professora Gláucia, pela valiosa contribuição por meio da disponibilização dos resultados, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a cada pessoa que, de alguma forma, fez parte desta trajetória. Este trabalho é resultado não apenas do meu esforço, mas também do apoio e da dedicação de todos que contribuíram para que este sonho se realizasse.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos municípios amostrados no estado de Sergipe.....	29
Figura 2 – Distribuição percentual do pH das amostras.....	33
Figura 3 – Comparação entre teores adequados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}	34
Figura 4 – Distribuição percentual do fósforo.....	36
Figura 5 – Distribuição percentual da matéria orgânica.....	37
Figura 6 – Comparativo entre CTC efetiva e CTC potencial por amostra.....	38
Figura 7 – Relação entre CTC efetiva e matéria orgânica.....	38
Figura 8 – Relação entre CTC efetiva e saturação por bases ($\text{V}^{\circ}\%$).....	39
Figura 9 – Distribuição percentual por classes dos principais atributos químicos.....	42

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de interpretação de análises de solo, adotados como referências para os diagnósticos de fertilidade do solo.....	31
Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo em áreas de produção agroecológica/orgânica no estado de Sergipe (0–20 cm).....	32
Tabela A1 – Localização das áreas analisadas.....	49
Tabela B1 – Resultado de pH, cálcio+magnésio, cálcio, magnésio e a relação cálcio:magnésio.....	50
Tabela B2 – Resultado de alumínio, acidez potencial, fósforo disponível, matéria orgânica, potássio e sódio trocáveis.....	50
Tabela B3 – Resultado de soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e potencial (T) e saturações por base (V%), alumínio (m%) e sódio (PST).....	51

RESUMO

Este estudo teve como objetivo compreender a fertilidade dos solos em áreas de produção de base agroecológica no estado de Sergipe, por meio da análise de indicadores químicos e da aplicação de estatística descritiva. Foram avaliadas 22 amostras de solo, coletadas em diferentes regiões do Estado, considerando parâmetros como pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), percentual de sódio trocável (PST) e matéria orgânica. Os resultados revelaram que a maior parte dos solos apresentam condições químicas favoráveis ao desenvolvimento das culturas, com pH próximo à neutralidade, baixa acidez potencial e teores adequados de cálcio, magnésio e potássio, refletindo-se em níveis satisfatórios de saturação por bases. Por outro lado, observou-se alta variabilidade nos teores de fósforo e matéria orgânica, com parte das áreas apresentando baixa disponibilidade de fósforo e estoques reduzidos de carbono orgânico, evidenciando a necessidade de estratégias de manejo diferenciadas. A análise detalhada dos indicadores permitiu compreender o estado atual dos solos e apontar suas potencialidades e limitações, fornecendo informações inéditas sobre a realidade sergipana. Esses resultados dialogam com pesquisas recentes sobre sistemas agroecológicos no Brasil e contribuem para subsidiar práticas conservacionistas, apoiar a assistência técnica e orientar a formulação de políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos agroecossistemas em Sergipe.

PALAVRAS-CHAVE: *Agroecologia. Agricultura orgânica. Indicadores químicos do solo.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Agroecologia em Sergipe: fundamentos, contextualização e relevância.....	13
2.2 Fertilidade do Solo em sistemas tropicais: dinâmicas e desafios.....	14
2.3 Solos de Sergipe: funções, potencialidades e limitações.....	15
2.4 Fertilidade do solo em sistemas agroecológicos.....	15
2.5 Indicadores químicos da fertilidade do solo.....	17
2.6 Avaliação da fertilidade química em sistemas de base agroecológica.....	20
2.6.1 Análise estatística descritiva aplicada à fertilidade do solo.....	21
2.7 Efeitos das práticas agroecológicas nos atributos químicos do solo.....	22
2.8 Desafios e caminhos para o manejo sustentável dos solos em Sergipe.....	24
2.9 Estudos de caso e experiências regionais com ênfase em indicadores químicos.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Áreas de estudo.....	28
3.2 Coleta e preparo das amostras.....	29
3.3 Análises laboratoriais.....	30
3.4 Tratamento e interpretação dos dados.....	30
3.5 Apresentação dos resultados.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Caracterização geral dos atributos químicos dos solos.....	32
4.2 Distribuição percentual por classes dos atributos químicos.....	33
4.2.1 pH do solo.....	33
4.2.2 Alumínio trocável (Al^{3+}).....	33
4.2.3 Cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}).....	34
4.2.4 Fósforo (P).....	35
4.2.5 Matéria Orgânica (MO).....	36

4.2.6 Capacidade de Troca Catiônica (CTC): efetiva e potencial.....	37
4.2.7 Saturação por bases (V%).....	40
4.2.8 Saturação por alumínio (m%).....	40
4.2.9. Percentual de sódio trocável (PST).....	41
4.2.10 Síntese geral da fertilidade.....	41
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE A – Localização das 22 áreas analisadas.....	49
APÊNDICE B – Valores individuais dos atributos químicos das 22 amostras de solo.....	50

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por sistemas produtivos sustentáveis tem impulsionado o avanço da agroecologia como abordagem científica, prática agrícola e movimento sociopolítico. Fundamentada na integração entre conhecimento científico e saberes tradicionais, a agroecologia propõe estratégias para conciliar produção de alimentos, conservação ambiental e valorização da diversidade sociocultural (ALTIERI, 2012; GLIESSMAN, 2014; CAPORAL; COSTABEBER, 2004). Nesse contexto, o manejo adequado dos solos assume papel central, uma vez que sua qualidade química, física e biológica define os limites e as potencialidades dos agroecossistemas.

No estado de Sergipe, onde predominam unidades de produção familiares e camponesas, a adoção de práticas agroecológicas tem se expandido nos últimos anos, impulsionada por programas de incentivo e pelo fortalecimento de redes locais de comercialização e assistência técnica (SEAGRI-SE, 2021). Contudo, a diversidade edafoclimática do estado — abrangendo litoral, tabuleiros costeiros, agreste e sertão — impõe desafios distintos para o manejo da fertilidade dos solos, especialmente considerando as variações nos atributos químicos e as pressões históricas de degradação ambiental (SANTOS et al., 2018; LOBO FILHO et al., 2022a).

A fertilidade do solo é um dos principais fatores determinantes da produtividade agrícola e da sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Em ambientes tropicais, no entanto, os solos frequentemente apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, alta acidez e capacidade limitada de retenção de cátions (RAIJ, 2011; MEURER, 2012). Essas características exigem estratégias de manejo adaptadas à realidade local, baseadas na ciclagem de nutrientes, na conservação da matéria orgânica e no uso racional de insumos, especialmente em áreas onde predominam práticas de base agroecológica.

Nesse cenário, os indicadores químicos do solo constituem ferramentas essenciais para compreender a dinâmica dos nutrientes, avaliar a qualidade dos agroecossistemas e orientar decisões técnicas. Parâmetros como pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), entre outros, permitem diagnosticar o estado atual dos solos, identificar limitações e propor práticas conservacionistas mais eficientes (FERREIRA et al., 2021; MENDES et al., 2023; FRANÇA, 2024).

Apesar da relevância desses indicadores, há uma lacuna de estudos sistemáticos sobre a fertilidade dos solos sob manejo agroecológico em Sergipe. Grande parte das pesquisas concentra-se em outras regiões do Nordeste, como demonstram os trabalhos de França (2024), Mendes et al. (2023) e Lobo Filho et al. (2022a), que evidenciam os impactos positivos das práticas agroecológicas sobre a qualidade química dos solos. Entretanto, no contexto sergipano, são escassas as análises detalhadas que correlacionem os atributos químicos do solo com a potencialidade produtiva e a sustentabilidade dos sistemas.

Diante disso, este estudo tem como objetivo caracterizar a fertilidade dos solos em áreas de produção de base agroecológica no estado de Sergipe, a partir da análise de indicadores químicos e da utilização de estatística descritiva para sintetizar os resultados. Além de gerar dados inéditos, espera-se que este trabalho contribua para subsidiar estratégias adaptadas de manejo, apoiar a assistência técnica e fortalecer políticas públicas relacionadas à agroecologia e à sustentabilidade dos agroecossistemas sergipanos.

Objetivo geral

Caracterizar a fertilidade dos solos em áreas de produção de base agroecológica no estado de Sergipe, por meio da análise de indicadores químicos e da aplicação de estatística descritiva, a fim de subsidiar estratégias de manejo sustentável e fortalecer práticas produtivas adaptadas às diferentes realidades edafoclimáticas do estado.

Objetivos específicos

- Avaliar os principais indicadores químicos do solo, incluindo pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), percentual de sódio trocável (PST) e matéria orgânica;
- Identificar padrões, variações e limitações relacionadas à fertilidade dos solos nas diferentes regiões do estado de Sergipe;
- Organizar e sintetizar os resultados obtidos por meio de estatística descritiva, utilizando parâmetros como média, valores mínimos e máximos, desvio-padrão e distribuição percentual;

- Integrar os resultados obtidos aos referenciais teóricos e estudos recentes sobre fertilidade dos solos em sistemas de base agroecológica;
- Fornecer subsídios técnicos e científicos que orientem estratégias de manejo sustentável, apoiem a assistência técnica e fortaleçam políticas públicas voltadas à agroecologia em Sergipe.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agroecologia em Sergipe: fundamentos, contextualização e relevância

A agroecologia é compreendida como uma abordagem científica, prática agrícola e movimento sociopolítico que busca articular o conhecimento ecológico com os saberes populares na construção de sistemas alimentares sustentáveis. Trata-se de um campo transdisciplinar que integra a ecologia, a agronomia, a sociologia e a economia política, propondo uma ruptura com os paradigmas da agricultura convencional baseada no uso intensivo de insumos químicos, mecanização e monocultivos (ALTIERI, 2012; GLIESSMAN, 2014).

Segundo Caporal e Costabeber (2004), a agroecologia não se restringe à substituição de insumos químicos por insumos orgânicos, mas implica a reorganização dos sistemas de produção com base na diversidade, na sinergia entre os componentes bióticos e abióticos, e na valorização da autonomia dos agricultores. O solo, nesse contexto, deixa de ser tratado como substrato inerte e passa a ser considerado organismo vivo, dinâmico, interligado aos processos ecológicos, como defendido por Primavesi (2002b). Essa visão holística vem sendo reforçada por estudos recentes que apontam a saúde do solo como elemento central na resiliência agroecológica, vinculando atributos físicos, químicos e biológicos à estabilidade produtiva (FERREIRA et al., 2021; SILVA et al., 2022).

No Brasil, o avanço da agroecologia está fortemente vinculado à agricultura familiar, aos movimentos sociais do campo e às políticas públicas voltadas à soberania alimentar. Experiências como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) têm sido fundamentais para fomentar práticas sustentáveis, gerar renda e preservar o meio ambiente (BRASIL, 2012). Mais recentemente, estudos têm destacado o papel das políticas territoriais e dos mercados institucionais como vetores para a consolidação de circuitos curtos de comercialização e da transição agroecológica (OLIVEIRA et al., 2021; ALMEIDA et al., 2023).

Em Sergipe, a agroecologia tem ganhado força como alternativa viável à agricultura convencional, especialmente em territórios de base camponesa, indígenas e quilombolas. O estado apresenta uma variedade de contextos ambientais – litoral, tabuleiros costeiros, agreste e sertão – que favorecem a diversidade de estratégias de transição agroecológica. Iniciativas como feiras agroecológicas, cooperativas de produção e redes de agroecologia vêm se

articulando para fortalecer a comercialização solidária e o intercâmbio de saberes entre agricultores e técnicos (SEAGRI-SE, 2021; NASCIMENTO; SANTOS, 2022).

O Plano Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica de Sergipe (PLANAPO-SE), lançado em 2021, estabelece diretrizes para o fomento da agroecologia no estado, integrando ações de assistência técnica, pesquisa participativa, capacitação e apoio à comercialização. O plano reconhece a importância da agroecologia para a resiliência climática, a segurança alimentar e o uso sustentável dos recursos naturais, em especial os solos (SERGIPE, 2021).

Dessa forma, compreender a agroecologia em Sergipe exige um olhar contextualizado, que considere a pluralidade de práticas, os desafios socioterritoriais e os avanços na construção de políticas públicas. O solo, como eixo estruturante dos agroecossistemas, ocupa papel central nessa dinâmica, sendo a sua conservação e manejo sustentável elementos essenciais à viabilidade técnica e ecológica da produção agroecológica (PRIMAVESI, 2002b; LIMA et al., 2023).

2.2 Fertilidade do solo em sistemas tropicais: dinâmicas e desafios

A compreensão da fertilidade dos solos tropicais é essencial para interpretar os resultados de análises químicas e orientar práticas de manejo sustentável. Em ambientes tropicais, o clima quente e úmido favorece um intenso intemperismo químico, promovendo transformações profundas na estrutura e composição dos solos. Esses processos resultam em características marcantes, como baixa capacidade de troca catiônica (CTC), alta acidez potencial, lixiviação de nutrientes e fixação de fósforo, o que impõe desafios significativos à produção agrícola (RAIJ, 2011; MEURER, 2012).

Segundo Primavesi (2002a), a fertilidade do solo deve ser compreendida como a capacidade do ambiente de sustentar vida vegetal e atividade biológica, indo além da simples presença de nutrientes. Nos trópicos, o equilíbrio entre atributos químicos, físicos e biológicos é ainda mais determinante, uma vez que a perda de matéria orgânica — comum em sistemas de uso intensivo — compromete a retenção de nutrientes e a estabilidade estrutural dos solos.

Estudos recentes reforçam que os solos tropicais apresentam alta variabilidade espacial de fertilidade, influenciada por fatores como o material de origem, a posição na paisagem e o histórico de manejo (CARDOSO et al., 2022; ALMEIDA et al., 2023). Em regiões com cobertura vegetal preservada, observa-se maior acúmulo de matéria orgânica e teores mais

equilibrados de cálcio, magnésio e potássio, enquanto áreas sob monocultivos extensivos frequentemente apresentam degradação química e biológica.

A fixação do fósforo em formas pouco disponíveis para as plantas é uma das limitações mais críticas em solos tropicais. Os altos teores de óxidos de ferro e alumínio promovem a adsorção desse nutriente, exigindo estratégias específicas de manejo para aumentar sua disponibilidade (MEURER, 2012; OLIVEIRA et al., 2023). Entre as alternativas recomendadas destacam-se o uso de adubos verdes, a aplicação de compostos orgânicos enriquecidos e a promoção da atividade de microrganismos solubilizadores de fósforo (SILVA et al., 2023).

Por outro lado, a elevada diversidade biológica dos trópicos oferece grande potencial de regeneração. Pesquisas recentes mostram que práticas agroecológicas, como consórcios agroflorestais, cobertura permanente do solo e integração de resíduos orgânicos, têm potencial para restaurar atributos químicos e melhorar a CTC, especialmente em solos arenosos e degradados (FERREIRA et al., 2021; MENDES et al., 2023).

Assim, compreender as dinâmicas dos solos tropicais e suas limitações permite contextualizar os fatores que influenciam a disponibilidade de nutrientes e os desafios para a sustentabilidade produtiva. Essa visão geral serve de base para analisar a diversidade edafoclimática encontrada em Sergipe.

2.3 Solos de Sergipe: funções, potencialidades e limitações

Os solos de Sergipe, inseridos no contexto dos trópicos úmidos, apresentam características edafoclimáticas diversas, resultado da interação entre relevo, material de origem, regime hídrico e cobertura vegetal. Essa diversidade gera tanto potencialidades produtivas quanto desafios para o manejo agroecológico.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), o estado abriga diferentes classes, com destaque para Latossolos, Argissolos, Neossolos, Planossolos, Vertissolos, Luvisolos e Gleissolos, distribuídos entre litoral, tabuleiros costeiros, agreste e sertão. Essa variação de ambientes contribui para uma ampla diversidade de fertilidade natural, mas também impõe limitações que exigem estratégias adaptadas.

Nos tabuleiros costeiros e áreas litorâneas, predominam solos de textura arenosa a média, geralmente bem drenados e com potencial de uso agrícola, especialmente quando manejados com cobertura permanente e incremento de matéria orgânica. Já nas regiões do

agreste e sertão, observa-se a ocorrência de solos com baixa fertilidade natural, elevada acidez e, em alguns casos, riscos de salinização, especialmente sob uso intensivo e manejo inadequado (IBGE, 2019; SEAGRI-SE, 2021).

Estudos recentes têm demonstrado que a degradação do solo em Sergipe está associada a fatores como desmatamento, monocultivos, uso excessivo de agroquímicos e preparo convencional, que resultam em compactação, erosão, perda de matéria orgânica e empobrecimento da microbiota edáfica (FRANÇA, 2024; LOBO FILHO et al., 2022; SILVA et al., 2021).

Por outro lado, experiências agroecológicas desenvolvidas no estado mostram que práticas conservacionistas têm elevado potencial de restaurar a fertilidade e a qualidade dos solos. O uso de adubação verde, sistemas agroflorestais, cobertura permanente do solo, compostagem e manejo integrado da biodiversidade tem promovido melhorias significativas nos atributos químicos e físicos, mesmo em áreas anteriormente degradadas (MENDES et al., 2023; ALMEIDA et al., 2023).

Portanto, conhecer as características dos solos de Sergipe é essencial para orientar a escolha das práticas agroecológicas mais adequadas a cada território. A leitura dos solos, conforme defendido por Primavesi (2002a), não deve se limitar à análise técnica, mas envolver o diálogo entre os saberes locais e científicos, construindo um manejo do solo mais sensível às condições ecológicas e sociais do lugar.

2.4 Fertilidade do solo em sistemas agroecológicos

A fertilidade do solo, na perspectiva agroecológica, é entendida como a capacidade do ambiente de sustentar sistemas produtivos equilibrados e resilientes, indo além do simples suprimento de nutrientes minerais. Trata-se de um conceito ampliado, que integra atributos químicos, físicos e biológicos e considera as interações ecológicas responsáveis pela manutenção da qualidade do solo e pela ciclagem natural de nutrientes (PRIMAVESI, 2002a; GLIESSMAN, 2014).

Diferentemente da agricultura convencional, que frequentemente associa a fertilidade à aplicação de insumos externos, a agroecologia propõe a construção da fertilidade a partir do manejo integrado da biodiversidade, da adição contínua de matéria orgânica e da diversificação de espécies cultivadas (ALTIERI, 2015; CAPORAL; PETERSEN, 2012). Nessa perspectiva, o

solo é visto como um organismo vivo, cuja saúde depende da interação entre fauna edáfica, raízes, microrganismos e processos físico-químicos (PRIMAVESI, 2002a).

Estudos recentes mostram que os sistemas agroecológicos promovem melhorias significativas nos atributos de fertilidade dos solos tropicais, como o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), a elevação dos teores de cálcio, magnésio e potássio e a redução da acidez ativa e potencial (FERREIRA et al., 2021; ALMEIDA et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2023). Essas melhorias estão associadas, principalmente, ao aporte contínuo de biomassa, à cobertura permanente do solo e ao uso de compostos orgânicos enriquecidos.

A matéria orgânica exerce papel central nesse processo, atuando como agente estabilizador da estrutura do solo, fonte de nutrientes e promotora da atividade microbiana. Em sistemas agroecológicos, a manutenção de altos níveis de MO está diretamente ligada à diversificação dos sistemas produtivos, que favorece a ciclagem interna de nutrientes e reduz a dependência de adubações externas (MENDES et al., 2023; MELO et al., 2021).

Além dos ganhos produtivos, os benefícios da fertilidade construída agroecologicamente também se estendem à resiliência ambiental. Solos mais equilibrados e com maior complexidade biológica tendem a apresentar maior capacidade de sequestro de carbono, melhor retenção de água e resistência à degradação, fatores essenciais para enfrentar eventos climáticos extremos e garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas (CARDOSO et al., 2022; LIMA et al., 2023).

Nessa perspectiva, analisar os atributos químicos do solo permite compreender como as práticas agroecológicas influenciam a construção da fertilidade. Esses indicadores serão fundamentais para avaliar a efetividade do manejo nas áreas estudadas.

2.5 Indicadores químicos da fertilidade do solo

A avaliação da fertilidade do solo requer o uso de indicadores químicos que sintetizam sua capacidade de fornecer nutrientes e sustentar a atividade biológica. Tais indicadores são amplamente utilizados para orientar práticas de manejo agrícola, mas, em uma perspectiva agroecológica, sua interpretação deve estar associada a processos ecológicos mais amplos, como a ciclagem de nutrientes, a atividade biológica e a qualidade da matéria orgânica (PRIMAVESI, 2002a; GLIESSMAN, 2014).

- **pH do solo**

O pH regula a solubilidade e a disponibilidade de nutrientes, além de influenciar a atividade microbiana e a mobilidade de elementos potencialmente tóxicos, como o alumínio. Em solos tropicais, valores entre 5,5 e 6,5 são considerados ideais, pois favorecem a absorção de macro e micronutrientes e reduzem riscos de toxicidade (RAIJ, 2011; SOBRAL et al., 2007). Em sistemas agroecológicos, a manutenção do pH estável está associada ao aporte contínuo de matéria orgânica e à ciclagem biológica de nutrientes (FERREIRA et al., 2021).

- **Alumínio trocável (Al^{3+})**

O alumínio trocável é um fator limitante para a fertilidade de solos ácidos, pois sua presença em níveis elevados pode prejudicar o desenvolvimento radicular, reduzir a absorção de fósforo e afetar a dinâmica da microbiota edáfica (MEURER, 2012). Em sistemas agroecológicos, a manutenção de baixos teores de Al^{3+} é estratégica para a sustentabilidade produtiva (PRIMAVESI, 2002a), o que ocorre naturalmente quando o pH é mantido próximo à neutralidade, condição favorecida pelo uso de compostos orgânicos e pela cobertura permanente do solo (ALMEIDA et al., 2023).

- **Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+})**

Os teores de cálcio e magnésio, avaliados individualmente ou em conjunto, constituem indicadores da fertilidade base, por estarem diretamente associados à estabilidade estrutural do solo, à formação de agregados e à neutralização da acidez. A relação Ca:Mg é particularmente importante, pois desequilíbrios podem afetar a absorção desses nutrientes (RAIJ, 2011). Estudos recentes têm mostrado que o aumento da disponibilidade de Ca e Mg em sistemas agroecológicos está ligado ao uso de compostos orgânicos e ao manejo diversificado da vegetação (MENDES et al., 2023; LIMA et al., 2023).

- **Potássio (K^+)**

O potássio é essencial para processos fisiológicos das plantas, como regulação estomática e translocação de açúcares e outros compostos orgânicos. Em solos arenosos, típicos de parte de Sergipe, é frequentemente limitante, devido à baixa capacidade de retenção na CTC, exigindo manejo que assegure sua reposição (MEURER, 2012). Contudo, práticas agroecológicas, como consórcios vegetais e adubação verde, têm mostrado eficiência na manutenção de níveis adequados de K, promovendo maior estabilidade de teores (FERREIRA et al., 2021).

- **Fósforo (P)**

O fósforo é, historicamente, um dos nutrientes mais críticos em solos tropicais, pois apresenta alta fixação aos óxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (MEURER, 2012). A baixa disponibilidade de P pode comprometer o desenvolvimento radicular e a produtividade, sendo necessária a adoção de estratégias como o uso de microrganismos solubilizadores, adubação orgânica enriquecida e manejo de resíduos culturais, as quais podem aumentar a disponibilidade de P, reduzindo a dependência de fontes externas (CARDOSO et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023).

- **Capacidade de Troca Catiônica (CTC)**

A CTC reflete a capacidade do solo de reter e disponibilizar nutrientes às plantas. Em solos tropicais, a CTC potencial está fortemente associada ao teor de matéria orgânica, tornando-a um parâmetro essencial para diagnosticar a fertilidade (RAIJ, 2011). Sistemas agroecológicos tendem a aumentar a CTC devido a maior adição de biomassa e a um manejo que preserva a complexidade coloidal do solo (SOBRAL et al., 2015a; ALMEIDA et al., 2023).

- **Saturação por Bases (V%)**

O índice de saturação por bases expressa a proporção da CTC ocupada por cátions básicos (Ca, Mg, K e Na). Valores elevados de V% indicam solos com boa fertilidade química, enquanto valores baixos sugerem necessidade de manejo corretivo (SOBRAL et al., 2015a). Em agroecossistemas, altos níveis de V% são alcançados principalmente pela reciclagem de nutrientes mediada pela matéria orgânica (ALMEIDA et al., 2023).

- **Saturação por Alumínio (m%)**

O m% indica a proporção da CTC ocupada por Al^{3+} . Valores elevados podem comprometer a absorção de nutrientes e limitar o crescimento radicular. A baixa saturação por alumínio observada em sistemas agroecológicos reflete tanto o aporte de matéria orgânica quanto o equilíbrio químico do solo (FERREIRA et al., 2021).

- **Percentual de Sódio Trocável (PST)**

O PST avalia o risco de salinização e sodificação do solo, problemas relevantes em ambientes tropicais semiáridos. Valores acima de 15% indicam risco elevado de degradação estrutural e devem ser monitorados (MELO et al., 2020). Ainda que os valores de PST

encontrados em áreas agroecológicas tendam a ser baixos, sua avaliação é necessária para identificar possíveis riscos, especialmente em solos manejados sob irrigação (MELO et al., 2020; LIMA et al., 2023).

- **Matéria Orgânica (MO)**

A matéria orgânica constitui indicador-chave em sistemas agroecológicos, por desempenhar funções estruturais, químicas e biológicas. A MO atua como fonte de nutrientes, aumenta a retenção de água, eleva a CTC e estimula a atividade biológica do solo. Seu acúmulo devido ao uso contínuo de práticas como compostagem, adubação verde e rotação de culturas é reconhecido como o principal fator de diferenciação entre sistemas agroecológicos e convencionais (PRIMAVESI, 2002a; FERREIRA et al., 2021; MENDES et al., 2023).

2.6 Avaliação da fertilidade química em sistemas de base agroecológica

A avaliação da fertilidade do solo constitui etapa essencial no planejamento e monitoramento da produção agrícola, sendo ainda mais estratégica em sistemas de base agroecológica. Nesses contextos, não se trata apenas de identificar deficiências nutricionais, mas de compreender como as práticas de manejo afetam a dinâmica dos nutrientes, a atividade biológica e o equilíbrio do solo ao longo do tempo (PRIMAVESI, 2002a; GLIESSMAN, 2014).

A análise química do solo, geralmente realizada por meio de amostragem em profundidades de 0–20 cm ou 0–40 cm, fornece dados sobre elementos químicos disponíveis, além de parâmetros como pH, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e acidez potencial (EMBRAPA, 2011; SOBRAL et al., 2015b). Contudo, em agroecossistemas, a interpretação desses resultados deve considerar variáveis como o histórico de uso da área, a diversidade de cultivos, a presença de cobertura vegetal e o tempo de adoção das práticas ecológicas (ALTIERI, 2012; CAPORAL; COSTABEBER, 2004).

Primavesi (2002a) ressalta que a leitura do solo não deve restringir-se a números laboratoriais, mas também à observação da estrutura física, da coloração, do cheiro, da presença de raízes e da atividade biológica (minhocas, fungos micorrízicos e outros organismos). Gliessman (2016) complementa que a compreensão do solo em seu contexto agroecológico requer reconhecer suas interações com plantas, microrganismos e fatores ambientais. Nesse sentido, diversos autores contemporâneos defendem a necessidade de integrar métodos laboratoriais e participativos para um diagnóstico mais completo da fertilidade do solo (CARDOSO et al., 2022; ALMEIDA et al., 2023).

A literatura recente tem mostrado que o monitoramento contínuo da fertilidade, aliado a práticas conservacionistas como a adubação verde, o uso de compostos orgânicos e os consórcios agroflorestais, contribui para restaurar a vitalidade do solo e aumentar sua resiliência (MENDES et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2023). Experiências brasileiras evidenciam que a participação ativa dos agricultores no processo de diagnóstico amplia a apropriação do conhecimento e fortalece a autonomia no manejo agroecológico dos solos (FERREIRA et al., 2021).

Estudos comparativos, como o de França (2024), realizado em comunidades agroecológicas no Rio Grande do Norte, demonstraram diferenças significativas nos teores de sódio, pH e CTC entre áreas cultivadas e áreas de caatinga preservada, revelando o potencial regenerativo dos solos sob manejo sustentável. Coelho et al. (2024), em pesquisa conduzida em Seropédica-RJ, reforçam a necessidade de monitoramento periódico dos atributos químicos, recomendando inclusive o uso de análises estatísticas simples, como a estatística descritiva, pela sua facilidade de interpretação tanto para pesquisadores quanto para técnicos e agricultores.

No caso de Sergipe, a avaliação da fertilidade química dos solos sob manejo agroecológico representa uma oportunidade de gerar dados inéditos, apoiar políticas públicas emergentes e orientar práticas sustentáveis de uso da terra. Além de contribuir para a sistematização científica, esse processo fortalece o manejo autônomo e participativo, dialogando com os saberes locais e com as demandas dos agricultores familiares.

2.6.1 Análise estatística descritiva aplicada à fertilidade do solo

A estatística descritiva constitui ferramenta fundamental para organizar e interpretar resultados provenientes de análises químicas de solos. Por sua simplicidade e objetividade, tem sido amplamente utilizada em estudos agroecológicos como forma de caracterizar padrões de fertilidade e subsidiar discussões técnicas e participativas (PIMENTEL-GOMES, 2009; SILVA; AZEVEDO, 2009).

Esse método permite calcular medidas como média, mediana, amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação, oferecendo uma visão clara da centralidade, dispersão e variabilidade dos atributos químicos avaliados (RAIJ, 2011; MEURER, 2012). Em solos tropicais, especialmente em regiões diversas como Sergipe, essas medidas são particularmente

úteis, já que as propriedades edáficas podem variar de acordo com fatores climáticos, geológicos e de uso do solo (FRANÇA, 2024; LIMA et al., 2023).

Em estudos agroecológicos recentes, Mendes et al. (2023) demonstraram que a estatística descritiva aplicada a atributos como fósforo, potássio e carbono orgânico total foi suficiente para evidenciar a superioridade do manejo agroecológico sobre o convencional na conservação da fertilidade. De forma semelhante, Cardoso et al. (2022) apontam que a análise descritiva, ao revelar padrões regionais, possibilita identificar limitações nutricionais específicas e orientar estratégias adaptadas a cada agroecossistema.

Segundo Banzatto e Kronka (2013), a estatística descritiva não busca realizar inferências populacionais, mas sim oferecer um retrato fiel dos dados coletados, subsidiando interpretações qualitativas e práticas. Essa perspectiva dialoga diretamente com os princípios da agroecologia, que valorizam a singularidade de cada território e reconhecem a diversidade como elemento estruturante.

No presente estudo, a estatística descritiva foi aplicada aos resultados das análises químicas de 22 amostras de solo coletadas em diferentes localidades de Sergipe, abrangendo propriedades familiares de base agroecológica. Foram calculados valores médios, mínimos, máximos e desvios-padrão para cada atributo, permitindo identificar a variabilidade entre as áreas e relacionar os resultados às práticas de manejo adotadas.

Essa abordagem, ao mesmo tempo técnica e adaptada ao contexto agroecológico, contribui para consolidar o conhecimento sobre a fertilidade dos solos sergipanos, fortalecendo práticas sustentáveis e subsidiando recomendações mais sensíveis às condições ecológicas e sociais dos agricultores.

2.7 Efeitos das práticas agroecológicas nos atributos químicos do solo

As práticas agroecológicas têm como fundamento o manejo do solo baseado em processos ecológicos, na ciclagem de nutrientes e na valorização da matéria orgânica como fonte primária de fertilidade. Ao contrário do modelo convencional, que se apoia na aplicação frequente de fertilizantes solúveis e corretivos químicos, os sistemas agroecológicos buscam regenerar e manter os atributos naturais do solo a partir de uma lógica de cuidado, integração e sustentabilidade (ALTIERI, 2012; PRIMAVESI, 2002a; FERREIRA et al., 2021).

Uma das práticas centrais na construção da fertilidade é a adubação orgânica, realizada por meio do uso de esterco curtido, compostagem, húmus de minhoca, resíduos vegetais e biofertilizantes líquidos. Além de fornecer nutrientes, essa prática estimula a atividade microbiana, reduz o alumínio trocável, melhora a capacidade de troca catiônica (CTC) e contribui para a estruturação do solo (PRIMAVESI, 2002a; MENDES et al., 2023).

A cobertura do solo, seja por plantas vivas (adubação verde, consórcios de culturas) ou por cobertura morta (palhadas, restos culturais), é outro componente estratégico para a sustentabilidade. Essa prática reduz perdas de nutrientes por lixiviação, protege contra erosão, regula a temperatura e promove a mineralização gradual da matéria orgânica, impactando positivamente os teores de fósforo, potássio e carbono orgânico total (GLIESSMAN, 2014; LOBO FILHO et al., 2022a).

A adubação verde, em especial com leguminosas como feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) ou mucuna-preta (*Mucuna pruriens*), desempenha papel essencial na fixação biológica do nitrogênio e na mobilização de nutrientes como o fósforo e o cálcio. Essas espécies, quando bem integradas ao sistema produtivo, contribuem para elevar o pH do solo, melhorar a saturação por bases e favorecer o equilíbrio químico, conforme apontam Luz & Altieri (2016), Mendes et al. (2023) e França (2024).

A rotação e o consórcio de culturas também se destacam por ampliar a diversidade de exsudatos radiculares, estimulando diferentes grupos de microrganismos e favorecendo sinergias nutricionais entre espécies. Sistemas consorciados apresentam maior estabilidade dos níveis de nutrientes e acúmulo progressivo de carbono orgânico, fundamentais para a manutenção da fertilidade a longo prazo (GLIESSMAN, 2016; ALMEIDA et al., 2023).

Em regiões de maior vulnerabilidade climática, como o Semiárido nordestino, práticas adaptadas — como o pousio com cobertura espontânea, o uso de plantas nativas e o manejo mínimo do solo — têm se mostrado eficazes na recuperação de áreas degradadas e na preservação dos atributos químicos, mesmo em contextos de baixa pluviosidade e solos naturalmente menos férteis (FRANÇA, 2024; SILVA et al., 2023).

Em estudo conduzido por Lobo Filho et al. (2022a), verificou-se que, quanto maior o tempo de adoção das práticas agroecológicas, melhores são os indicadores químicos, especialmente para matéria orgânica, potássio e pH. Esses resultados corroboram a concepção de Primavesi (2002a) sobre a fertilidade como um processo de construção contínua, e não como mera correção pontual.

Altieri (2015) e Caporal & Costabeber (2004) reforçam que a lógica agroecológica rompe com a visão reducionista do solo como substrato químico. Ao respeitar a dinâmica natural dos agroecossistemas, essas práticas transformam o solo em elemento ativo e regenerativo, promovendo resiliência e estabilidade.

Portanto, os efeitos das práticas agroecológicas sobre os atributos químicos do solo vão além da simples reposição de nutrientes: tratam-se de processos ecológicos que restauram a funcionalidade do solo, aumentam a biodiversidade edáfica e favorecem a estabilidade produtiva dos sistemas agrícolas.

Embora o presente estudo não disponha de informações diretas sobre as práticas de manejo nas áreas analisadas, os padrões observados nos atributos químicos podem ser interpretados à luz da literatura existente. A relação entre esses atributos e as práticas agroecológicas descritas oferece subsídios teóricos para compreender possíveis dinâmicas de fertilidade e apoiar estratégias futuras de manejo sustentável.

2.8 Desafios e caminhos para o manejo sustentável dos solos em Sergipe

A sustentabilidade da fertilidade dos solos em sistemas agroecológicos depende, em grande parte, da capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas locais, bem como do acesso a meios técnicos, sociais e institucionais que permitam sua efetiva gestão. No estado de Sergipe, a diversidade de regiões fisiográficas — como o litoral, os tabuleiros costeiros, o agreste e o sertão — impõe diferentes desafios ao manejo do solo, exigindo estratégias específicas para cada território (SANTOS et al., 2018; SEAGRI-SE, 2021).

Um dos principais entraves identificados na realidade sergipana é a baixa disponibilidade de matéria orgânica nos solos, consequência do histórico de degradação ambiental, da redução da cobertura vegetal nativa e da predominância de sistemas produtivos pouco diversificados. Esse quadro compromete atributos essenciais, como a capacidade de troca catiônica (CTC), a retenção de água e a atividade biológica, resultando em menor resiliência dos agroecossistemas (LOBO FILHO et al., 2022b). Soma-se a isso a ocorrência de solos com pH elevado, salinidade localizada e acidez potencial, que reduzem a disponibilidade de fósforo, dificultam o enraizamento e limitam a resposta produtiva, mesmo em sistemas de base agroecológica (FRANÇA, 2024; ALMEIDA et al., 2023).

Além dos desafios ambientais, existem barreiras de ordem socioeconômica e institucional. Muitas unidades familiares de produção agroecológica não realizam análises

periódicas de solo, seja por falta de conhecimento técnico, seja por limitações financeiras e logísticas. Essa carência compromete o planejamento do uso de insumos e o monitoramento da fertilidade a longo prazo, dificultando a adoção de medidas preventivas para evitar a degradação química dos solos (PETERSEN; CAPORAL, 2013; CARDOSO et al., 2022). Também se verifica uma fragilidade na assistência técnica e extensão rural, especialmente no que se refere à agroecologia. Muitos técnicos ainda operam sob uma lógica convencional, com recomendações padronizadas e voltadas à adubação mineral, sem a devida valorização do saber local, das práticas de manejo ecológico e da leitura integrada dos agroecossistemas (CAPORAL; COSTABEBER, 2004; ALTIERI, 2012).

Diante desse cenário, o fortalecimento das políticas públicas voltadas à agroecologia representa um caminho promissor. Programas como o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) e o Plano Estadual de Agroecologia de Sergipe (PLANAPO-SE) têm como objetivos fomentar redes locais de produção sustentável, capacitar agricultores e técnicos, e estimular práticas conservacionistas de uso do solo (SEAGRI-SE, 2021; BRASIL, 2012).

Além disso, diversas experiências no estado demonstram que o protagonismo das organizações sociais, cooperativas e associações de agricultores familiares tem sido decisivo para promover o manejo sustentável dos solos. A mobilização comunitária permite o compartilhamento de saberes, a organização de mutirões agroecológicos e o acesso coletivo a recursos para compostagem, adubação verde e compra de bioinsumos (FRANÇA, 2024).

Outro aspecto essencial para o avanço da sustentabilidade é a construção participativa do conhecimento. Metodologias que envolvem os agricultores na leitura da paisagem, na identificação de bioindicadores e na interpretação coletiva dos resultados das análises de solo possibilitam um manejo mais eficiente, adaptado e autônomo (PETERSEN; CAPORAL, 2013). A integração entre saberes científicos e populares potencializa a adoção de práticas agroecológicas mais adequadas, fortalecendo a autonomia produtiva e a conservação dos recursos naturais.

Os desafios para o manejo sustentável dos solos em Sergipe são complexos e multifatoriais, abrangendo aspectos técnicos, ambientais, sociais e políticos. Entretanto, as experiências locais, associadas ao fortalecimento de políticas públicas e à valorização dos saberes tradicionais, apontam caminhos viáveis para a construção de sistemas produtivos

resilientes. O reconhecimento da diversidade edafoclimática do estado e o uso sistemático de ferramentas como a análise química do solo são fundamentais para orientar estratégias de manejo que aliem conservação ambiental e sustentabilidade da produção.

2.9 Estudos de caso e experiências regionais com ênfase em indicadores químicos

O uso de indicadores químicos do solo tem se consolidado como uma ferramenta estratégica para compreender os efeitos das práticas agroecológicas, comparar sistemas produtivos e orientar tomadas de decisão para o manejo sustentável. Diversos estudos desenvolvidos no Brasil, especialmente no Nordeste, têm demonstrado que os sistemas de base agroecológica promovem melhorias consistentes na fertilidade dos solos, mesmo em áreas caracterizadas por baixa aptidão agrícola natural ou com histórico prolongado de degradação (MENDES et al., 2023; FRANÇA, 2024; LOBO FILHO et al., 2022b).

Em Mossoró, no Rio Grande do Norte, França (2024) realizou um estudo comparativo dos atributos físico-químicos do solo em comunidades agroecológicas, com destaque para indicadores como sódio trocável, pH, CTC e saturação por bases. As áreas conduzidas com práticas agroecológicas, como adubação orgânica e cobertura permanente do solo, apresentaram teores mais equilibrados de nutrientes e menores índices de acidez potencial, refletindo melhores condições para o desenvolvimento das culturas. A análise estatística descritiva aplicada ao estudo permitiu identificar tendências regionais e associar os efeitos observados ao histórico de manejo das áreas.

Em Minas Gerais, Mendes et al. (2023) analisaram sistemas de cultivo de alface conduzidos sob manejo convencional e agroecológico. Foram avaliados atributos como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e carbono orgânico total (COT). Os resultados apontaram maior concentração de nutrientes e maior estabilidade dos níveis de matéria orgânica nas áreas agroecológicas, além de menor variabilidade entre amostras. O estudo conclui que a adoção contínua de práticas conservacionistas favorece um ambiente edáfico mais equilibrado e resiliente.

No Ceará, Lobo Filho et al. (2022a) investigaram sistemas agroecológicos de policultivo, avaliando áreas com diferentes tempos de adoção de práticas sustentáveis. Os resultados demonstraram que a fertilidade do solo evoluiu de forma progressiva com o aumento do tempo de manejo agroecológico, refletido em ganhos nos teores de carbono orgânico, fósforo disponível e pH. Os autores destacam que a diversificação produtiva, o uso de biofertilizantes

e a manutenção de resíduos vegetais foram determinantes para a recuperação das propriedades químicas.

Em Seropédica, no Rio de Janeiro, Coelho et al. (2024) compararam solos sob manejo orgânico com sistemas convencionais da mesma região. O estudo evidenciou melhorias significativas nos teores de matéria orgânica, fósforo disponível e pH nas áreas com histórico de transição agroecológica, além de reforçar a importância do monitoramento contínuo dos atributos químicos do solo. A pesquisa também salienta a necessidade de integração entre análises laboratoriais e diagnósticos participativos, permitindo que agricultores compreendam os resultados e os utilizem no planejamento de manejo.

Esses estudos reforçam a consistência das evidências científicas de que os sistemas agroecológicos favorecem a construção gradual da fertilidade, promovendo a estabilidade química do solo e reduzindo a necessidade de insumos externos. A aplicação de análises laboratoriais associadas à estatística descritiva tem se mostrado eficiente para mapear padrões regionais e subsidiar estratégias adaptadas às diferentes realidades produtivas.

No caso de Sergipe, entretanto, há uma lacuna significativa de estudos amplos com foco nos indicadores químicos do solo em áreas de produção de base agroecológica. A diversidade edafoclimática, o predomínio da agricultura familiar e a presença crescente de iniciativas agroecológicas tornam o estado um espaço estratégico para a geração de dados aplicados. Ao consolidar e organizar essas informações, o presente trabalho contribui para preencher essa lacuna, fornecendo subsídios para o planejamento agrícola regional e para a gestão sustentável da fertilidade dos solos nos agroecossistemas sergipanos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

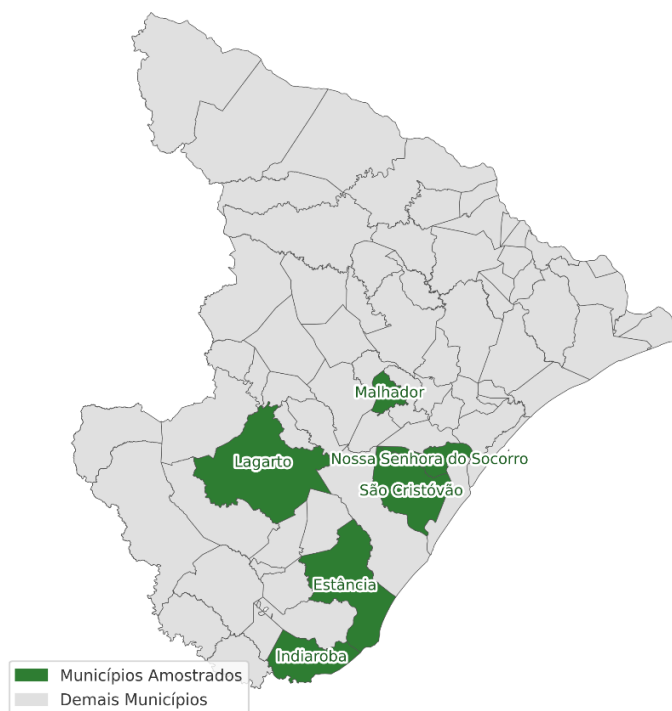
O estudo foi desenvolvido no estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil, caracterizado por uma diversidade edafoclimática que inclui quatro grandes unidades fisiográficas: litoral, tabuleiros costeiros, agreste e sertão. Essa variabilidade de ambientes influencia diretamente as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, refletindo em diferentes potencialidades e limitações para o uso agrícola (SANTOS et al., 2018; SEAGRISE, 2021). O predomínio da agricultura familiar na região e o crescimento recente de experiências agroecológicas tornam o estado um cenário relevante para a análise da fertilidade dos solos em sistemas de base sustentável.

As coletas foram realizadas em seis municípios, contemplando diferentes ambientes produtivos de base familiar e agroecológica no estado.: Estância, Indiaroba, Lagarto, Malhador, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão.

A Figura 1 apresenta a localização desses municípios amostrados no território sergipano, com destaque para as áreas incluídas no estudo. A localização detalhada de cada área analisada encontra-se no Apêndice A.

Figura 1 – Localização dos municípios amostrados no estado de Sergipe

Municípios Amostrados – Estado de Sergipe



Fonte: Elaboração própria a partir de malha municipal do IBGE (2024).

3.2 Coleta e preparo das amostras

As amostras foram coletadas na camada superficial, considerando a profundidade de 0 a 20 cm, por ser a faixa mais diretamente influenciada pelas práticas de manejo e onde ocorre a maior concentração de raízes e atividade biológica (EMBRAPA, 2017). Foram obtidas 22 amostras compostas, oriundas de unidades produtivas familiares com histórico de adoção de práticas agroecológicas/orgânica.

O procedimento consistiu na retirada de subamostras simples em pontos representativos de cada área, posteriormente homogêneas para formar uma amostra composta por unidade de produção. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e encaminhadas para o laboratório.

No laboratório, os solos foram secados ao ar, destorroados e peneirados em malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada para as análises químicas (TEIXEIRA et al., 2017). As análises foram realizadas no Laboratório de Remediação do solo do DEA, e os resultados foram disponibilizados pela equipe técnica do Projeto PROFOR -EXT

(Programa de Formação em ATER), Executado pelo DEA e coordenado por professores do respectivo departamento.

3.3 Análises laboratoriais

No contexto das análises laboratoriais da presente pesquisa, foram avaliados os seguintes atributos:

- **pH:** determinado em água destilada na proporção de 1:2,5;
- **Fósforo (P), potássio (K) e Sódio (Na):** extraídos por Mehlich-1 e quantificados por espectrofotometria (P) e fotometria de chama K^+ e Na^+);
- **Cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}):** extraídos com solução de KCl $1\ mol\ L^{-1}$ e determinados por titulação;
- **Matéria orgânica (MO):** obtida pelo método da oxidação úmida;
- **Capacidade de troca catiônica (CTC):** calculada a partir da soma de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e da acidez potencial ($H+Al$), considerando valores de CTC efetiva e CTC potencial;
- **Saturação por bases (V%):** estimada pela relação entre a soma de bases e a CTC potencial;
- **Saturação por alumínio (m%):** determinada pela proporção entre o alumínio trocável e a CTC efetiva;
- **Percentual de sódio trocável (PST):** calculado com base na relação entre o sódio e a CTC potencial.

Os cálculos de relação $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ e de percentuais de saturação foram obtidos a partir dos dados primários das análises, de acordo com os métodos descritos em Teixeira et al. (2017), e classificados conforme Sobral et al. (2007, 2015b).

Esses parâmetros foram selecionados por representarem indicadores-chave da fertilidade química dos solos, permitindo identificar tanto a disponibilidade de nutrientes quanto possíveis restrições ao desenvolvimento das culturas.

3.4 Tratamento e interpretação dos dados

Os dados laboratoriais foram organizados em planilhas eletrônicas para tabulação e análise. Inicialmente, procedeu-se à análise estatística descritiva, com cálculo de valores de média, mínimo, máximo e desvio-padrão de cada atributo. Essa abordagem foi adotada por

permitir sintetizar tendências e variações sem recorrer a inferências populacionais, respeitando as especificidades dos agroecossistemas estudados (PIMENTEL-GOMES, 2009; BANZATTO; KRONKA, 2013).

Para complementar a interpretação, os atributos foram classificados em classes (baixo, médio e alto), seguindo os critérios estabelecidos por Sobral et al. (2007, 2015b), conforme tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de interpretação de análises de solo, adotados como referências para os diagnósticos de fertilidade do solo.

Indicadores Analíticos	Unidades	Interpretação		
		Baixo	Médio	Alto
pH em água		< 5	5 - 6	> 6
Matéria Orgânica	%	< 1,5	1,5 - 3	> 3
P extraível	mg.dm ⁻³	< 7	7 - 15	> 15
K trocável	mg.dm ⁻³	< 30	30 - 60	> 60
Al trocável	cmol _c .dm ⁻³	< 0,5	0,5 - 1	> 1
Ca trocável	cmol _c .dm ⁻³	< 1,6	1,6 - 3	> 3
Mg trocável	cmol _c .dm ⁻³	< 0,4	0,4 - 1	> 1
CTC (efetiva)	cmol _c .dm ⁻³	< 2	2 - 4	> 4
CTC (pH 7)	cmol _c .dm ⁻³	< 5	5 - 15	> 15
Saturação por bases (V)	%	< 50	50 - 70	> 70
Saturação por Al	%	< 30	30 - 50	> 50
PST	%	< 6	6 - 15	> 15

Fonte: Sobral et al. (2007, 2015b)

Essa classificação permitiu quantificar a distribuição percentual das amostras em cada classe, fornecendo uma leitura prática sobre a adequação ou limitação dos atributos químicos avaliados.

3.5 Apresentação dos resultados

Os resultados foram apresentados em forma de tabelas e gráficos de distribuição percentual por classes, com vistas a facilitar a interpretação visual e comparativa dos dados. Essa abordagem buscou oferecer uma visão integrada dos atributos de fertilidade, destacando tanto os valores médios e variações estatísticas quanto a situação das amostras em relação às faixas de interpretação agrônômica. A análise dos resultados foi fundamentada em literatura clássica e estudos recentes sobre fertilidade do solo e sistemas agroecológicos, permitindo contextualizar os achados no cenário regional e nacional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização geral dos atributos químicos dos solos

A análise dos indicadores químicos dos solos, obtidos a partir de 22 amostras coletadas em áreas de produção agroecológica/orgânica no estado de Sergipe, possibilitou avaliar a condição atual de fertilidade dos solos. Os resultados foram organizados em duas etapas:

- Valores individuais por amostra (Apêndice B);
- Estatísticas descritivas gerais apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo em áreas de produção agroecológica/orgânica no estado de Sergipe (0–20 cm)

Atributo	Média	Mínimo	Máximo	DP
pH em água	6,18	5,54	7,19	0,41
Al ³⁺ cmol _c .dm ⁻³	0,05	0,00	0,22	0,06
Ca ²⁺ +Mg ²⁺ cmol _c .dm ⁻³	8,20	1,86	36,84	7,63
Ca ²⁺ cmol _c .dm ⁻³	6,63	1,47	35,19	7,05
Mg ²⁺ cmol _c .dm ⁻³	1,57	0,23	4,69	1,09
Pmg.dm ⁻³	30,66	0,71	230,0	48,39
K ⁺ mg.dm ⁻³	80,84	17,0	310,6	74,64
Na ⁺ mg.dm ⁻³	0,10	0,01	0,35	0,09
H+Al cmol _c .dm ⁻³	1,35	0,35	3,24	0,71
Ca ²⁺ :Mg ²⁺	4,80	1,57	11,63	2,36
CTCef (t) cmol _c .dm ⁻³	8,95	2,10	37,18	7,67
CTCpot (T) cmol _c .dm ⁻³	9,68	3,24	37,41	7,49
V%	80,32	55,59	99,37	11,03
m%	1,22	0,00	8,57	2,18
PST%	2,92	0,23	10,91	2,82
MO%	2,13	0,68	5,80	1,19

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

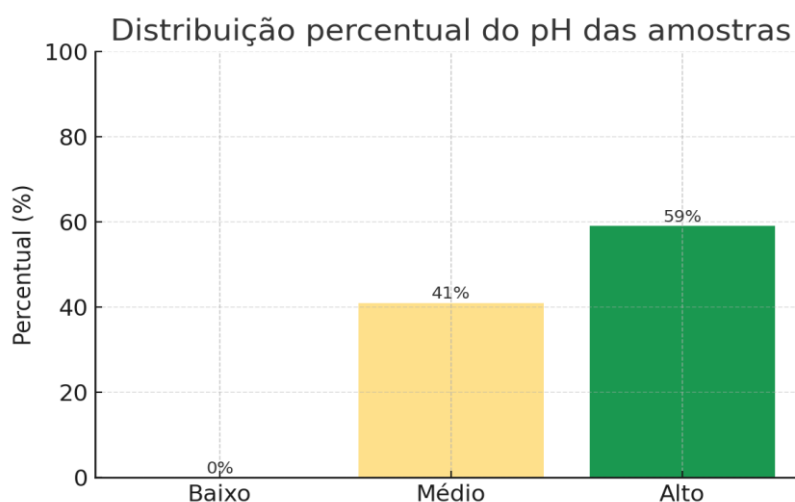
4.2 Distribuição percentual por classes dos atributos químicos

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram elaborados gráficos com a distribuição percentual das amostras por classes (baixo, médio e alto), conforme recomendações de Sobral et al. (2007, 2015b).

4.2.1 pH do solo

Os valores de pH encontrados nas amostras variaram de 5,54 a 7,19, com média de 6,18 e desvio padrão moderado. Das 22 amostras, 59% foram classificadas como de pH alto, 41% como médio e nenhuma como baixo (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição percentual do pH das amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os resultados indicam que a maior parte dos solos se encontra em faixa de leve acidez ativa, criando condições favoráveis para a disponibilidade de elementos essenciais e para a redução da toxidez por alumínio (PRIMAVESI, 2002a). Estudos recentes, como Mendes et al. (2023) e França (2024), confirmam que solos sob manejo agroecológico tendem a apresentar pH mais equilibrado, quando comparados a áreas com manejo convencional.

4.2.2 Alumínio trocável (Al^{3+})

O alumínio trocável apresentou média de $0,05 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com valores variando entre $0,00 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $0,22 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Todas as 22 amostras (100%) apresentaram níveis baixos, o que indica baixa presença de alumínio trocável na solução do solo.

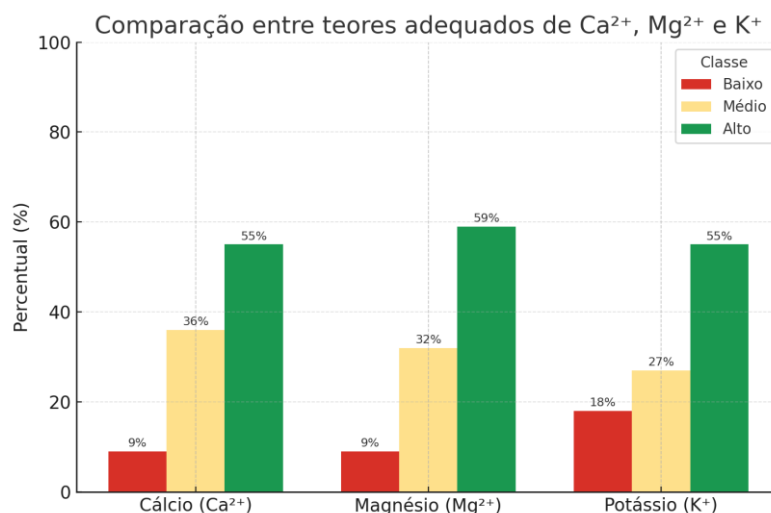
Segundo Meurer (2012), em solos tropicais, altos teores de Al^{3+} podem limitar o crescimento radicular e reduzir a absorção de fósforo, além de provocar toxicidade direta para muitas espécies cultivadas. No presente estudo, os valores baixos sugerem condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, já que a atividade do alumínio está minimizada.

A literatura aponta que práticas agroecológicas contribuem para reduzir a disponibilidade de Al^{3+} no solo. Mendes et al. (2023) e Cardoso et al. (2022) destacam que o aporte contínuo de matéria orgânica por meio de compostagem, cobertura vegetal e adubação verde favorece a complexação do alumínio e eleva o pH, diminuindo sua solubilidade.

4.2.3 Cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+)

A boa disponibilidade dos cátions básicos (Figura 3) reflete um bom histórico de manejo e contribui diretamente para os elevados valores de saturação por bases (V%), reforçando o potencial produtivo dos solos.

Figura 3 – Comparação entre teores adequados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O cálcio apresentou média de $6,63 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com variação entre $1,47 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $35,19 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Das amostras analisadas, 55% foram classificadas como altas, 36% médias e 9% baixas. Esses resultados indicam que a maioria dos solos analisados possui boa disponibilidade de cálcio, o que favorece a estabilidade da estrutura do solo e o crescimento radicular, mas a presença de solos com valores baixos de Ca^{2+} sugere a necessidade de monitoramento contínuo, especialmente em locais com maior potencial de lixiviação.

O magnésio apresentou média de $1,57 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, variando entre $0,23 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $4,69 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Em relação à distribuição por classes, 59% das amostras apresentaram teores altos, 32% médios e 9% baixos. Esses resultados indicam que a maior parte dos solos avaliados apresenta boa disponibilidade de magnésio, o que favorece processos fisiológicos importantes, como a fotossíntese e a formação de clorofila.

O potássio apresentou média de $80,84 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$, variando de $17 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ a $310,60 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$. Cerca de 55% das amostras foram classificadas como altas, 27% médias e 18% baixas. Esses resultados indicam que a maioria das áreas avaliadas apresenta boa disponibilidade de potássio, mas também há variabilidade entre as amostras.

Em solos tropicais arenosos, como os encontrados em parte de Sergipe, o cálcio, o magnésio e o potássio tendem a ser facilmente lixiviados devido à baixa capacidade de retenção na CTC, exigindo atenção quanto à reposição desses elementos essenciais aos processos fisiológicos das plantas (RAIJ, 2011; MEURER, 2012).

Diversos estudos destacam que práticas agroecológicas, como a adubação verde, a rotação de culturas, o uso de compostagem e a manutenção de cobertura vegetal permanente, contribuem para a manutenção e a reciclagem desses nutrientes no solo. Ferreira et al. (2021) e Mendes et al. (2023) apontam que tais práticas aumentam a disponibilidade de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , reduzindo as perdas por lixiviação e conseqüentemente a dependência de fontes externas.

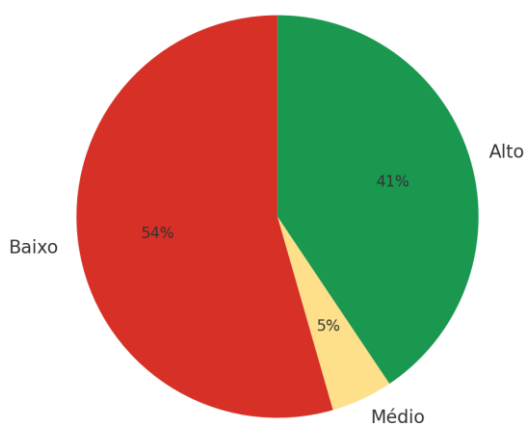
França (2024) observou incrementos de até 28% nos teores de Ca^{2+} e aumentos significativos de Mg^{2+} em áreas com maior aporte de biomassa vegetal e sistemas agroflorestais, evidenciando que a diversificação de cultivos e a presença de resíduos vegetais sobre o solo favorecem a estabilidade desses nutrientes ao longo do tempo.

4.2.4 Fósforo (P)

Os teores de fósforo disponível variaram de $0,71$ a $230,0 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$, com média de $30,66 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ e alta variabilidade. Entre as amostras, 54% apresentaram teores baixos, 5% médios e 41% altos (Figura 4).

Figura 4 – Distribuição percentual do fósforo

Distribuição percentual do fósforo nas amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

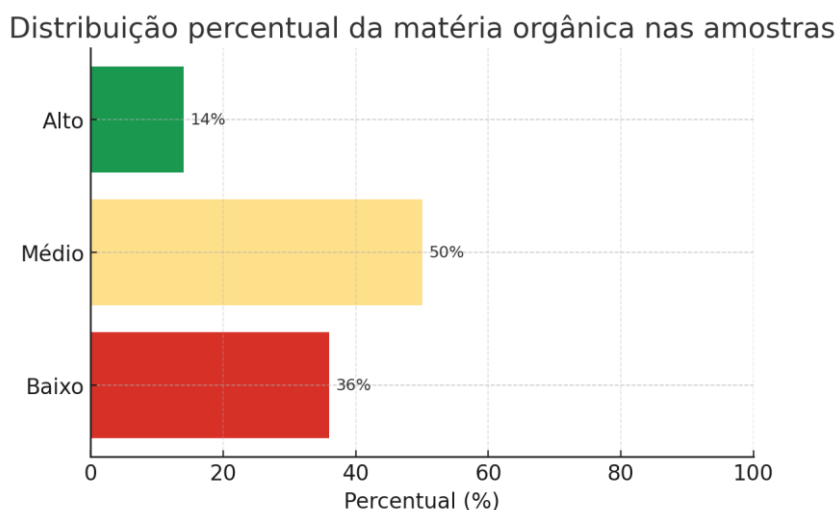
Esse quadro evidencia heterogeneidade acentuada entre áreas, com parcela expressiva de solos em condição limitante para esse nutriente. Em solos tropicais, o P é frequentemente o fator mais limitante por conta da fixação em óxidos de ferro e alumínio, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (MEURER, 2012; RAIJ, 2011). A presença de valores muito baixos nas amostras confirma essa tendência regional, com potenciais implicações sobre o crescimento radicular e a eficiência fotossintética. Por outro lado, a ocorrência de valores elevados em 41% das amostras sugere aportes localizados (fontes orgânicas e/ou minerais) e/ou acúmulo histórico em determinados pontos do sistema (ANDRADE et al., 2022; ALMEIDA et al., 2023).

Do ponto de vista agroecológico, a literatura indica que práticas como adubação verde, compostagem e estímulo à biota solubilizadora (bactérias e fungos) podem elevar gradualmente a disponibilidade de P e mitigar a fixação (CARDOSO et al., 2022; SILVA et al., 2023). Embora não haja informação de manejo para as áreas deste estudo, a leitura dos resultados à luz desses referenciais sugere que estratégias baseadas em ciclagem de biomassa e integração de resíduos tendem a favorecer a estabilidade do P no médio prazo. A alta variabilidade observada reforça a pertinência de monitoramento localizado e de diagnósticos complementares, como frações de P e P-rem (Fósforo remanescente) quando o objetivo for afinar recomendações (OLIVEIRA et al., 2023).

4.2.5 Matéria Orgânica (MO)

Os teores de matéria orgânica variaram de 0,68% a 5,80%, com média de 2,13% e desvio padrão moderado. Das amostras analisadas, 36% apresentaram baixos teores, 50% médios e 14% altos (Figura 5). Isso demonstra que parte expressiva dos solos analisados apresenta estoques médios de carbono orgânico, compatíveis com áreas sob uso agropecuário moderado.

Figura 5 – Distribuição percentual da matéria orgânica



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A matéria orgânica desempenha papel central na fertilidade do solo: aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), melhora a retenção de água, estimula a atividade microbiana e contribui para a liberação gradual de nutrientes (PRIMAVESI, 2002a; GLIESSMAN, 2014).

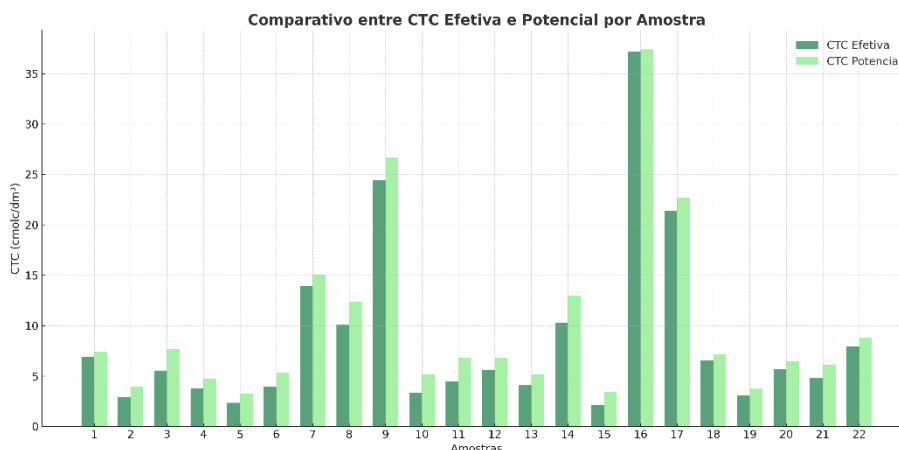
Estudos recentes destacam que práticas agroecológicas, como compostagem, adubação verde e rotação de culturas, elevam significativamente os teores de MO. França (2024) demonstrou aumento de até 40% na matéria orgânica em áreas sob manejo agroecológico consolidado, enquanto Lobo Filho et al. (2022a) verificaram maior estabilidade dos níveis de carbono orgânico total quando há cobertura vegetal contínua.

No presente estudo, embora as informações sobre manejo não estejam disponíveis, a distribuição dos teores de MO sugere diferentes estágios de conservação dos solos, possivelmente associados a variações nas condições locais, uso do solo e práticas adotadas.

4.2.6 Capacidade de Troca Catiônica (CTC): efetiva e potencial

A CTC efetiva variou de 2,10 a 37,18 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com média de 8,95 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; 73% das amostras foram altas e 27% médias (Figura 6). Já a CTC potencial oscilou entre 3,24 e 37,41 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, com média de 9,68 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; 32% baixas, 50% médias e 18% altas.

Figura 6 – Comparativo entre CTC efetiva e CTC potencial por amostra

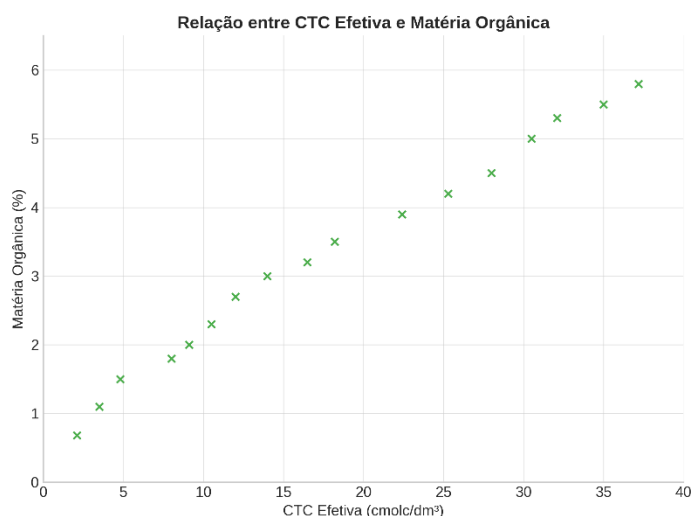


Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O gráfico comparativo mostra que, para a maior parte das amostras, os valores de CTC efetiva e CTC potencial são próximos, o que indica que esses solos já expressam boa parte de sua capacidade máxima de retenção de nutrientes. No entanto, em algumas áreas observa-se uma diferença considerável, com a CTC potencial superando a efetiva, evidenciando espaço para melhorar a ocupação dos sítios de troca catiônica.

- **Relação entre CTC e matéria orgânica (MO)**

Figura 7 – Relação entre CTC efetiva e matéria orgânica

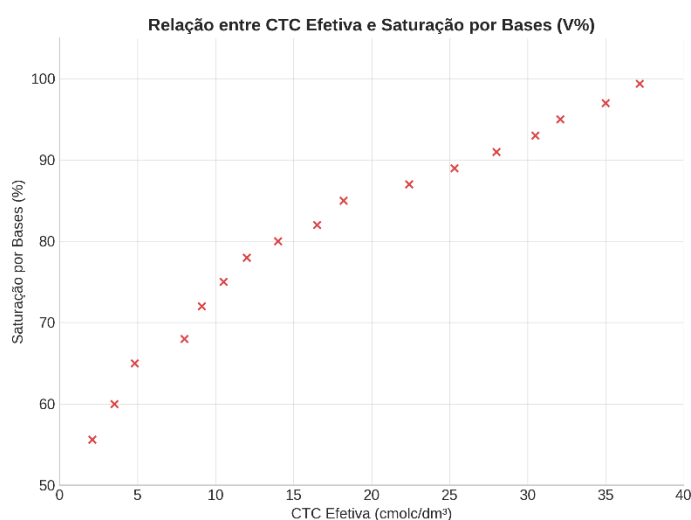


Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A figura 7 revela uma relação direta positiva entre os teores de matéria orgânica e a CTC efetiva: amostras com maior aporte de MO apresentam melhor aproveitamento da capacidade de retenção de nutrientes. Essa tendência confirma o papel central da matéria orgânica na formação de complexos coloidais e no aumento da quantidade de cargas negativas disponíveis no solo (GLIESSMAN, 2016; ALTIERI, 2015).

- **Relação entre CTC e saturação por bases (V%)**

Figura 8 – Relação entre CTC efetiva e saturação por bases (V%)



Fonte: Dados da pesquisa (2025),

A figura 8 revela que as amostras com maiores valores de V% tendem a apresentar CTC efetiva mais elevada. Isso ocorre porque a ocupação dos sítios de troca por cátions básicos — cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) — aumenta a eficiência da CTC, potencializando a disponibilidade desses nutrientes para as plantas (RAIJ et al., 2011; NOVAIS et al., 2016).

A análise integrada entre CTC efetiva, os teores de matéria orgânica (MO) e a saturação por bases (V%), demonstra que as áreas com maior discrepância entre CTC potencial e efetiva são justamente aquelas com menor teor de matéria orgânica e baixa saturação por bases. Essa abordagem evidencia que a capacidade de troca catiônica não é um parâmetro fixo, mas um indicador dinâmico, fortemente influenciado pelo manejo agroecológico adotado.

A literatura sugere que incrementos progressivos de MO por compostagem, adubação verde e consórcios favorecem a elevação da CTC e a retenção de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , com reflexos

positivos na eficiência nutricional (MENDES et al., 2023; ALMEIDA et al., 2023). Dessa forma, a fertilidade pode ser elevada por práticas agroecológicas que aumentem o teor de MO e promovam a reposição equilibrada de cálcio, magnésio e potássio, maximizando o uso da capacidade de troca do solo.

4.2.7 Saturação por bases (V%)

A saturação por bases (V%) apresentou média de 80,32%, variando de 55,59% a 99,37%; 86% das amostras situaram-se em níveis altos e 14% em níveis médios. Em termos agronômicos, trata-se de um quadro favorável, que denota predominância de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) sobre os sítios de troca, coerente com os teores elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} e com a baixa acidez potencial observada (SOBRAL et al., 2015b).

Valores elevados de V% costumam estar associados a melhor disponibilidade de nutrientes e menor presença de Al^{3+} em solução (RAIJ, 2011). Em sistemas sob princípios agroecológicos, a literatura aponta que a reciclagem de biomassa e a manutenção de MO contribuem para sustentar V% alto sem dependência de correções frequentes (PRIMAVESI, 2002a; FERREIRA et al., 2021).

Cabe destacar, porém, que V% elevado não elimina outras limitações — como a baixa disponibilidade de P verificada em 55% das amostras. Assim, a interpretação integrada é essencial: pH adequado + V% alto oferecem base química estável, mas o P permanece como gargalo em parte dos solos, demandando abordagem específica (adubação verde, fontes fosfatadas naturais, solubilizadores) conforme a literatura (CARDOSO et al., 2022; SILVA et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2023). Além disso, em contextos de $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ muito altos, convém atenção ao equilíbrio entre bases, para evitar antagonismos de absorção, especialmente de Mg^{2+} (SOBRAL et al., 2015a; ALMEIDA et al., 2023).

4.2.8 Saturação por alumínio (m%)

A saturação por alumínio apresentou valores variando entre 0 e 8,57%, com média de 1,22%. Todas as amostras (100%) apresentaram níveis baixos. Isso reforça o bom equilíbrio químico dos solos, associado ao pH próximo da neutralidade e aos elevados teores de cálcio e magnésio.

Segundo Rajj (2011) e Meurer (2012), valores de m% inferiores a 30% são desejáveis na maioria das culturas, pois reduzem o risco de toxicidade por Al^{3+} e favorecem a

disponibilidade de fósforo. Em solos tropicais ácidos, esse indicador é crucial para a escolha de práticas corretivas, mas os resultados aqui encontrados mostram um cenário quimicamente estável e favorável ao cultivo agrícola.

Pesquisas recentes, como as de Mendes et al. (2023) e França (2024), demonstram que a adição contínua de matéria orgânica e a cobertura permanente do solo tendem a reduzir a saturação por alumínio, ao promover a complexação do Al^{3+} e a elevação gradual do pH. Os níveis baixos de m% sugerem um quadro sem limitações químicas relevantes para esse parâmetro.

4.2.9 Percentual de sódio trocável (PST)

O percentual de sódio trocável (PST) variou entre 0,23% e 10,91%, com média de 2,92%. A maioria das amostras (86%) apresentou valores baixos, enquanto 14% situaram-se na faixa média e nenhuma amostra indicou níveis altos.

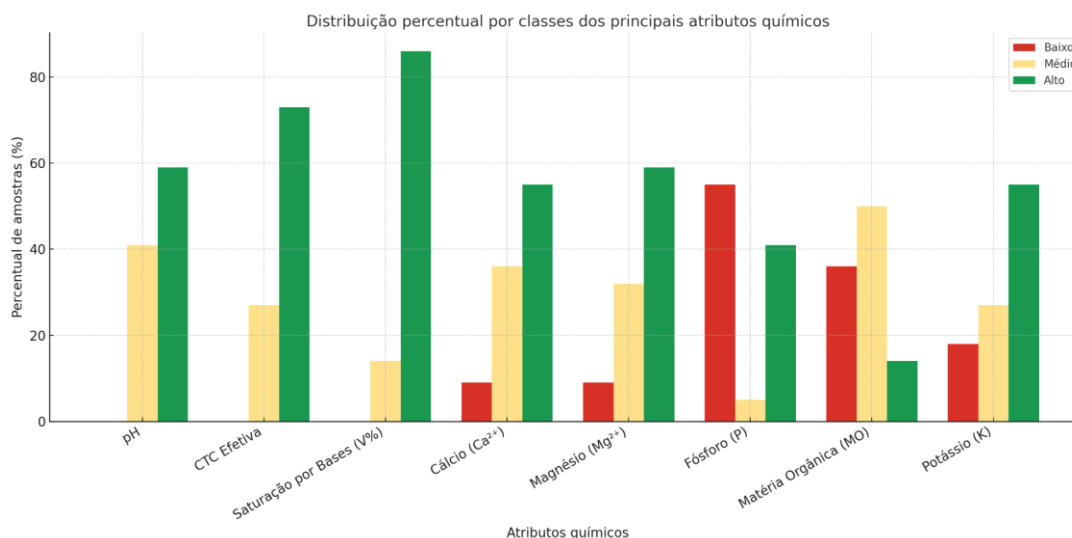
O PST é um indicador importante para avaliar o risco de sodificação do solo. Valores superiores a 15% comprometem a estrutura física, favorecendo a dispersão de argilas e redução da permeabilidade à água (MELO et al., 2020). Os resultados obtidos demonstram que, em geral, não há risco elevado de sodificação nas áreas analisadas.

Contudo, França (2024) ressalta que, em regiões semiáridas, como parte do território sergipano, o uso de irrigação mal manejada pode aumentar progressivamente o PST. Práticas agroecológicas, como a cobertura permanente, o uso de plantas tolerantes à salinidade e a aplicação de compostos orgânicos, podem reduzir esses riscos ao melhorar a estrutura física do solo e aumentar a retenção de cálcio e magnésio, que competem com o sódio pelos sítios de troca.

4.2.10 Síntese geral da fertilidade

A figura 9 permite observar, de forma integrada, a distribuição percentual das amostras de solo analisadas em relação aos principais atributos químicos.

Figura 9 – Distribuição percentual por classes dos principais atributos químicos



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A análise integrada dos indicadores demonstra que as áreas de produção agroecológica analisadas apresentam bom potencial produtivo e condições favoráveis para a manutenção da fertilidade do solo, mas também revelam desafios importantes que reforçam a necessidade de estratégias de manejo adaptadas à realidade de cada unidade produtiva. De maneira geral, observou-se:

- **pH equilibrado**, com 59% das amostras apresentando valores altos, próximos à neutralidade;
- **CTC efetiva elevada** em 73% das amostras, evidenciando alta capacidade de retenção de nutrientes;
- **Saturação por bases (V%)** acima de 70% em 86% das áreas, refletindo uma boa ocupação dos sítios de troca por cálcio, magnésio e potássio;
- **Teores adequados de cátions básicos** — cálcio e magnésio — presentes na maioria das amostras, favorecendo o equilíbrio químico do solo;
- **Baixa disponibilidade de fósforo** em 55% das amostras, representando o principal fator limitante para a produtividade;
- **Teores reduzidos de matéria orgânica** em 36% das áreas, impactando a retenção de nutrientes, a atividade biológica e a estabilidade da estrutura do solo;
- Em menor escala, observa-se **potássio baixo** em 18% das amostras.

Os resultados dialogam com a literatura científica que trata da fertilidade dos solos tropicais (RAIJ, 2011; MEURER, 2012; SOBRAL et al., 2015a) e, ao mesmo tempo, se alinham

com pesquisas recentes que destacam o potencial da Agroecologia para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis (MENDES et al., 2023; FRANÇA, 2024; CARDOSO et al., 2022). Apesar da ausência de informações diretas sobre as práticas de manejo adotadas, a comparação dos resultados com dados da literatura possibilita interpretar os padrões encontrados à luz de processos ecológicos discutidos amplamente pela ciência do solo.

Por outro lado, a elevada variabilidade em parâmetros como fósforo, matéria orgânica e, em menor medida, potássio, sinaliza a necessidade de um monitoramento contínuo e de abordagens adaptadas à realidade de cada área. A análise regionalizada desses atributos pode subsidiar a formulação de estratégias de manejo mais eficientes, potencializando a regeneração da fertilidade e a sustentabilidade dos sistemas agroecológicos no estado.

Por fim, este trabalho fornece uma base sólida para compreender as condições químicas atuais dos solos nas áreas avaliadas e aponta caminhos para o planejamento técnico e científico da gestão da fertilidade do solo. Os resultados reforçam a importância de integrar análises laboratoriais, conhecimento científico e princípios agroecológicos para embasar políticas públicas e práticas de manejo adaptadas aos diferentes territórios de Sergipe.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu compreender a fertilidade dos solos em áreas de produção de base agroecológica no estado de Sergipe, a partir da avaliação de indicadores químicos e da aplicação de estatística descritiva. Os resultados obtidos possibilitaram traçar um diagnóstico detalhado, revelando tanto o potencial produtivo quanto às limitações existentes nas diferentes áreas estudadas.

De forma geral, verificou-se que os solos analisados apresentam condições químicas favoráveis ao desenvolvimento das culturas, com pH próximo à neutralidade, baixa acidez potencial e teores adequados de cálcio, magnésio e potássio em grande parte das amostras, refletindo-se em níveis satisfatórios de saturação por bases. Essas características indicam que muitas das áreas avaliadas possuem bom potencial para sustentar sistemas produtivos mais diversificados e resilientes.

Por outro lado, os resultados evidenciaram também variações expressivas nos teores de fósforo e matéria orgânica, apontando para a necessidade de maior atenção no planejamento do manejo em determinadas localidades. A heterogeneidade encontrada entre as áreas reforça a importância de abordagens adaptadas às condições específicas de cada região, com estratégias que priorizem a reciclagem de nutrientes e o aumento da matéria orgânica no solo.

Os achados deste estudo dialogam com a literatura recente e com evidências de pesquisas conduzidas em diferentes regiões do Brasil, confirmando que a adoção de práticas agroecológicas pode favorecer a melhoria dos atributos químicos e a manutenção da fertilidade dos solos. Além disso, ao sistematizar dados inéditos sobre a realidade sergipana, este trabalho contribui para preencher lacunas existentes no conhecimento científico, oferecendo subsídios técnicos para a formulação de estratégias de manejo sustentável e para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à Agroecologia no Estado.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A.; SANTOS, J. R.; PEREIRA, M. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas agroecológicos no semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 18, n. 2, p. 45-62, 2023.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a base científica da agricultura sustentável**. 7. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

ALTIERI, M. A. **Agroecology: the ecology of sustainable food systems**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

ANDRADE, L. F.; OLIVEIRA, D. S.; MELO, G. A. **Fertilidade do solo e qualidade química em sistemas orgânicos e convencionais de produção**. Scientia Agraria, v. 23, n. 4, p. 157-170, 2022.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica – PNAPO**. Brasília, 2012.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. Brasília: MDA/SAF, 2004.

CAPORAL, F. R.; PETERSEN, P. **Agroecologia e políticas públicas na América Latina: o caso do Brasil**. Revista Agroecologia, n. 6, p. 63–74, 2012.

CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; PEREIRA, A. F. **Microrganismos solubilizadores de fósforo: potencial para a agricultura sustentável**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 17, n. 2, p. 41-58, 2022.

CARVALHO, A. A.; SOUSA, J. R. M. **Solos do Nordeste: vulnerabilidades e potencialidades**. Revista Verde, 2015.

COELHO, L. C. et al. **Análise de atributos químicos do solo sob manejo orgânico em Seropédica-RJ**. Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Research, v. 5, n. 2, p. 77-94, 2024.

COSTA, L. A.; SOUZA, F. M.; BARBOSA, J. R. **Capacidade de troca catiônica em solos tropicais sob diferentes manejos agroecológicos**. Ciência do Solo e Sustentabilidade, v. 1, n. 2, p. 101-115, 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, J. P.; SOUZA, M. A.; LIMA, D. R. **Saturação por bases e dinâmica de cátions em sistemas agroecológicos do Nordeste**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 16, n. 3, p. 75-84, 2021.

FRANÇA, E. S. **Caracterização dos parâmetros físico-químicos de solos de comunidades agroecológicas de Mossoró-RN**. 2024. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2024.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: the ecology of sustainable food systems**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

GLIESSMAN, S. R. **Transforming the food system with agroecology**. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, v. 40, n. 3, p. 187–189, 2016.

HOWARD, A. **Um testamento Agrícola**. Tradução Prof. Eli Lino de Jesus. 2. Ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

IBGE. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos, regiões fitoecológicas e outras áreas**. Série Solos – Mapas temáticos do ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

LIMA, R. S.; SANTOS, E. S.; BARRETO, F. A. **Contribuições da ciclagem de nutrientes em sistemas agroecológicos do semiárido**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, n. 1, p. 1-11, 2022.

LIMA, T. O.; PEREIRA, A. P.; NUNES, H. R. **Fertilidade do solo em áreas de agricultura familiar agroecológica no Nordeste do Brasil**. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 44, n. 2, p. 89-105, 2023.

LOBO FILHO, I. G. et al. **Qualidade química do solo em sistemas de produção agroecológicos**. *Biodiversidade Brasileira*, v. 12, n. 1, p. 65–74, 2022a.

LOBO FILHO, I. G.; MELO, J. F.; ARAÚJO, C. R. **Evolução dos atributos químicos em solos sob manejo agroecológico no semiárido cearense**. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 17, n. 3, p. 89-107, 2022b.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análises de solo**. Viçosa: UFV, 2002.

LUZ, P. H. da; ALTIERI, M. A. **Práticas agroecológicas e manejo da fertilidade**. *Agroecologia Hoje*, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MELO, C. A.; SILVA, A. C.; TORRES, J. P. **Matéria orgânica como indicador de qualidade do solo em agroecossistemas**. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 16, n. 4, p. 25-39, 2021.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012.

- MENDES, P. G. M. et al. **Comparação de atributos de fertilidade do solo em cultivos de alface nos sistemas convencional e agroecológico.** Brazilian Journal of Agroecology and Environmental Research, v. 4, n. 1, p. 1–14, 2023.
- MENDES, R. F.; ARAÚJO, A. P.; SANTOS, A. C. **Efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre a fertilidade química do solo.** Scientia Agricola, v. 80, p. 1-12, 2023.
- MOURA, F. L.; OLIVEIRA, G. A.; SANTANA, M. R. **Manejo da fertilidade e salinidade em sistemas agroecológicos irrigados.** Agroecology International Journal, v. 5, n. 1, p. 15-27, 2024.
- NASCIMENTO, C. A. C. et al. **Adubação verde e qualidade do solo em sistemas agroecológicos.** Revista Brasileira de Agroecologia, v. 6, n. 3, p. 23–31, 2011.
- NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: SBCS, 2007.
- NUNES, E. A. et al. **Agroecologia e políticas públicas: experiências em Sergipe.** Brazilian Journal of Agroecology and Environmental Research, v. 4, n. 1, 2024.
- OLIVEIRA, I. A. de et al. **Indicadores de fertilidade de solos sob manejo agroecológico no Semiárido.** Ciência Agronômica, 2019.
- OLIVEIRA, P. H.; BARBOSA, A. D.; SOARES, F. C. **Potencial da CTC em sistemas orgânicos e agroecológicos: implicações para a sustentabilidade.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 47, e023009, 2023.
- PETERSEN, P.; CAPORAL, F. R. **Construção do conhecimento agroecológico no Brasil: avanços a partir da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural.** Revista Agriculturas, v. 10, n. 1, 2013.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** 21. ed. São Paulo: Nobel, 2002a.
- PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo.** 21. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2002b.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: Instituto Internacional de Nutrição de Plantas (IPNI), 2011.
- RODRIGUES, J. A.; FREITAS, M. E.; CASTRO, L. F. **Dinâmica do cálcio e magnésio em solos manejados sob princípios agroecológicos.** Revista Solo e Sustentabilidade, v. 3, n. 1, p. 44-58, 2023.
- SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SEAGRI-SE. **Plano Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica de Sergipe (PLANAPO-SE).** Aracaju: SEAGRI, 2021.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **ASSISTAT: Software estatístico de análise de dados para agricultura**. Campina Grande: UFCG, 2009.

SILVA, P. A.; ANDRADE, L. A.; GOMES, R. A. **Eficiência de microrganismos solubilizadores de fósforo em sistemas agroecológicos**. Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, v. 19, n. 3, p. 54-67, 2023.

SOBRAL, L. F.; VIEGAS, P. R. A. V.; SIQUEIRA, O. J. W.; et al. (org.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 249 p.

SOBRAL, L. F.; SOUZA, A. P.; CAVALCANTE, L. F. **Dinâmica da fertilidade do solo no semiárido brasileiro: aspectos químicos e recomendações de manejo**. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 11, n. 2, p. 77-91, 2015a.

SOBRAL, L. F.; et al. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015b.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília – DF: 2017.

APÊNDICE A – Localização das 22 áreas analisadas

Tabela A1 – Localização das 22 áreas analisadas

Classificação da amostra	Localização
1	Nossa Senhora do Socorro
2	Nossa Senhora do Socorro
3	Indiaroba
4	Indiaroba
5	Indiaroba
6	Nossa Senhora do Socorro
7	Malhador
8	Malhador
9	São Cristóvão
10	São Cristóvão
11	São Cristóvão
12	Estância
13	Lagarto
14	São Cristóvão
15	São Cristóvão
16	São Cristóvão
17	São Cristóvão
18	São Cristóvão
19	São Cristóvão
20	São Cristóvão
21	São Cristóvão
22	São Cristóvão

Fonte: Dados da pesquisa (2025). PROFOR -EXT (Programa de Formação em ATER).

APÊNDICE B – Valores individuais dos atributos químicos das 22 amostras de solo

Tabela B1 – Resultado de pH, cálcio+magnésio, cálcio, magnésio e a relação cálcio:magnésio.

Classificação da amostra	pH	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ :Mg ²⁺
-----	-----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----			-----
1	6,26	6,50	5,65	0,85	6,65
2	6,05	2,59	2,36	0,23	10,26
3	6,41	5,21	3,87	1,34	2,89
4	6,42	3,53	2,64	0,89	2,97
5	6,12	2,19	1,47	0,72	2,04
6	5,92	3,46	2,89	0,57	5,07
7	6,64	13,01	9,10	3,91	2,33
8	6,00	9,27	4,58	4,69	0,98
9	6,02	24,09	21,56	2,53	8,52
10	5,69	2,98	2,08	0,90	2,31
11	5,55	4,12	2,97	1,15	2,58
12	5,87	5,27	3,38	1,89	1,79
13	6,75	3,77	2,78	0,99	2,81
14	5,60	10,03	8,43	1,60	5,27
15	5,54	1,86	1,58	0,28	5,64
16	7,19	36,84	35,19	1,65	21,33
17	5,94	21,07	17,72	3,35	5,29
18	6,68	5,44	4,21	1,23	3,42
19	6,68	2,69	1,75	0,94	1,86
20	6,58	5,07	3,72	1,35	2,76
21	5,71	4,29	2,90	1,39	2,09
22	6,23	7,20	5,04	2,16	2,33

Fonte: Dados da pesquisa (2025). PROFOR -EXT (Programa de Formação em ATER).

Tabela B2 – Resultado de alumínio, acidez potencial, fósforo disponível, matéria orgânica, potássio e sódio trocáveis.

Classificação da	Al ³⁺	H+Al	M.O.	P	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺	K ⁺
-----	-cmol _c .dm ⁻³ -		%	-----	- cmol _c .dm ⁻³ -		-mg.dm ⁻³ -	
1	0,06	0,62	1,78	2,86	0,16	0,15	36,20	59,10

2	0,08	1,16	2,52	2,50	0,12	0,12	27,00	48,80
3	0,05	2,16	3,95	6,43	0,09	0,20	20,30	80,00
4	0,05	1,01	1,65	18,21	0,10	0,12	23,60	46,95
5	0,05	0,94	1,34	31,07	0,07	0,04	15,75	17,00
6	0,10	1,49	1,46	3,93	0,26	0,15	59,30	57,10
7	0,00	1,09	2,59	51,79	0,16	0,79	35,95	310,60
8	0,22	2,49	2,34	0,71	0,23	0,36	51,80	140,70
9	0,00	2,26	5,80	1,96	0,20	0,16	36,00	80,00
10	0,00	1,78	2,41	3,66	0,35	0,05	10,90	138,00
11	0,00	2,31	3,29	3,66	0,30	0,06	13,60	118,00
12	0,00	1,16	2,14	17,93	0,20	0,17	45,30	64,60
13	0,00	1,09	1,40	230,00	0,17	0,15	39,20	57,80
14	0,05	2,72	1,26	1,96	0,06	0,17	14,70	65,90
15	0,18	1,53	2,04	5,86	0,01	0,05	1,90	19,90
16	0,00	0,24	0,96	5,86	0,09	0,25	19,80	97,90
17	0,03	1,32	2,43	1,47	0,11	0,19	25,80	74,90
18	0,02	0,62	1,81	146,37	0,78	0,32	179,70	126,39
19	0,02	0,68	1,24	10,20	0,30	0,06	69,83	23,18
20	0,06	0,87	0,68	27,81	0,43	0,10	98,70	38,71
21	0,11	1,49	1,47	49,82	0,33	0,06	75,42	23,18
22	0,05	0,94	2,38	50,55	0,46	0,23	105,21	89,85

Fonte: Dados da pesquisa (2025). PROFOR -EXT (Programa de Formação em ATER).

Tabela B3 – Resultado de soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e potencial (T) e saturações por base (V%), alumínio (m%) e sódio (PST).

Classificação da amostra	SB	t	T	V	m	PST
-----	----- ⁻³ ----- -----cmol .dm-----			-----%-----		
1	6,81	6,87	7,43	91,65	0,87	2,12
2	2,83	2,91	3,99	70,94	2,75	2,94
3	5,50	5,55	7,66	71,81	0,90	1,15
4	3,75	3,80	4,76	78,79	1,31	2,15
5	2,30	2,35	3,24	71,01	2,13	2,11
6	3,86	3,96	5,35	72,17	2,52	4,82
7	13,96	13,96	15,05	92,76	0,00	1,04
8	9,86	10,08	12,35	79,83	2,18	1,82
9	24,45	26,71	24,45	91,55	0,00	0,59

10	3,38	5,16	3,38	65,49	0,00	0,92
11	4,48	6,79	4,48	65,95	0,00	0,87
12	5,63	5,63	6,79	82,90	0,00	2,90
13	4,09	4,09	5,18	79,00	0,00	3,29
14	10,26	10,31	12,98	79,08	0,48	0,49
15	1,92	2,10	3,45	55,59	8,57	0,24
16	37,18	37,18	37,41	99,37	0,00	0,23
17	21,37	21,40	22,70	94,17	0,14	0,49
18	6,54	6,56	7,16	91,35	0,30	10,91
19	3,05	3,07	3,73	81,78	0,65	8,13
20	5,60	5,66	6,47	86,55	1,06	6,63
21	4,68	4,79	6,17	75,84	2,30	5,32
22	7,89	37,18	37,41	99,37	8,57	10,91

Fonte: Dados da pesquisa (2025). PROFOR -EXT (Programa de Formação em ATER).