



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS CURSO
DE AGRONOMIA

MARCOS FERNANDO SIQUEIRA SARAIVA

**MANEJOS AGRONÔMICOS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DO
SOLO**

MOSSORÓ

2025

MARCOS FERNANDO SIQUEIRA SARAIVA

**MANEJOS AGRONÔMICOS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DO
SOLO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. André Moreira de Oliveira.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S243m Saraiva, Marcos.

MANEJOS AGRONÔMICOS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DO SOLO / Marcos Saraiva. - 2025.

57 f. : il.

Orientador: André Oliveira. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2025.

1. Fertilidade do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Salinização. 4. Agricultura preservada. 5. Sistemas de cultivo. I. Oliveira, André Moreira de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a). Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARCOS FERNANDO SIQUEIRA SARAIVA

MANEJOS AGRONÔMICOS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DO SOLO

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Defendida em: 11/ 12 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE MOREIRA DE OLIVEIRA**
Data: 19/12/2025 15:48:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Moreira de Oliveira (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **EDNA LUCIA DA ROCHA LINHARES**
Data: 18/12/2025 14:31:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edna Lúcia da Rocha Linhares (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **MERCIA BESSA NOBREGA DE SOUZA**
Data: 19/12/2025 15:25:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engº Agrônomo Mércia Nóbrega Bessa (UFERSA)
Membro Examinador

*Aos meus avós maternos, Fernando
Gomes Siqueira e Sebastiana de Melo
Ximenes.*

*Aos meus avós paternos, José Maria
Coelho Saraiva e Maria de Fátima
(In Memoriam).*

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Marcos José de Castro Saraiva, Maria Arizete de Melo Siqueira*

AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar este tópico sem primeiro mencionar as pessoas mais importantes da minha vida, meu pai, Marcos José de Castro Saraiva, e minha mãe, Maria Arizete de Melo Siqueira. Além de me darem o dom da vida, vocês são as razões pelas quais continuo lutando para vencer nela. Mesmo nos momentos mais difíceis, quando nem eu mesmo acreditava em minha capacidade, quando me sabotava e duvidava de tudo, vocês continuaram a me apoiar, acreditar e me guiar como uma luz através dos caminhos mais escuros. Sem dúvida alguma, essa conquista é dedicada inteiramente a vocês.

Agradeço também aos meus irmãos Fernando e José. Fico muito orgulhoso de ser o irmão mais velho de vocês. Abrir caminhos, ver vocês crescendo, alcançando seus objetivos e, mais importante de tudo, se tornando felizes é um privilégio indescritível.

Agradeço à minha cunhada Geovanna, que considero como uma irmã, por todo o companheirismo nos últimos anos, e ao meu primo Humberto por partilhar dos mesmos interesses agronômicos que eu, o que indiretamente me fez criar mais interesse e buscar mais conhecimento na área.

Agradeço ao meu orientador André Moreira de Oliveira por ter me aceitado como seu orientado e, obviamente, por ter me guiado nestes últimos meses com seu grande conhecimento.

Agradeço a Banca Examinadora por também terem aceitado participar desta importante etapa da minha vida.

Agradeço ao meu amigo Otacílio por ter sido uma boa amizade durante todos estes longos anos de ufersa e também ao amigo Cleiton por ter me ajudado no período do estágio e pelas boas conversas nestes estressantes períodos finais de curso.

Por fim, gostaria de agradecer de maneira geral a todos aqueles que passaram pelo meu caminho, principalmente professores e colegas de curso que de certa forma contribuíram para que este dia fosse possível.

*"Você tem que estar preparado
para se queimar em sua própria chama:
como você poderia renascer se não se
tornasse cinzas primeiro?"*

Friedrich Nietzsche

RESUMO

A qualidade do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola, especialmente no semiárido. Este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejo, sendo eles: mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em sistema convencional, milho (*Zea mays*) em plantio direto, pitaya (*Selenicereus undatus*) com adubação química, orgânica, e irrigação por gotejamento, banana (*Musa spp*) com adubação química e microaspersão, eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) em consórcio com gramíneas em sequeiro, além de uma área de mata preservada para servir como testemunha de solo preservado. O estudo foi conduzido no campus da UFERSA em Mossoró-RN, onde foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm. As análises laboratoriais incluíram pH, condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e capacidade de troca catiônica (CTC). Os resultados revelaram contrastes significativos. O cultivo da pitaya se destacou como o sistema mais sustentável, apresentando teores de MO (11,50 g/kg) e CTC (5,10 cmolc/dm³) mais altos do estudo e sem indícios de salinização (CE=0,11 dS/m), equiparando-se à área de mata. Em oposição, os sistemas da banana e do milho apresentaram os piores indicadores, com baixa CTC (2,33 e 2,10 cmolc/dm³, respectivamente), baixa MO e alta CE (0,94 e 0,83 dS/m), alertando para processos de degradação e salinização. A mandioca mostrou acúmulo de P (99,5 mg/kg) e Na^+ (93,0 mg/dm³), enquanto o eucalipto demonstrou resiliência, mantendo fertilidade intermediária mesmo sem adubação. Conclui-se que o manejo integrado (orgânico e mineral) com irrigação localizada (pitaya) é a estratégia mais promissora, enquanto sistemas intensivos com irrigação inadequada (banana, milho) podem comprometer a qualidade do solo a médio prazo no semiárido.

Palavras-chave: Fertilidade do Solo. Manejo Sustentável. Salinização. Matéria Orgânica. Agricultura no Semiárido. sistemas de cultivo. Milho. Pitaya. Banana. Mandioca. Eucalipto. Mata preservada.

ABSTRACT

Soil quality is fundamental for agricultural sustainability, especially in semi-arid regions. This study aimed to evaluate the chemical attributes of soil under different management systems: cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under conventional tillage, maize (*Zea mays*) under no-till, dragon fruit (*Selenicereus undatus*) with chemical and organic fertilization under drip irrigation, banana (*Musa* spp) with chemical fertilization under micro-sprinkler irrigation, eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) intercropped with rainfed grasses, and a preserved native forest area as a control for undisturbed soil. The study was conducted at the UFERSA campus in Mossoró-RN, where soil samples were collected from the 0-20 cm layer. Laboratory analyses included pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), and cation exchange capacity (CEC). The results revealed significant contrasts. The dragon fruit system stood out as the most sustainable, showing the highest OM content (11.50 g/kg) and CEC (5.10 cmolc/dm³) of the study, with no signs of salinization (EC=0.11 dS/m), comparable to the native forest area. In contrast, the banana and maize systems showed the worst indicators, with low CEC (2.33 and 2.10 cmolc/dm³, respectively), low OM, and high EC (0.94 and 0.83 dS/m), signaling degradation and salinization processes. Cassava cultivation showed accumulation of P (99.5 mg/kg) and Na^+ (93.0 mg/dm³), while eucalyptus demonstrated resilience, maintaining intermediate fertility even without fertilization. It is concluded that integrated management (organic and mineral) with localized irrigation (dragon fruit) is the most promising strategy, whereas intensive systems with inadequate irrigation (banana, maize) may compromise soil quality in the medium term in semi-arid regions.

Keywords: Soil Fertility. Sustainable Management. Salinization. Organic Matter. Agriculture in the Semi-Arid.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Características principais dos sistemas de manejo e culturas em
estudo..... 23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Locais do experimento.....	26
Figura 2: Retirada de amostra nas bananeiras	27
Figura 3: Retirada de amostras nas pitayas	28
Figura 4: Retirada de amostras do milho	29
Figura 5: Retirada de amostras do eucalipto	30
Figura 6: Retirada de amostras da área da mandioca	31
Figura 7: Retirada de amostras da área de mata	32
Figura 8: Amostras após processo de peneiração.....	33
Figura 9: Amostras em peneira de malha 2,0 mm	33
Figura 10: Medição do pH em phometro.....	34
Figura 11: Medição de condutividade elétrica por condutímetro.....	34
Figura 12: Aquecimento das amostras em bloco digestor.....	35
Figura 13: Amostras preparadas.....	35
Figura 14: Método por Mehlich.....	36
Figura 15: Método por Mehlich.....	36
Figura 16: Amostras para averigação de potássio.....	37
Figura 17: Método por Mehlich.....	37
Figura 18: Resultado das análises de solo da área da Mandioca.....	38
Figura 19: Resultado das análises de solo da área da Banana	38
Figura 20: Resultado das análises de solo da área da Pitaya.....	39
Figura 21: Resultado das análises de solo da área da Milho.....	40
Figura 22: Resultado das análises de solo da área do Eucalipto.....	41
Figura 23: Resultado das análises de solo da área da Mata.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Média de teor de matéria orgânica de cada área.	44
Gráfico 2: Média do potencial hidrogenioco de cada área.....	44
Gráfico 3: Média de teor de condutividade elétrica de cada área.	45
Gráfico 4: Média de teor de fósforo) de cada área.	45
Gráfico 5: Média de teor de sódio de cada área.	46
Gráfico 6: Média de teor de potássio de cada área.	47
Gráfico 7: Média de teor de magnésio de cada área.....	47
Gráfico 8: Média de teor de cálcio de cada área.....	48
Gráfico 9: Média de teor de saturação por bases de cada área.....	48
Gráfico 10: Média de teor de capacidade de troca de cátions de cada área.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Apresenta a quantificação estatística de teor de matéria orgânica (MO), pH e acidez potencial (H+Al) do solo sob diferentes sistemas de manejo.	49
Tabela 2. Apresenta a quantificação estatística dos teores de fósforo, potássio e sódio em diferentes sistemas de manejo do solo.	50
Tabela 3. Apresenta a quantificação estatística dos Cátions trocáveis, capacidade de troca catiônica (CTC) e condutividade elétrica (CE) em diferentes sistemas de manejo do solo. .	51
Tabela 4. Apresenta a quantificação estatística dos teores de condutividade elétrica (CE dS/m) e do Percentual de fósforo trocável (PST %) em diferentes sistemas de manejo do solo.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO GERAL.....	19
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1 A Importância da Qualidade do Solo para a Agricultura.....	20
3.2 Sistemas de Manejo do Solo: Do Convencional ao Plantio Direto.....	20
3.3 Os Impactos Diretos da Agricultura no Meio Ambiente.....	21
3.4. O quadro 1 mostra as principais características dos manejos agronômicos das culturas analisadas neste estudo.	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Caracterização da Área de Estudo e Período Experimental	26
4.2. Descrição dos Tratamentos e características das áreas de Coleta	27
4.2.1. Bananeira (<i>Musa spp</i>)	27
4.2.2. Pitaya (<i>Selenicereus undatus</i>).....	28
4.2.3. Milho (<i>Zea mays</i>)	28
4.2.4. Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	29
4.2.5. Mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).....	30
4.2.6. Área de mata (Testemunha).....	31
4.3. Materiais e Procedimentos de Coleta	32
4.4. Análises Laboratoriais.....	32
4.4.1. Preparo Prévio das Amostra	33
4.4.2. Determinação do pH e Condutividade Elétrica (CE)	33
4.4.3. Determinação da Matéria Orgânica (MO).....	34
4.4.4. Determinação do Teor de Fósforo (P)	35
4.4.5. Determinação dos Teores de Potássio (K⁺) e Sódio (Na⁺).....	36
4.4.6. Determinação dos Teores de Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺)	36

4.4.7. Cálculo da CTC e Saturação por Bases	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1. Área da Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	38
5.2. Área da Banana (<i>Musa spp.</i>)	39
5.3. Área da Pitaya (<i>Selenicereus undatus</i>)	40
5.4. Área do Milho (<i>Zea mays</i>).....	41
5.5. Área do Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>).....	42
5.6. Área de Mata residual (Testemunha).....	43
5.7. Os gráficos de 1 a 10 mostram as comparações dos parâmetros de cada área e as referencias.....	44
5.8. As Tabelas 1 a 4 sumarizam os resultados da análise de variância (ANOVA) e do teste de comparação de médias de Tukey (a 5% de probabilidade.....	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7 REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é universalmente reconhecida como o fundamento para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, influenciando diretamente a produtividade das culturas, a resiliência ambiental e a segurança alimentar global. Esta qualidade é definida como a capacidade do solo de funcionar como um sistema vivo vital, dentro dos ecossistemas e fronteiras de uso da terra, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas e dos animais (Doran; Parkin, 1994).

No contexto da agricultura brasileira, onde o agronegócio desempenha um papel crucial na economia, a adoção de manejos que preservem ou melhorem essa qualidade deixa de ser uma opção e transforma-se em uma necessidade imperativa. A degradação do solo, impulsionada por práticas agrícolas intensivas e inadequadas, constitui uma ameaça significativa à capacidade produtiva das terras. Processos como a compactação, a erosão e a perda de matéria orgânica são frequentemente observados em sistemas de cultivo convencional. Um estudo elucidativo conduzido por Bono, Macedo e Tormena (2013) demonstrou claramente que um Latossolo Vermelho sob plantio direto apresentou menor densidade e maior porosidade total quando comparado ao mesmo solo sob cultivo convencional. Os autores afirmam que "os resultados indicam que o plantio direto, por promover maior cobertura e menor revolvimento do solo, contribui para a manutenção de uma estrutura física mais estável e favorável ao desenvolvimento radicular" (Bono; Macedo; Tormena, 2013, p. 10). Este exemplo evidencia como a escolha do manejo pode ser decisiva na prevenção da degradação física, um dos primeiros estágios do declínio da qualidade do solo. Para além dos atributos físicos, a dimensão química do solo, particularmente o teor de matéria orgânica e a dinâmica de nutrientes, é profundamente afetada pelo manejo adotado. A matéria orgânica exerce um papel fundamental para o seu funcionamento. É ela que interliga e beneficia diretamente as características físicas, químicas e biológicas da terra. No sistema convencional, o revolvimento frequente do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, o que pode liberar nutrientes de forma mais rápida para as plantas em curto prazo. No entanto, essa dinâmica intensa também pode levar à perda de carbono para a atmosfera e à redução da estabilidade

dos agregados do solo ao longo do tempo. Por outro lado, sistemas como a integração lavoura-pecuária no plantio direto já demonstraram ser possível elevar os estoques de carbono em até 30% se comparados aos métodos convencionais que utilizam a queima dos resíduos. Esses achados são fundamentais porque mostram que o carbono orgânico vai muito além de ser uma simples reserva de nutrientes; ele atua como uma cola natural, essencial para a formação de torrões estáveis e para uma boa estrutura do solo.

A comunidade biológica edáfica, composta por uma vasta gama de organismos que vão desde a macrofauna até os microrganismos, é um componente sensível e vital para o funcionamento do solo, atuando na ciclagem de nutrientes, na decomposição de resíduos e na supressão de patógenos. A avaliação da fauna do solo tem se mostrado uma ferramenta eficaz para diagnosticar a qualidade dos manejos empregados.

Os impactos dos diferentes manejos são complexos e variam conforme as condições locais. Diante deste cenário, torna-se fundamental investigar, de forma concreta e localizada, como os diferentes sistemas de produção estão impactando a qualidade do solo. Este trabalho se justifica, portanto, pela necessidade de diagnosticar e comparar o estado atual dos atributos chave do solo em sistemas agrícolas contrastantes na região de Mossoró-RN, identificando os manejos que de fato promovem a sustentabilidade e aqueles que podem estar conduzindo à degradação desse recurso não renovável.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo agrícola (direto, convencional e consorciado) e uma área testemunha (mata preservada) no período seco em Mossoró, RN. As culturas avaliadas são: mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em sistema convencional, milho (*Zea mays*) em plantio direto, pitaya (*Selenicereus undatus*), banana (*Musa spp.*) e eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) consorciado com gramíneas do gênero *Panicum*.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os parâmetros químicos (teor de matéria orgânica, pH, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica e teores de macronutrientes) nos diferentes sistemas de manejo estudados;
- Comparar o desempenho dos sistemas agrícolas com a área de mata preservada e sinalizar quais manejos apresentam risco de degradação do solo;
- Propor recomendações para manejo sustentável nas condições do semiárido.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Importância da Qualidade do Solo para a Agricultura

A degradação do solo representa um dos maiores desafios para a sustentabilidade da agricultura moderna, consistindo em um processo de declínio da qualidade do solo que pode ser de natureza física, química ou biológica, resultante de fatores antrópicos ou naturais, e que leva à redução parcial ou total de sua capacidade produtiva (Bertol; Almeida, 2000). A manutenção da qualidade do solo é, portanto, fundamental para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, a avaliação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo torna-se uma ferramenta indispensável para o manejo adequado e a conservação desse recurso não renovável (Doran; Parkin, 1994).

3.2 Sistemas de Manejo do Solo: Do Convencional ao Plantio Direto.

A evolução do preparo do solo levou ao desenvolvimento de diferentes sistemas de manejo, que variam desde o intensivo revolvimento do solo até a sua não-perturbação. O sistema de plantio convencional, caracterizado por operações de aração e gradagem para a preparação do leito de semeadura, foi dominante por décadas. No entanto, este sistema frequentemente expõe o solo à ação direta das intempéries, deixando-o desprotegido e vulnerável aos processos erosivos e à degradação de sua estrutura (Doran; Parkin, 1994). Como alternativa, o Sistema Plantio Direto surgiu como uma tecnologia revolucionária, baseando-se em três preceitos fundamentais: o não revolvimento do solo (exceto no sulco de semeadura), a manutenção permanente da cobertura do solo com palhada de culturas anteriores e a rotação de culturas. Bayer et al. (2003) demonstram que "a adoção do SPD promove uma melhoria significativa na qualidade física e biológica do solo, com incrementos nos teores de matéria orgânica, na estabilidade de agregados e na diversidade da macrofauna edáfica" (BAYER et al., 2003, p. 212). A palhada na superfície atua como um amortecedor do impacto da chuva, enquanto o sistema radicular diversificado das culturas em rotação descompacta o solo e recicla nutrientes em profundidade. D'Andréa et al. (2002) complementam ao afirmar que "o sucesso do SPD depende de um manejo integrado e da correta rotação de culturas, quebrando ciclos de pragas e doenças e garantindo a produção de palha em quantidade e qualidade suficientes para a cobertura do solo" (D'ANDRÉA et al., 2002, p. 80). Portanto, o SPD vai muito

além de uma simples técnica de plantio; é um sistema complexo que exige conhecimento e manejo para atingir todo o seu potencial de conservação e produtividade.

3.3 Os Impactos Diretos da Agricultura no Meio Ambiente

A atividade agrícola, embora essencial para a subsistência humana, constitui uma das forças antrópicas de maior magnitude na modificação dos ecossistemas naturais, gerando uma série de impactos diretos e indiretos sobre o meio ambiente e, em particular, sobre o recurso solo. Estes impactos são inerentes ao processo de domesticação dos agroecossistemas, mas sua intensidade é drasticamente amplificada ou atenuada pelo tipo de manejo adotado. Conforme salientam Bertol e Almeida (2000), "a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas implica, necessariamente, em uma simplificação da estrutura e do funcionamento do ecossistema original, tornando-o mais vulnerável aos processos degradativos" .

Nesse contexto, a agricultura convencional de alto extrativismo, baseada no monocultivo, no revolvimento intensivo do solo, no uso inadequado da irrigação e nas queimadas, tem se mostrado um modelo gerador de significativas externalidades negativas. Um dos impactos mais visíveis e imediatos é a aceleração dos processos erosivos. Em condições naturais, a cobertura vegetal permanente protege o solo do impacto direto da chuva e o complexo sistema radicular mantém a estrutura porosa, favorecendo a infiltração. A remoção dessa vegetação para o estabelecimento de cultivos anuais, especialmente quando associada a práticas de preparo do solo como a aração e a gradagem, deixa a superfície do solo exposta e extremamente vulnerável. Neves et al. (2005) quantificam essa relação ao afirmarem que "as perdas de solo e água em lavouras anuais sob cultivo convencional podem ser de dezenas a centenas de vezes superiores às toleradas, especialmente em solos de textura mais arenosa e sob condições climáticas tropicais com chuvas de alta energia" . Este processo não resulta apenas na perda de um dos recursos naturais não renováveis mais importantes, o solo fértil, mas também é o principal vetor de contaminação difusa dos recursos hídricos. O transporte de sedimentos carregados consigo nutrientes (como fósforo e nitrogênio) e moléculas de agrotóxicos adsorvidas às partículas, culminando em processos de eutrofização e toxicidade aquática. Giglioti (2010) adverte que "o escoamento superficial de áreas agrícolas intensivamente manejadas é a principal

fonte não pontual de poluição de rios e reservatórios, sendo de difícil controle e monitoramento" .

Paralelamente à erosão, a irrigação mal manejada emerge como uma das principais causas de degradação química do solo em regiões áridas e semiáridas, através do processo de salinização. Este fenômeno ocorre quando a água de irrigação, muitas vezes contendo sais dissolvidos, é aplicada em excesso ou sem um sistema adequado de drenagem. A evaporação da água no solo deixa para trás os sais, que se acumulam progressivamente na zona radicular, tornando o ambiente hostil para a maioria das culturas. Carvalho et al. (2020) demonstram este efeito de forma contundente: "o aumento nas concentrações de sal na água de irrigação afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento do girassol cultivar SYN045", reduzindo significativamente a altura do caule e a taxa de crescimento absoluta . Este problema é particularmente agudo no Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica frequentemente leva ao uso de águas com elevada condutividade elétrica. Em estudos de salinização em ambiente protegido, Silva (2016) constatou que "a aplicação excessiva de adubos via fertirrigação eleva o risco de salinização dos solos", exigindo posteriormente complexos e dispendiosos processos de lavagem (lixiviação) para recuperação do perfil salinizado . A salinização não apenas suprime o crescimento das plantas, como também degrada a estrutura do solo e reduz ainda mais a atividade microbiana, iniciando um ciclo vicioso de degradação.

De forma igualmente impactante, a prática das queimadas persiste como um método de "baixo custo" para limpeza de áreas e "preparo" do solo, apesar de seus efeitos largamente devastadores. Utilizadas para eliminar restos culturais, controlar pragas ou abrir novas áreas, as queimadas, sejam controladas ou não, geram consequências de longo alcance. Do ponto de vista físico, o calor intenso destrói a matéria orgânica do solo, que é o cimento principal dos agregados estáveis. Consequentemente, o solo torna-se mais suscetível à compactação e à erosão. Do ponto de vista químico, há uma perda imediata de nutrientes voláteis, como o nitrogênio e o enxofre, que são vaporizados pelo calor. Apesar da crença popular de que as cinzas fertilizam o solo, seu efeito é fugaz e incapaz de repor a complexidade da matéria orgânica perdida. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) monitora constantemente este problema, tendo registrado "mais de 318 mil km² de área destruída pelo fogo em 2019" no Brasil, uma área equivalente à soma dos

estados do Rio de Janeiro e São Paulo . O impacto na biodiversidade é catastrófico, com a destruição de habitats e a morte de incontáveis espécies da fauna e da microbiota do solo, organismos essenciais para processos como a decomposição e a ciclagem de nutrientes. Para além dos danos locais ao solo, a conjunção dessas práticas – revolvimento do solo, irrigação mal planejada e queimadas – contribui significativamente para as mudanças climáticas globais.

A queima da biomassa libera enormes quantidades de CO₂ e outros gases de efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso, para a atmosfera. Adicionalmente, solos degradados e descobertos perdem sua capacidade de atuar como sumidouros de carbono, liberando o carbono orgânico previamente armazenado. Bayer et al. (2003) já haviam alertado que "solos originalmente sob Cerrado e convertidos para o cultivo convencional de grãos podem perder mais de 30% de seus estoques originais de carbono orgânico nas primeiras décadas de uso". A emissão por queimadas e perda por degradação posiciona a agricultura não sustentável como uma das principais contribuintes para o aquecimento global, criando um perigoso ciclo de retroalimentação onde as mudanças climáticas provocam eventos climáticos extremos (secas, chuvas torrenciais) que, por sua vez, exacerbam ainda mais a degradação do solo . Em contrapartida, a adoção de sistemas de base ecológica, como o Sistema Plantio Direto bem conduzido, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o manejo adequado da irrigação e a substituição das queimadas por outras formas de manejo de resíduos, apresenta-se como um caminho viável para mitigar esses impactos. Esses sistemas buscam imitar os processos naturais, fechando ciclos de nutrientes, mantendo o solo permanentemente coberto e aumentando a diversidade biológica, demonstrando que é possível conciliar produção agrícola com a conservação ambiental e a manutenção da qualidade do solo a longo prazo.

3.4. O quadro 1 mostra as principais características dos manejos agronômicos das culturas analisadas neste estudo.

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS SISTEMAS DE MANEJO E CULTURAS EM ESTUDO

Cultura	Características Principais do Manejo e da Planta
Mandioca <i>(Manihot sacculenta crantz)</i>	Por sistema convencional: Preparo intensivo (aração+ gradagem). Ciclo longo (10-24 meses). Alta demanda por K e N. Sistema radicular fasciculado (tuberosas nos primeiros 40 cm). Colheita por arranquio, causando grande perturbação do solo. Irrigação suplementar pode mais que dobrar a produtividade.
Milho <i>(Zea mays)</i>	Por plantio direto: Sem revolvimento do solo (apenas sulco de plantio). Ciclo curto (90-120 dias). Muito exigente em N, especialmente no florescimento. Sucesso dependente da palhada e rotação de culturas. Irrigação essencial para alta produtividade. Sistema radicular pivotante e fasciculado.
Pitaya <i>(Selenicereus undatus)</i>	Preparo convencional para plantio (covas adubadas). Cultura perene, produção por mais de 15 anos. Irrigação por gotejamento e fertirrigação são imprescindíveis no semiárido. Sistema radicular superficial (primeiros 30 cm). Exigente em K (qualidade do fruto) e responde bem à adubação orgânica.
Banana <i>(Musa spp.)</i>	Preparo intensivo (aração, gradagem, cama) antes do plantio. Cultura semiperene de ciclo contínuo (9-12 meses/cacho). Muito exigente em água e nutrientes, com maior exportação de K. Sistema radicular superficial e sensível à

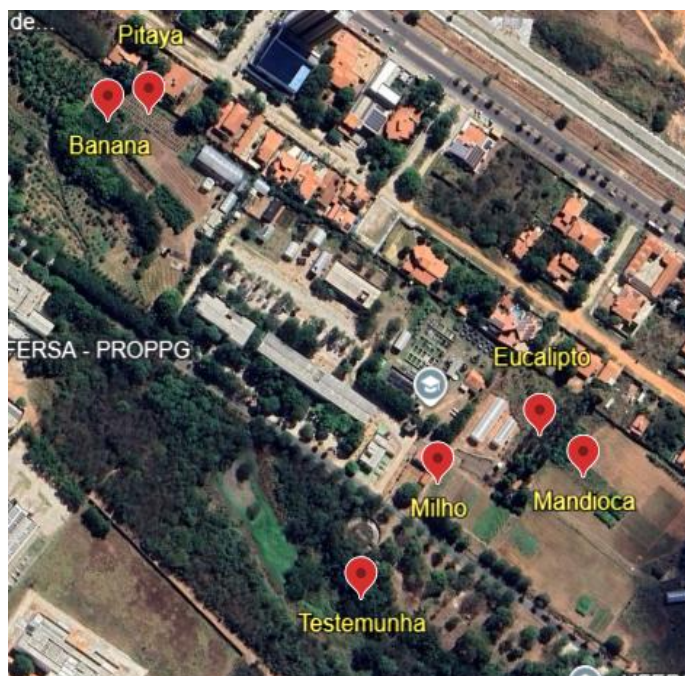
Cultura	Características Principais do Manejo e da Planta
	compactação. Fertirrigação por gotejamento aumenta a eficiência.
Eucalipto <i>(Eucalyptus urograndis)</i>	Preparo convencional apenas no plantio, depois mínimo cultivo. Ciclo longo (corte em 5-7 anos). Sistema radicular profundo e pivotante, acessando água em camadas abaixo de 2 m. Consórcio estratégico com gramíneas para cobertura, controle de plantas daninhas e forragem (iLPF). Adubação concentrada na fase inicial.
Mata preservada <i>(Testemunha)</i>	Sem manejo ou perturbação. Ciclagem natural de nutrientes via serrapilheira. Cobertura vegetal permanente e diversa, proteção máxima contra erosão. Sistema radicular diversificado e profundo. Biodiversidade edáfica máxima e dinâmica hídrica equilibrada (máxima infiltração).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo e Período Experimental

A pesquisa foi realizada no campus leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), que fica localizado no município de Mossoró-RN, com as seguintes coordenadas: 5°12'17"S 37°19'16"W. Foram escolhidas seis áreas com diferentes culturas, sendo elas Milho (*Zea mays*), Pitaya (*Selenicereus undatus*), Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), Mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), banana (*Musa spp.*), sob diferentes manejos agronômicos e também uma área de mata que seria utilizada como testemunha para comparação dos resultados, totalizando as 6 áreas. Em cada um desses locais, foram retirados amostras de solo para posterior análise em laboratório. A coleta das amostras foram realizadas em um único dia, na tarde de 16 de outubro de 2025, ou seja, um período de seca para a nossa região, sem ocorrência de chuvas. **A figura 1** mostra a exata localização de onde foram retiradas as amostras utilizadas para este trabalho.

Figura 1: Locais do experimento



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.2. Descrição dos Tratamentos e características das áreas de Coleta

Foram avaliados seis tratamentos, correspondentes a diferentes sistemas de uso e manejo do solo, conforme detalhado abaixo.

4.2.1. Bananeira (*Musa spp*)

Á área das bananeiras (**Figura 2**) utilizadas para este projeto, fica localizada no pomar da UFERSA (5°12'17"S 37°19'16"W), sob responsabilidade do Prof. Dr. Vander Mendonça. A variedade utilizada é a Prata Catarina. A mesma é cultivada nessa área há cerca de 5 anos, e possui fins didáticos para alunos da graduação. O manejo da área é normalmente realizado por alunos do curso de agronomia, da disciplina de fruticultura, onde os mesmos realizam adubação química (NPK), retirada de plantas daninhas, e limpeza dos restos culturais. Os restos culturais, como folhas e caules, são deixados na superfície do solo após o termino do cultivo ou limpeza da área. A irrigação é diária e por microaspersão. O solo dessa área se encontrava em condições muito úmidas, por conta da irrigação, o que acabou facilitando o processo da coleta das amostras.

Figura 2: Retirada de amostra nas bananeiras



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.2.2. Pitaya (*Selenicereus undatus*)

Á área de pitaya (**Figura 3**) utilizada neste projeto, se localiza no pomar da UFERSA, (5°12'17"S 37°19'16"W). Está área também está sob responsabilidade do Prof. Dr. Vander Mendonça. O local também tem fins exclusivamente didáticos, sendo utilizados por alunos da graduação e pós graduação para projetos científicos. O manejo cultural da área se caracteriza por utilização de adubação química (NPK) e também orgânica (esterco bovino). A irrigação é diária e realizada através de gotejamento. Também são realizadas capinas para retiradas de plantas daninhas. No momento da coleta, o solo desta área estava bastante seco, principalmente nas entre linhas, pois recebia pouca ou nenhuma influencia da agua da irrigação.

Figura 3: Retirada de amostras nas pitayas



Fonte: Aatoria Própria, 2025

4.2.3. Milho (*Zea mays*)

A área de milho (**Figura 4**) utilizada para este projeto fica localizada na Horta Didática da UFERSA e com as seguintes coordenadas (5°12'20"S 37°19'13"W), e fica sob responsabilidade do Prof. Dr. Daniel Valadão da Silva. A mesma é utilizada com fins exclusivamente didáticos. É manejada há aproximadamente 5 anos no sistema de Plantio Direto, ou seja, sem utilização de maquinário para revestimento do solo, e com a manutenção da palhada na superfície. O manejo da área é feito normalmente por alunos do curso de agronomia, mais especificamente da disciplina de biologia e manejo de plantas daninhas. Os mesmos são responsáveis por realizar a adubação,

que se caracteriza por uma utilização fracionada de NPK durante o avanço das fases fenológicas da cultura. A irrigação utilizada é por gotejamento. Ao fim de cada experimento, as palhadas são deixadas ao campo para decomposição. O solo se encontrava bem úmido e sombreado pela própria cultura no momento da coleta

Figura 4: Retirada de amostras do milho



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.2.4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)

O Cultivo de Eucalipto (**Figura 5**) utilizado para este estudo fica localizado na horta didática da UFERSA, (5°12'25"S 37°19'07"W), sob responsabilidade do Prof. Dr. Daniel Valadão da Silva. A área é cultivada há 8 anos em sistema de sequeiro, e em consórcio com gramíneas, e não recebe nenhum tipo de adubação há cerca de 5 anos. São realizadas anualmente a capinas das gramíneas, que rebrotam posteriormente na estação chuvosa. Devido a ausência de irrigação nessa área, o solo se encontra bem seco nessa época do ano.

Figura 5: Retirada de amostras do eucalipto



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.2.5. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Á área de mandioca (**Figura 6**) utilizada para este projeto, fica localizada na Horta Didática da UFERSA, ($5^{\circ}12'25''S$ $37^{\circ}19'06''W$), sob responsabilidade da Prof. Dra. Lindomar Maria. Uma observação importante desta área, é que a mesma já vem sendo utilizada há bastante tempo por docentes da universidade para fins experimentais. Sua utilização para tal fins remete aos tempos da antiga ESAM, portanto, diversos manejos já foram utilizados, o que com certeza influenciou nos diversos parâmetros estudados neste projeto. De maneira geral, nos últimos anos, o local é manejado no sistema convencional, com preparo do solo mediante revolvimento por maquinário pesado e rotação de culturas (ex.: milho, batata-doce). A irrigação é realizada por gotejamento. Devido a este último fator, o solo no momento da coleta estava em condições bem úmidas.

Figura 6: Retirada de amostras da área da mandioca



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.2.6. Área de mata (Testemunha)

A área de vegetação utilizada como testemunha para o projeto fica localizada próximo ao antigo zoológico da ESAM e foi escolhida por não sofrer ações antrópicas significativas há décadas. A vegetação é composta por espécies nativas como umburana (*Commiphora leptophloeos*), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* [Willd.] Poir.), e exóticas como algaroba (*Prosopis juliflora*) e leucena (*Leucaena leucocephala*). O solo é coberto por espessa serapilheira, como mostra a **figura 7**. Assim como as áreas do eucalipto e da pitaya, o solo dessa área se encontrava bastante seco no momento da coleta, devido a ausência de água na área.

Figura 7: Retirada de amostras da área de mata



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.3. Materiais e Procedimentos de Coleta

Para a coleta das amostras de solo, foram utilizados um trado holandês, sacos plásticos resistentes e caneta permanente para a identificação das amostras. Em cada uma das seis áreas, foram realizadas seis subamostras na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo três coletadas nas entrelinhas e três nas linhas de plantio. As subamostras de cada área foram homogeneizadas manualmente no campo para formar uma amostra composta, totalizando seis amostras. Cada amostra composta foi acondicionada em saco plástico devidamente identificado com o nome da cultura. As condições de umidade do solo no momento da coleta foram de úmido para as áreas de Bananeira, Milho e mandioca, e seco para Pitaya, Eucalipto e Mata. Nestas últimas, houve bastante dificuldade para a retirada das amostras.

4.4. Análises Laboratoriais

A segunda etapa do experimento foi conduzida no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da própria universidade. As análises laboratoriais foram realizadas no período de 04 a 07 de novembro de 2025. Para garantir a precisão dos resultados, as determinações para cada um dos parâmetros avaliados foram realizadas em triplicata para cada amostra de solo. Os atributos químicos do solo analisados foram: Matéria Orgânica (MO), pH, Condutividade Elétrica (CE), Fósforo (P), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Sódio (Na^+), Capacidade de Troca

de Cátions (CTC) e Saturação por Bases (V%). Todas as etapas foram realizadas com auxílio da técnica responsável pelo laboratório.

4.4.1. Preparo Prévio das Amostras

As amostras compostas de solo, coletadas e identificadas por área de manejo, foram secas ao ar, destorroadas manualmente e passadas em peneira de malha de 2,0 mm (**Figura 9**) para obtenção de uma terra fina e seca, que foi utilizada em todas as análises subsequentes (**Figura 8**).

Figura 8: Amostras após processo de peneiração



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 9: Amostras em peneira de malha 2,0



Fonte: Autoria própria, 2025

4.4.2. Determinação do pH e Condutividade Elétrica (CE)

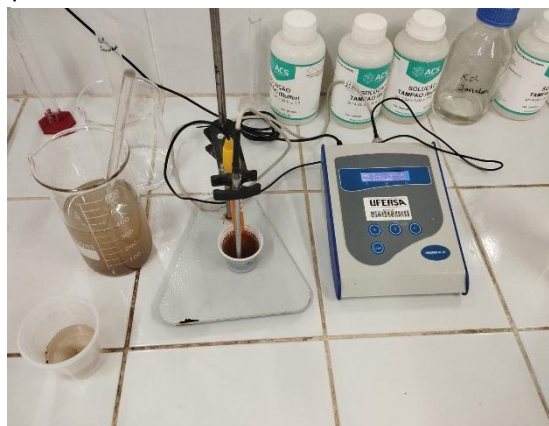
O pH e a Condutividade Elétrica (CE) foram determinados simultaneamente em suspensão solo:água. Após homogeneização das amostras, 10 cm³ de solo foram aferidos com um cachimbo volumétrico e transferidos para um Erlemneyer. Então foram adicionado 25 mL de água deionizada. Após esse processo as amostras foram agitadas na mesa agitadora por 5 minutos para depois ficarem em repouso por 1 hora para estabilização do conteúdo. Para a medição da CE (**Figura 11**), a mesma foi determinada primeiro, inserindo o eletrodo do condutivímetro calibrado no sobrenadante da suspensão em repouso, sem nova agitação. Já para o pH, imediatamente após a leitura da CE, a suspensão foi homogeneizada com bastão de vidro e o pH foi determinado mediante a inserção do eletrodo do pHmetro calibrado (**Figura 10**).

Figura 10: Medição do pH em pHmetro



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 11: Medição de condutividade elétrica por condutivímetro



Fonte: Autoria própria, 2025

4.4.3. Determinação da Matéria Orgânica (MO)

O teor de matéria orgânica foi determinado pelo Método de Oxidação por Via úmida com Dicromato de Potássio em Meio Ácido. O procedimento experimental seguiu as seguintes etapas. Aproximadamente 20 g de amostra foram submetidas à trituração em almofariz de porcelana e subsequentemente peneiradas em malha de 0,177 mm (80 mesh). Foram pesados 0,5 g do material de textura fina resultante em um erlenmeyer de 250 mL, adicionando-se 10 mL da solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,2 mol L⁻¹) (**Figura 13**). A mistura foi submetida a aquecimento em chapa aquecedora sob sistema de refluxo (**Figura 12**), utilizando condensador, até o princípio de fervura, para garantir a oxidação completa do carbono orgânico sem perdas por volatilização. Após resfriamento, adicionaram-se 80 mL de água destilada e 1 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4 85%) para acidificar o meio. Adicionaram-se 3 gotas do indicador difenilamina, titulando-se imediatamente com solução de sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ 0,1 mol L⁻¹] até o ponto de viragem, caracterizado pela mudança de coloração de azul para verde. O volume de titulante gasto foi anotado para cada amostra. O procedimento foi realizado em paralelo para uma prova em branco (sem amostra de solo). O teor de carbono orgânico foi calculado com base na diferença entre o volume gasto na branco e o volume gasto na amostra.

Figura 12: Aquecimento das amostras em bloco digestor



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 13: Amostras preparadas



Fonte: Autoria própria, 2025

4.4.4. Determinação do Teor de Fósforo (P) .

Foram preparados padrões de fósforo nas concentrações de 1, 2, 3 e 4 mg L⁻¹ (ppm). Primeiramente, um total de 5 mL de extrato Mehlich filtrado foi transferida para um erlenmeyer, onde também foi adicionado 10 mL da solução de molibdato de amônio diluída e uma pitada de ácido ascórbico em pó, com agitação manual leve para homogeneização. As soluções foram deixadas em repouso por 1 hora para completo desenvolvimento de uma coloração azul do molibdênio. Após esse tempo, as amostras foram levadas para a medição por espectrofotômetro (**Figuras 14 e 15**). A concentração de P nas amostras foi determinada por interpolação na curva de calibração previamente construída.

Figura 14: Medição por espectrofotômetro



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 15: Medição por espectrofotômetro



Fonte: Autoria própria, 2025

4.4.5. Determinação dos Teores de Potássio (K^+) e Sódio (Na^+)

A determinação dos teores de potássio (K^+) e sódio (Na^+) foram realizadas por meio da técnica de fotometria de chama (**Figura 17**). O procedimento iniciou-se com a separação de toda a vidraria necessária, incluindo pipeta de 20 mL, bem como os reagentes, que consistiam em uma série de soluções padrão de sódio e potássio nas concentrações de 2, 4, 6, 8 e 10 ppm, utilizadas para a calibração do equipamento. Primeramente, foram adicionados 20 mL do extrato de Mehlich a cada amostra em erlenmeyer. Em seguida, as amostras (**Figura 16**) foram levadas para leitura no fotômetro de chama, iniciando obrigatoriamente pela curva de calibração, que serviu como parâmetro para a análise subsequente das amostras. Quando alguma amostra apresentasse leitura superior ao último ponto da curva (10 ppm), foi necessário realizar a diluição apropriada.

Figura 16: Amostras para averigação de potássio



Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 17: Método fotometria em chama



Fonte: Autoria própria, 2025

4.4.6. Determinação dos Teores de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+})

A determinação dos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foi realizada por titulação complexométrica com EDTA. O método iniciou com a separação da vidraria necessária, incluindo erlenmeyers de 125 mL, béqueres, pipetas de 5 e 25 mL e espátula, bem como os reagentes EDTA 0,0125M, indicador Calcon, solução de KOH 10%, solução tampão "Coquete" e indicador Negro de Ericromo. Inicialmente, retirou-se 25 mL do extrato de KCl 1 mol L^{-1} de cada amostra e transferiu-se para dois erlenmeyers distintos, totalizando 25 mL em cada recipiente. Para a determinação

específica do cálcio, adicionou-se ao primeiro erlenmeyer 3 mL de KOH 10% para elevar o pH para aproximadamente 12-13, seguido de aproximadamente 30 mg do indicador Calcon. Esta mistura foi titulada com solução de EDTA $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ até a viragem do ponto final, caracterizada pela mudança de coloração de rosa para azul, registrando-se o volume gasto (V_1). Para a determinação conjunta de cálcio e magnésio, adicionou-se ao segundo erlenmeyer 4 mL da solução tampão "Coquete" para ajustar o pH para aproximadamente 10, seguido de aproximadamente 30 mg do indicador Negro de Ericromo. Esta mistura foi igualmente titulada com solução de EDTA $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ até a mudança de coloração de rosa para azul, registrando-se o volume gasto (V_2). Ambos os procedimentos foram realizados em paralelo para uma prova em branco. O volume de EDTA correspondente ao magnésio (V_{Mg}) foi calculado pela diferença entre os volumes gastos na segunda e primeira titulações ($V_2 - V_1$). As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram calculadas com base nos volumes de EDTA consumidos e na normalidade da solução titulante, seguindo os princípios da complexometria.

4.4.7. Cálculo da CTC e Saturação por Bases

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva foi calculada pela soma dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), expressos em $\text{cmol}_{(+)} \text{ dm}^{-3}$. A Saturação por Bases (V%) foi calculada pela relação entre a soma de bases ($\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) e a CTC efetiva, multiplicada por 100.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises químicas do solo sob diferentes sistemas de manejo são apresentados e discutidos a seguir. A discussão é organizada por área de manejo, correlacionando os atributos do solo com as práticas agronômicas específicas de cada local.

5.1. Área da Mandioca (*Manihot esculenta*)

A área de mandioca em sistema convencional, com preparo do solo por maquinário e rotação de culturas, resultou em um perfil químico distinto e desequilibrado (**Figura 18**). Esta área apresentou os maiores teores de fósforo (P) (97,6 mg/dm³) entre todas as áreas. Este pode ser um sinal clássico da acumulação desse nutriente por conta de sucessivas adubações minerais realizadas ao longo do tempo, já que essa área vem sendo manejada há bastante tempo, como já comentado anteriormente.

Ao mesmo tempo, os teores de potássio (K) se mantiveram em bons níveis (88,0-90,0 mg/dm³), condizentes com a alta exigência da cultura. No entanto, a combinação desses teores com um elevado teor de sódio (Na), o maior registrado (93,0 mg/dm³) configura um alerta para processos de salinização. A presença de Na⁺ pode competir com o K⁺ nos sítios de troca do solo, comprometendo sua disponibilidade para as plantas e afetando funções fisiológicas cruciais, como o controle osmótico e a abertura dos estômatos.

A média do pH de 7,80 é considerado elevado para a maioria das culturas, podendo causar a precipitação de fosfatos de cálcio e a redução da disponibilidade de micronutrientes como ferro, manganês, zinco e cobre, que tornam-se insolúveis em pH alcalino. Já a condutividade elétrica (CE) de 0,15 dS/m mantém-se em nível considerado baixo, não indicando, por enquanto, problemas de salinidade que afetem o desenvolvimento das plantas, apesar do elevado teor de sódio observado.

Os teores de matéria orgânica (9,20 g/kg) foi baixo, possivelmente afetado negativamente pelo revolvimento constante do solo, que acelera a decomposição, mas ainda sustentado em parte pela rotação de culturas. A CTC foi considerada de nível intermediário (3,63 cmolc/dm³), sendo sustentada principalmente pelos cátions Ca²⁺ (2,46 cmolc/dm³) e Mg²⁺ (0,53) que também apresentaram teores médios, garantindo uma saturação por bases (V%) de 100%.

Figura 18 : Resultado das análises de solo da área da Mandioca.

Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³						cmolc/dm ³				%	
1	MANDIOCA	7,80	0,15	9,20	97,6	89,3	93,0	2,46	0,53	0,00	0,00	3,63	3,63	3,63	100	0	11

Fonte: Autoria própria, 2025

5.2. Área da Banana (*Musa spp.*)

O cultivo da banana com adubação química e irrigação por microaspersão apresentou resultados preocupantes, com indicadores de degradação (**Figura 19**). Esta área registrou a maior média de condutividade elétrica (0,94 dS/m) dentre todas as áreas, o que pode indicar um processo de salinização. Este cenário pode ser explicado pelas sucessivas adubações de KCL durante o ciclo da cultura.

A relação entre a manutenção dos restos culturais e os teores baixos de matéria orgânica (5,97 g/kg) revela um desequilíbrio na dinâmica da MOS. Provavelmente, o baixo teor de matéria orgânica resultou em uma das mais baixas médias de CTCs observadas (2,31 cmolc/dm³), o que pode acabar afetando a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes para a cultura.

Os teores de fósforo (P) entre as amostras foi de (31,7 mg/dm³), enquanto o potássio (K), nutriente mais exportado pela bananeira, apresentou teor apenas intermediário (74,6 mg/dm³). Esses níveis, considerando a alta exigência da cultura, sugerem que a adubação atual é insuficiente ou que há significativas perdas por lixiviação, favorecidas pelo sistema de irrigação e pela baixa capacidade de retenção do solo.

Outro dado preocupante é o teor de sódio (Na⁺), que se apresentou elevado (49,0 mg/dm³), corroborando o indicativo de salinização apontado pela alta CE. A saturação por sódio (PST) de 9% já se encontra em um nível de atenção, podendo, com o tempo, promover a dispersão de argilas e a degradação da estrutura física do solo. Os teores de Ca²⁺ (1,60 mg/dm³) e Mg²⁺ (0,38 mg/dm³) foram baixos, contribuindo para a CTC reduzida. O pH alcalino (8,0) pode ainda estar limitando a disponibilidade de micronutrientes essenciais.

Figura 19 : Resultado das análises de solo da área da Banana.

Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³						cmolc/dm ³				%	
5	BANANA	8,00	0,94	5,97	31,7	74,6	49,0	1,60	0,38	0,00	0,00	2,31	2,31	2,31	100	0	9

Fonte: Autoria própria, 2025

5.3. Área da Pitaya (*Selenicereus undatus*)

A pitaya (*Selenicereus undatus*), cultivada com adubação química e orgânica (esterco bovino) e irrigação por gotejamento, apresentou o melhor desempenho entre os sistemas manejados (**Figura 20**). Apresentou a maiores teores de matéria orgânica dentre todas as áreas estudadas com médias de 11,12 g/kg ou 1,12 %, estatisticamente igual à da área de mata. Apesar de ter obtido o resultado mais alto deste parâmetro, o mesmo não é considerado um bom resultado de acordo com várias referências. Normalmente, para ser considerado um bom teor de matéria orgânica, considera-se a partir de 5% do mesmo. Esse manejo integrado também resultou em altos teores de potássio (198,3 mg/dm³), refletindo tanto a adubação mineral quanto a eficiente ciclagem de nutrientes no sistema, assim como uma boa média de CTC (5,10 cmolc/dm³), sendo superada apenas pela área da mata. Os teores encontrados de Ca²⁺ (3,40 cmolc/dm³) e Mg²⁺ (1,06 cmolc/dm³) também são considerados bons índices. O pH, com média de 7,50 , embora considerado elevado, encontra-se em um nível ainda considerado adequado para a cultura da pitaya não comprometendo a disponibilidade de nutrientes neste sistema. A condutividade elétrica se manteve baixa (0,11 dS/m), indicando que o sistema de irrigação por gotejamento, por enquanto, está sendo eficiente em não concentrar sais na zona radicular. Esse conjunto de atributos posiciona a pitaya como um modelo de manejo eficiente nas condições do semiárido.

Figura 20 : Resultado das análises de solo da área da Pitaya.

Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³						cmolc/dm ³				%	
3	PITAYA	7,50	0,11	11,11	47,1	198,3	14,3	3,40	1,06	0,00	0,00	5,09	5,09	5,09	100	0	1

Fonte: Autoria própria, 2025

5.4. Área do Milho (*Zea mays*)

O cultivo de milho (*Z. mays*) em sistema de plantio direto na horta didática apresentou os indicadores químicos mais críticos entre todos os sistemas avaliados, revelando uma situação de degradação acelerada (**Figura 21**). Os dados demonstram um perfil de solo com múltiplas limitações à produtividade e à sustentabilidade: A combinação do menor teor de matéria orgânica (3,78 g/kg) com a mais baixa CTC (2,00-2,28 cmolc/dm³) configura um cenário de baixa resiliência e capacidade produtiva.

O pH extremamente elevado (8,10-8,20), considerado excessivamente alcalino, agrava significativamente esta situação, pois reduz drasticamente a disponibilidade de micronutrientes essenciais como ferro, zinco, manganês e cobre, que tornam-se insolúveis nestas condições.

Esta condição é particularmente preocupante em um sistema que se propõe como conservacionista, indicando que o plantio direto praticado não está cumprindo sua função principal de manter e criar fertilidade no solo. Os teor de potássio (K) foi muito baixo (39mg/dm³), um dado preocupante, pois a cultura do milho é bastante exigente neste nutriente. Os teor de fósforo (39,3 mg/dm³), cálcio (1,45 cmolc/dm³) e magnésio (0,24 cmolc/dm³) também se mostraram insuficientes, refletindo possivelmente uma adubação inadequada ou severas perdas por lixiviação.

A condutividade elétrica variou entre as amostras (0,83 dS/m), com valores altos em todas, sugerindo heterogeneidade na distribuição de sais na área. O teor de sódio (Na⁺) apresentou-se elevado (69,6 mg/dm³), com saturação por sódio (PST) 15%, indicando risco de sodificação e degradação da estrutura do solo.

Figura 21 : Resultado das análises de solo da área da Milho.

Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³						cmolc/dm ³				%	
4	MILHO	8,10	0,83	3,78	39,3	39,0	69,6	1,45	0,24	0,00	0,00	2,10	2,10	2,10	100	0	15

Fonte: Autoria própria, 2025

5.5. Área do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)

O cultivo de eucalipto (*E. urograndis*) consorciado com gramíneas, conduzido em sequeiro e sem adubação há cinco anos, demonstrou resiliência e uma certa eficiência na manutenção de alguns atributos responsáveis pela qualidade química do solo (**Figura 22**). O pH entre 7,10 foi o mais baixo entre as áreas manejadas, mas continua sendo considerado um nível elevado para a disponibilidade da maioria dos nutrientes. A matéria orgânica apresentou nível baixo com valor de 9,20 g/kg (0,91%). O teor de fósforo manteve-se em nível médio (57,3 mg/kg), demonstrando a eficiente ciclagem deste nutriente pelo sistema radicular profundo do eucalipto (*E. urograndis*) e pelas gramíneas consorciadas. O potássio também apresentou teores adequados (87,3-mg/dm³), refletindo a capacidade do sistema em conservar e reciclar este nutriente essencial. A CTC manteve-se em patamar intermediário (3,54 cmolc/dm³), sustentada principalmente pelos teores de cálcio (2,52 cmolc/dm³) e magnésio (0,74 cmolc/dm³). A saturação por bases (V%) de 100% confirma condições ideais de disponibilidade nutricional. A condutividade elétrica apresentou variação moderada (0,53 dS/m), porém dentro de limites aceitáveis para sistemas não irrigados. O teor de sódio manteve-se baixo (15,0 mg/dm³), com saturação por sódio (PST) de apenas 2%, indicando baixos riscos de sodificação.

Figura 22 : Resultado das análises de solo da área do Eucalipto.

Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³						cmolc/dm ³				%	
6	EUCALIPTO	7,10	0,53	9,20	57,3	87,3	15,0	2,52	0,74	0,00	0,00	3,54	3,54	3,54	100	0	2

Fonte: Autoria própria, 2025

5.6. Área de Mata residual (Testemunha)

A área de Mata apresentou características condizentes com sua condição de testemunha, exibindo um perfil químico que pode servir como referência para os solos da região (**Figura 23**). Os resultados indicam um ecossistema em estágio de equilíbrio, sem interferências antrópicas significativas. O pH de 7,50, apesar de ser considerado muito alto, mantém-se em uma faixa ainda considerada boa para a disponibilidade de nutrientes e atividade biológica, representando as condições naturais de equilíbrio químico do solo na ausência de intervenções antrópicas. Esta condição favorece a máxima eficiência nos processos de ciclagem nutricional e desenvolvimento vegetal. Os teor de Matéria Orgânica, ficou com uma média 10,45 e g/kg, posicionando-se como os segundo mais alto do estudo, ainda podem ser considerados baixos para os padrões de referências. Por outro lado, o valor de CTC, ficou em 5,49 cmolc/dm³, se destacando como os maior observado no estudo, indicando uma boa capacidade de retenção de nutrientes no solo. O teor de Potássio destacou-se como o segundo mais alto entre todas as áreas (186,3 mg/dm³), refletindo a eficiência em ecossistemas preservados, onde não há exportação de biomassa e os nutrientes são constantemente reciclados. Os teores de Cálcio (3,96 cmolc/dm³) e Magnésio (1,00 cmolc/dm³) mantiveram-se em níveis decentes, contribuindo significativamente para a CTC e para a estabilidade estrutural do solo. Como esperado em um sistema natural, o teor de Fósforo apresentou-se naturalmente baixo (13,4 mg/kg), característico de solos que não recebem adubação fosfatada, representando o patamar realista de disponibilidade deste nutriente no ecossistema local. A Condutividade Elétrica baixa (0,13 dS/m) e o teor mínimo de Sódio (12,0 mg/dm³), com saturação por sódio de apenas 1%, confirmam a ausência total de processos de salinização ou sodificação, mantendo a integridade física do solo preservada.

Figura 23 : Resultado das análises de solo da área da Mata.

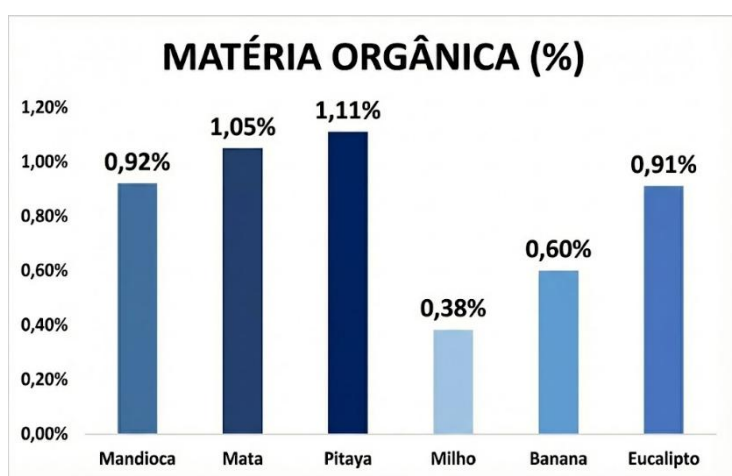
Nº	IDENTIFICAÇÃO	pH	CE	Mat. Org.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
		(água)	dS/m	g/kg		mg/dm ³					cmolc/dm ³				%		
2	MATA	7,50	0,13	10,45	13,4	186,3	12,0	3,96	1,00	0,00	0,00	5,49	5,49	5,49	100	0	1

Fonte: Autoria própria, 2025

5.7. Os gráficos de 1 a 10 mostram as comparações dos parâmetros de cada área e as referencias

Segundo os valores de referências fornecidos no **gráfico 1**, a classificação dos teores de matéria orgânica (%) de cada área ficou da seguinte maneira: **Baixo (0,71 a 2,00)**: Área da pitaya, mata, mandioca e eucalipto; **Muito baixo (< 0,70)**: Área da banana e do milho.

Gráfico 1: Média de teor de matéria orgânica de cada área e os valores de referência.



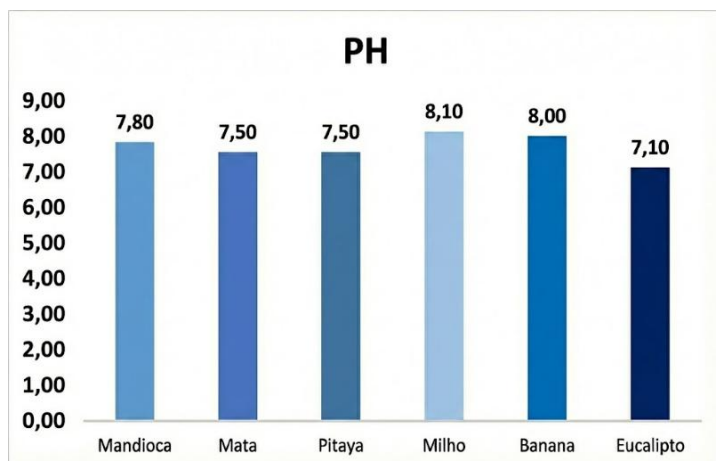
CLASSIFICAÇÃO				
MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO ⁽¹⁾	BOM	MUITO BOM
Teor de matéria orgânica (%)				
≤ 0,70	0,71 a 2,00	2,01 a 4,00	4,01 a 7,00	> 7,0

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Fonte: Autoria própria, 2025

No **gráfico 2**, seguindo as referências, os valores de pH se demonstraram muito altos (> 7,0) para todas as áreas, caracterizando todos os solos estudados como alcalinos.

Gráfico 2: Média do potencial hidrogeniônico de cada área e os valores de referência.



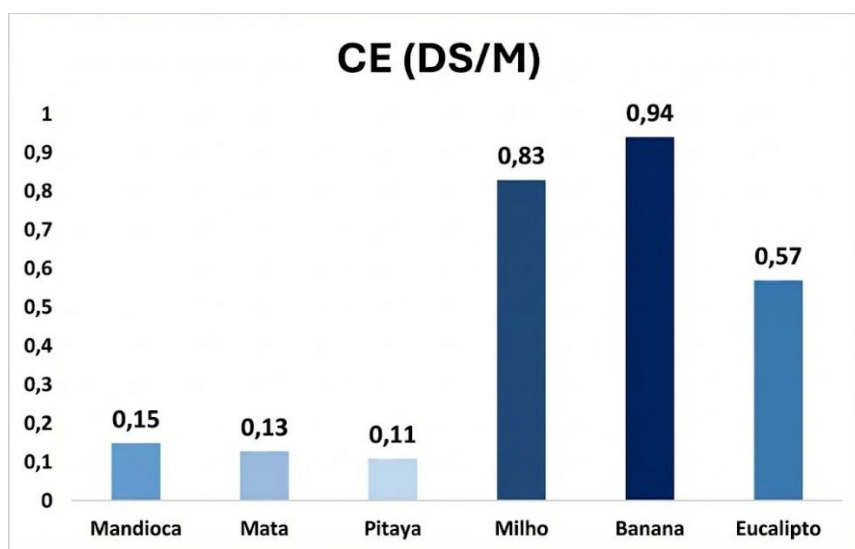
CLASSIFICAÇÃO				
MUITO BAIXO	BAIXO	BOM ⁽¹⁾	ALTO	MUITO ALTO
pH do solo (solo:água 1:2,5)				
< 4,5	4,5 a 5,4	5,5 a 6,0	6,1 a 7,0	> 7,0

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Fonte: Autoria própria, 2025

O **gráfico 3** demonstra os valores de condutividade elétrica e o teor de sódio de cada área. Ressalta-se que os valores de referência para classificação de solos salinos e sódicos, estabelecidos por autores como Bohn, McNeal e O'Connor (1985), são baseados no extrato de saturação do solo (método padrão). Os valores obtidos no **gráfico 3** foram determinados em suspensão solo:água 1:2,5.

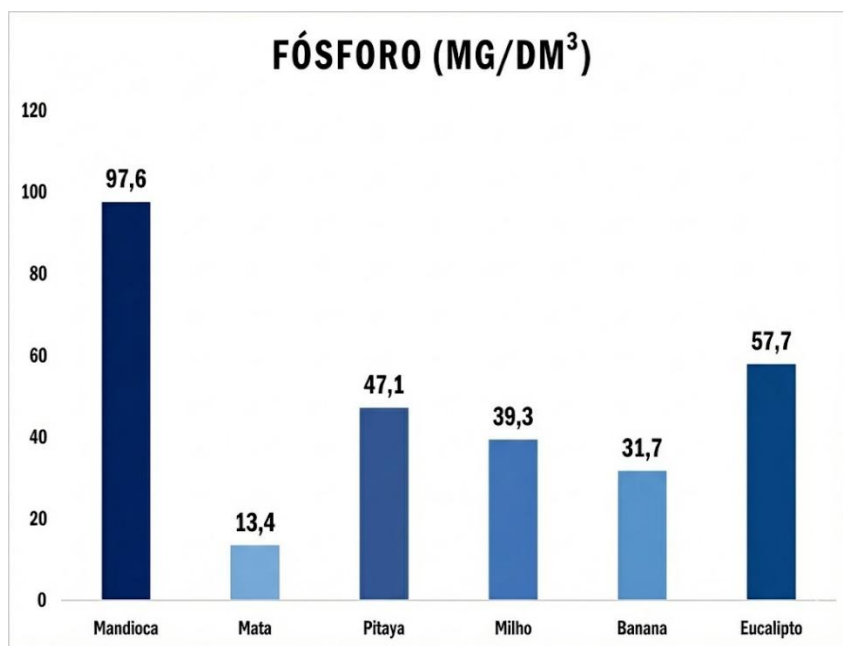
Gráfico 3: Média de teor de condutividade elétrica de cada área.



Fonte: Autoria própria, 2025

O **gráfico 4** demonstra a comparação entre os valores de fósforo de cada área analisada. Não foi possível determinar uma classificação para o teor de fósforo para este estudo, pois é necessário saber o teor de argila do solo, o qual não foi realizado.

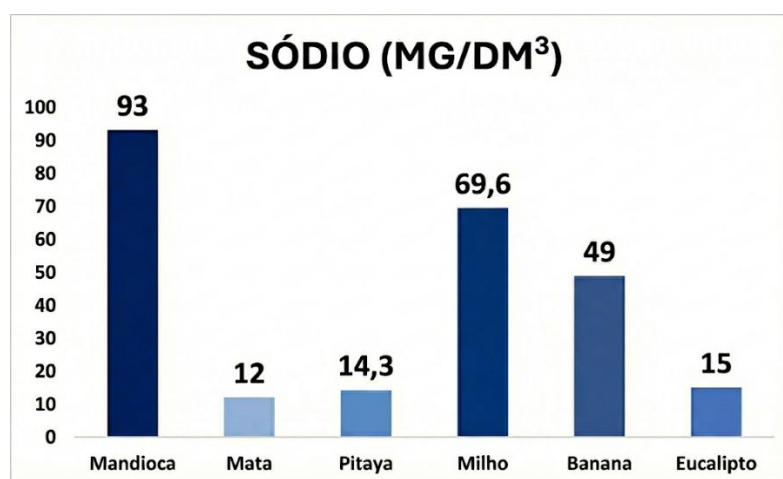
Gráfico 4: Média de teor de fósforo de cada área.



Fonte: Autoria própria, 2025

O gráfico 5 demonstra os valores de condutividade elétrica e o teor de sódio de cada área. Ressalta-se que os valores de referência para classificação de solos salinos e sódicos, estabelecidos por autores como Bohn, McNeal e O'Connor (1985), são baseados no extrato de saturação do solo (método padrão). Os valores obtidos no gráfico 5 foram determinados em suspensão solo:água 1:2,5. baseados no extrato de

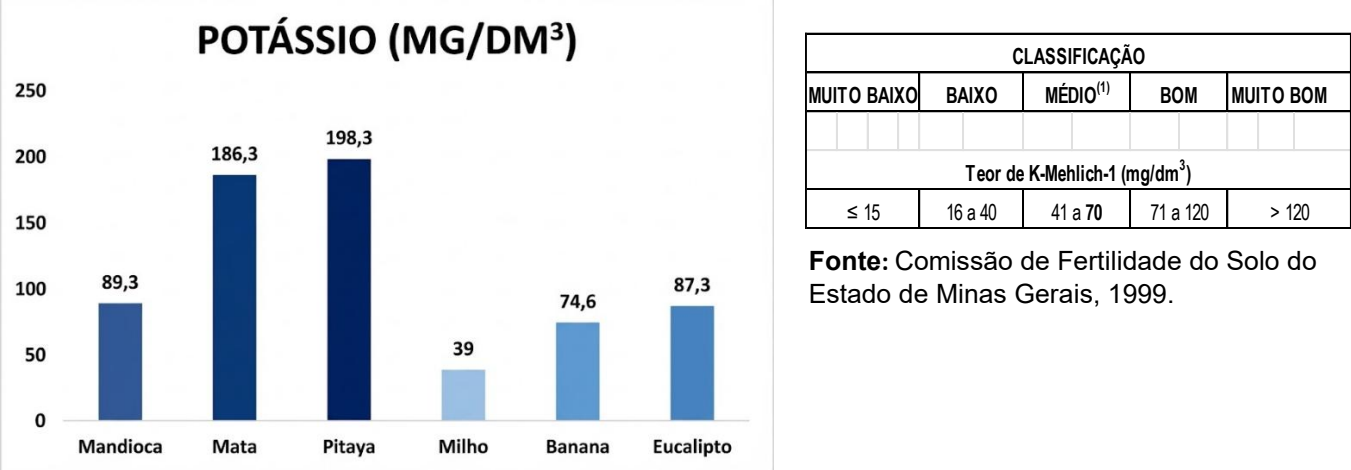
Gráfico 5: Média de teor de sódio de cada área.



Fonte: Autoria própria, 2025

Segundo os valores de referências fornecidos no **gráfico 6**, apenas as áreas da pitaya e da mata obtiveram resultados que pode ser classificados como muito bons.

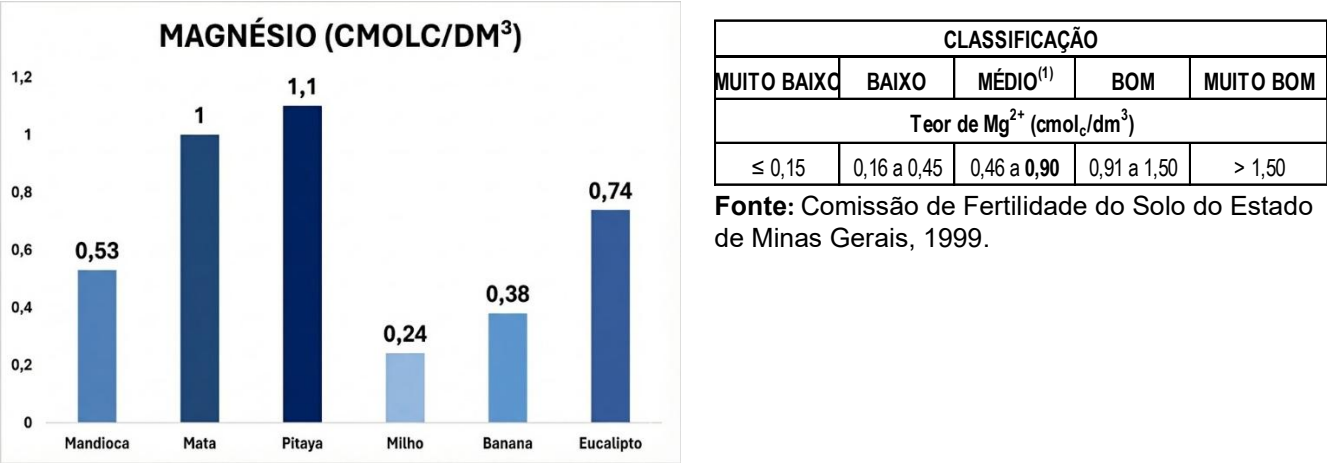
Gráfico 5: Média de teor de potássio de cada área e os valores de referência.



Fonte: Autoria própria, 2025

Segundo os valores de referências fornecidos no **gráfico 7** do teor de magnésio, apenas as áreas da pitaya e da mata obtiveram resultados que pode ser classificados como bons.

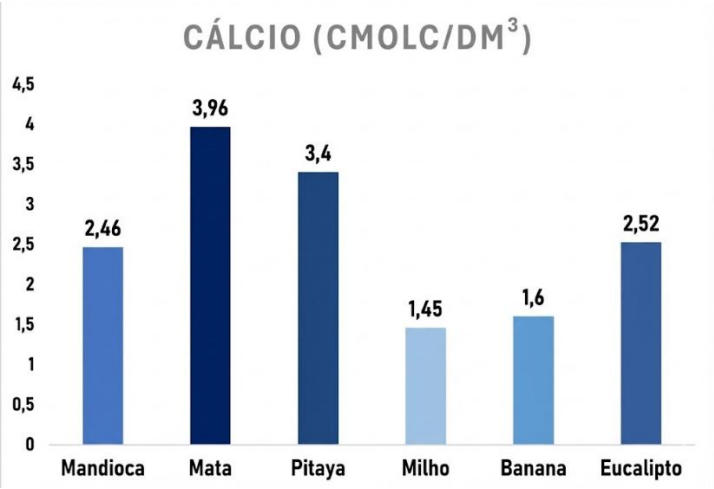
Gráfico 6: Média de teor de magnésio de cada área e os valores de referência.



Fonte: Autoria própria, 2025

Segundo os valores de referências fornecidos no **gráfico 8**, os valores de cálcio nas áreas da pitaya, mata, eucalipto e mandioca podem ser classificados como bons.

Gráfico 7: Média de teor de cálcio de cada área e os valores de referência.



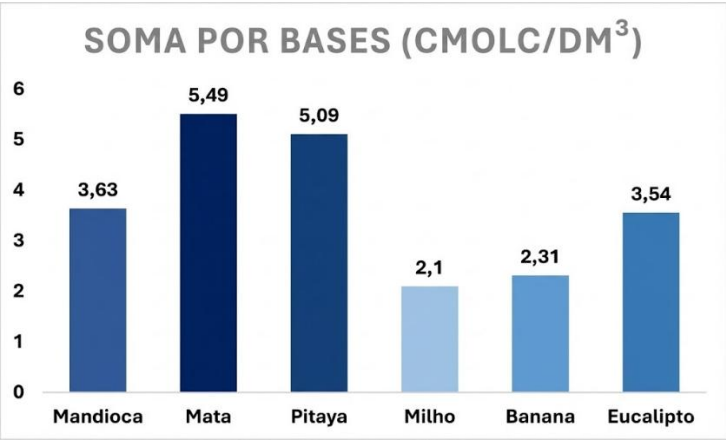
CLASSIFICAÇÃO				
MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO ⁽¹⁾	BOM	MUITO BOM
Teor de Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)				
≤ 0,40	0,41 a 1,20	1,21 a 2,40	2,41 a 4,00	> 4,00

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Fonte: Autoria própria, 2025

Segundo o **gráfico 9**, apenas as áreas da mata, pitaya e mandioca podem ser classificados como bom para a soma de bases.

Gráfico 8: Média de teor de soma por bases de cada área e os valores de referência.



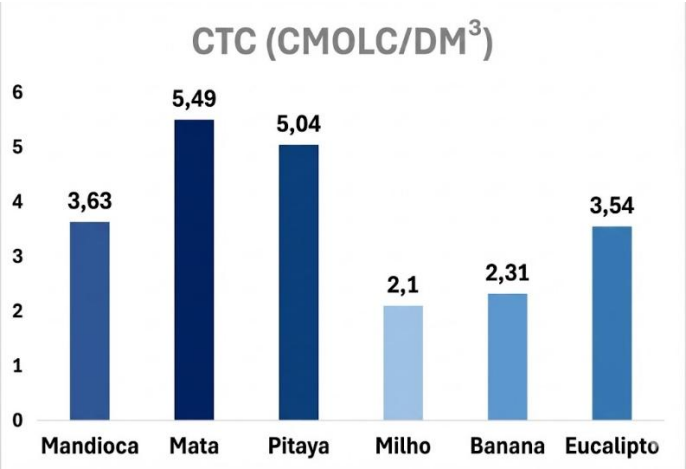
CLASSIFICAÇÃO				
MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO ⁽¹⁾	BOM	MUITO BOM
Soma de bases (cmol _c /dm ³)				
≤ 0,69	0,61 a 1,80	1,81 a 3,60	3,61 a 6,00	> 6,00

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Fonte: Autoria própria, 2025

A capacidade de troca de cátions (**gráfico 10**) possui o mesmo valor da soma por bases do **gráfico 9**, pois não houve intoxicação por alumínio.

Gráfico 9: Média de teor de capacidade de troca de cátions de cada área e os valores de referência.



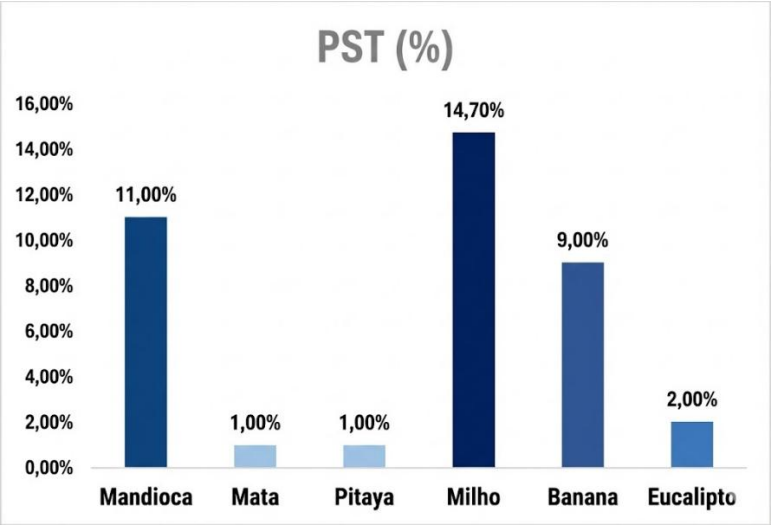
CLASSIFICAÇÃO				
MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO ⁽¹⁾	BOM	MUITO BOM
Soma de bases (cmol _c /dm ³)				
≤ 0,69	0,61 a 1,80	1,81 a 3,60	3,61 a 6,00	> 6,00

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Fonte: Autoria própria, 2025

O gráfico 11 demonstra que nenhuma área pode ser classificada como sódico. As áreas do milho, mandioca e banana podem ser classificada como solódico, e as demais como normal.

Gráfico 11: Média de teor de percentual de fósforo trocável de cada área e os valores de referência.



CLASSIFICAÇÃO ⁽¹⁾		
NORMAL	SOLÓDICO	SÓDICO
Percentagem de sódio trocável (PST) (%)		
< 6	6 a 14	≥ 15

⁽¹⁾ FONTE: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Fonte: Autoria própria, 2025

5.8. As Tabelas 1 a 4 sumarizam os resultados da análise de variância (ANOVA) e do teste de comparação de médias de Tukey (a 5% de probabilidade.

Tabela 1. Apresenta a quantificação estatística de teor de matéria orgânica (MO), pH e soma por bases (SB) do solo sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema de Manejo	MO (g/kg)	pH	SB (cmolc/dm ³)
Milho	3,77 c	8,10 a	2,10 c
Banana	5,97 b	8,00 a	2,33 c
Mandioca	9,04 a	7,87 a	3,63 b
Eucalipto	9,10 a	7,10 c	3,55 b
Mata	10,47 a	7,47 d	5,04 a
Pitaya	11,12 a	7,47 d	5,49 a
DMS	2,38	0,45	1,2
CV (%)	10,43	3,1	5,91

. DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Autoria Própria, 2025

Os dados apresentados **na tabela 1**, comprovam que os sistemas pitaya e Mata apresentaram os maiores teores de matéria orgânica (11,12 e 10,47 g/kg, respectivamente), sendo estatisticamente superiores ao sistema Milho (3,77 g/kg). Esse resultado evidencia que o manejo integrado com adubação orgânica na cultura da pitaya foi eficaz na manutenção da matéria orgânica do solo, equiparando-se à condição da mata preservada. Em relação ao pH, os sistemas milho e banana apresentaram os valores mais elevados (8,10 e 8,00, respectivamente), enquanto o eucalipto registrou o pH mais baixo (7,10). Essa variação reflete diferentes históricos de calagem e manejo da adubação entre os sistemas. Quanto à saturação por bases, a Mata apresentou o maior valor (5,49 cmolc/dm³), seguida pela pitaya (5,07 cmolc/dm³), sendo ambas superiores aos sistemas milho e banana (2,10 e 2,33 cmolc/dm³). Estes resultados indicam que a mata preservada e o sistema da pitaya possuem maior capacidade de troca catiônica e melhor fertilidade química do solo. A precisão experimental, atestada pelos baixos coeficientes de variação (3,1% a 10,43%), confere confiabilidade às diferenças observadas entre os sistemas de manejo.

Tabela 2. Apresenta a quantificação estatística dos teores de fósforo, potássio e sódio em diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistema de Manejo	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Na (mg/dm ³)
Mata	13,4 e	183,6 b	12,0 e
Banana	31,7 d	75,0 d	49,0 c
Milho	39,3 c	39,0 e	69,6 b
Pitaya	43,5 c	198,3 a	14,3 d
Eucalipto	57,7 b	87,3 c	15,0 d
Mandioca	97,6 a	89,3 c	93,0 a
DMS	4,21	4,43	1,45
CV (%)	3,23	1,45	1,25

* DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de Variação.*

Fonte: Autoria Própria, 2025

Os dados estatísticos da **tabela 2** mostram que os teores de fósforo disponível apresentaram variação significativa entre os sistemas de manejo. A área de Mandioca sob cultivo convencional registrou o maior teor de fósforo (97,6 mg/dm³), formando um grupo estatisticamente distinto dos demais tratamentos. Este resultado indica acumulação deste nutriente, provavelmente em função das adubações fosfatadas regulares. Em contraste, a área de mata apresentou o menor teor (13,4 mg/dm³), valor consistente com solos não adubados em condições naturais. Para o potássio, os sistemas pitaya e mata obtiveram os maiores teores (198,3 e 183,6 mg/dm³, respectivamente), sendo estatisticamente superiores ao milho (39,0 mg/dm³). O desempenho da pitaya reflete a eficácia do manejo nutricional adotado, enquanto o menor teor no milho sugere possível exportação pela cultura ou adubação insuficiente. Em relação ao sódio, a mandioca apresentou o maior teor (93,0 mg/dm³), diferindo significativamente dos sistemas mata, pitaya e eucalipto, que formaram o grupo de menores teores (12,0-15,0 mg/dm³). Esta diferença pode estar relacionada ao histórico de manejo e à dinâmica de nutrientes em cada sistema. A boa precisão analítica, evidenciada pelos coeficientes de variação inferiores a 4%, confere confiabilidade aos padrões observados.

Tabela 3. Apresenta a quantificação estatística de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), capacidade de troca catiônica (CTC) em diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistema de Manejo	Ca ²⁺ (cmolc/dm ³)	Mg ²⁺ (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
Milho	1,45 f	0,25 d	2,10 e
Banana	1,60 e	0,31 d	2,33 d
Mandioca	2,47 d	0,53 c	3,63 c
Eucalipto	2,51 c	0,74 b	3,55 c
Pitaya	3,40 b	1,11 a	5,04 b
Mata	3,96 a	1,00 a	5,49 a
DMS	0,076	0,243	0,272
CV (%)	1,91	3,33	2,68

* DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de Variação.*

Fonte: Autoria Própria, 2025

Na **tabela 3**, os teores de cálcio apresentaram gradiente crescente entre os sistemas de manejo, com a área de mata registrando o maior valor (3,96 cmolc/dm³), seguida pela pitaya (3,40 cmolc/dm³). Estes sistemas formaram grupos estatisticamente superiores ao milho e banana, que apresentaram os menores teores (1,45 e 1,60 cmolc/dm³, respectivamente). Para o magnésio, pitaya e a área de mata novamente se destacaram com os maiores teores (1,11 e 1,00 cmolc/dm³), enquanto o milho apresentou o valor mais baixo (0,25 cmolc/dm³). A maior variabilidade neste parâmetro (CV = 13,33%) reflete a dinâmica natural mais complexa do magnésio no solo. A capacidade de troca catiônica (CTC) seguiu padrão similar, com a área de mata (5,49 cmolc/dm³) e pitaya (5,04 cmolc/dm³) formando o grupo de maior fertilidade química, enquanto milho e banana apresentaram os valores mais baixos (2,10 e 2,33 cmolc/dm³). Quanto à condutividade elétrica, banana e milho registraram os maiores valores (0,94 e 0,83 dS/m), indicando potencial processo de salinização. Os demais sistemas mantiveram valores considerados adequados (< 0,6 dS/m). A precisão analítica foi adequada para todos os parâmetros, com coeficientes de variação entre 1,9% e 13,33%.

Tabela 4. Apresenta a quantificação estatística dos teores de condutividade elétrica (CE dS/m) e do Percentual de fósforo trocável (PST %) em diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistema de Manejo	CE (dS/m)	PST (%)
Mata	0,13 f	1 d
Banana	0,94 a	9 c
Milho	0,83 b	14,3 a
Pitaya	0,11 e	1 d
Eucalipto	0,58c	2 d
Mandioca	0,15d	11 b
DMS	0,086	1,29
CV (%)	5,91	7,36

* DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de Variação.*

Fonte: Autoria Própria, 2025

Na **tabela 4**, os valores de condutividade elétrica apresentaram contrastes marcantes entre os sistemas de manejo, com a Banana registrando o maior valor (0,94 dS/m a), seguida pelo Milho (0,83 dS/m a). Estes sistemas formaram o grupo de maior salinidade, sendo estatisticamente superiores à Pitaya (0,11 dS/m c), Mata Nativa (0,13 dS/m c) e Mandioca (0,15 dS/m c). O Eucalipto apresentou valor intermediário (0,58 dS/m b), formando grupo estatístico distinto.

Para a percentagem de sódio trocável (PST), o Milho apresentou o maior valor (14,33% a), situando-se próximo ao limite de 15% considerado como alerta para sodificação. A Mandioca registrou PST moderado (11,00% b), seguida pela Banana (9,00% c), enquanto Pitaya (1,00% d), Mata preservada (1,00% d) e Eucalipto (2,00% d) mantiveram valores mínimos de risco. A combinação desses parâmetros revela cenários distintos: enquanto Banana e Milho apresentam tanto elevada condutividade elétrica quanto PST considerável, configurando situação de alerta para salinização, a Mandioca mantém baixa CE (0,15 dS/m) mas PST moderado (11,00%), indicando possível risco de sodificação mesmo na ausência de salinidade aparente. Em contraste, Pitaya, Mata Nativa e Eucalipto mantêm ambos os indicadores em níveis seguros. A precisão analítica foi adequada para ambos os parâmetros, com coeficientes de variação de 5,91% para CE e 7,36% para PST, conferindo alta confiabilidade aos padrões observados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área da pitaya apresentou os melhores indicadores de conservação e fertilidade do solo, com valores semelhantes aos da mata preservada (Testemunha). As áreas do eucalipto e da mandioca mostraram resultados intermediários. Já as áreas do milho e da banana revelaram os piores índices, com claro desequilíbrio químico.

A mata preservada confirmou seu papel como referência de solo conservado, apresentando índices adequados de fertilidade. Em comparação, os sistemas do milho e da banana sinalizaram risco evidente de degradação química, enquanto a pitaya mostrou-se o sistema agrícola mais próximo da condição de equilíbrio natural.

Para as áreas com indicadores críticos (milho e banana), recomenda-se a revisão urgente das práticas de manejo, incluindo o uso adequado de fertilizantes, a análise da qualidade da água de irrigação e a incorporação regular de matéria orgânica. O sistema de manejo adotado na pitaya surge como o modelo mais sustentável para as condições do semiárido.

7 REFERÊNCIAS

SEIXAS, Djalma. **Manejo e conservação de solos**. Revista AIBA Rural, n. 18, ano VI, 4º trimestre, 2020. Disponível em <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2021/01/19/manejo-e-conserva%C3%A7%C3%A3o-de-solos>. Acesso em: 19 set. 2025.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.

MANEJO e conservação de solo e água: **formação, implantação e metodologias**. Volume 1. Editado por André Pellegrini e Graziela Moraes de Cesare Barbosa. Curitiba: Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada, 2023.

BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerici de; SOUZA, Luciano da Silva. **Manejo e conservação do solo e da água**. 1. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2019.

MANEJO e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Organizado por Rachel Bardy Prado; Ana Paula Dias Turetta; Aluísio Granato de Andrade. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

CONSERVAÇÃO do solo. [S. l.], 2018. 16 p. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/10_conservacao_solo.pdf. Acesso em: 12 out. 2024.

ALMEIDA, R. G. de et al. Benefícios dos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta para a qualidade do solo. **Embrapa Gado de Corte**, 2021.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 345-354, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2021. Disponível

em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/atlas-irrigacao>. Acesso em: 05 nov. 2024.

BRASIL. **Sistema Nacional de Pesquisa em Solos (SNPS)**. Embrapa Solos, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos>. Acesso em: 05 nov. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Custos de produção agrícola: a cultura da mandioca**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>. Acesso em: 05 nov. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema Plantio Direto: princípios e práticas**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-plantio-direto>. Acesso em: 06 nov. 2024.

_____. **Cultivo da Pitaya no Semiárido**. Embrapa Semiárido, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/semiariado>. Acesso em: 08 nov. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Soil salinity assessment**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal.html>. Acesso em: 15 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 15 nov. 2024.

_____. **Banco de Dados Meteorológicos**. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Calagem e Adubação para o Estado do Rio Grande do Norte**. 2022. Disponível em: <https://sbcs.org.br/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ARAÚJO FILHO, J. A. de et al. Manejo Sustentável de Terras no Semiárido Brasileiro. In: **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. UFC, 2018.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1985. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. da. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Degradação de recursos naturais em função de erosão hídrica em diferentes manejos de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 507-515, 2000.