

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Mariana Marques Cardoso

**DINÂMICA DA ACIDEZ E DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM
DIFERENTES USOS DO SOLO**

São João Evangelista

2025

MARIANA MARQUES CARDOSO

**DINÂMICA DA ACIDEZ E DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM
DIFERENTES USOS DO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto
Federal de Minas Gerais - *Campus* São João
Evangelista para obtenção do grau de bacharel em
Agronomia.

Orientador: Rafael Carlos dos Santos.

Coorientadora: Valéria Santos Cavalcante

São João Evangelista

2025

C268d Cardoso, Mariana Marques de.
Dinâmica da acidez e disponibilidade de micronutrientes em
diferentes usos do solo/Mariana Marques de Cardoso – 2025.

27f.: il.

Orientador: Dr. Rafael Carlos dos Santos.

Coorientadora: Dr. Valéria Santos Cavalcante.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Propriedades do solo. 2. Disponibilidade nutrientes. 3. pH. 4.
Tipos de uso do solo. I. Cardoso, Mariana Marques de. II. Instituto
Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.42

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Mariana Marques Cardoso

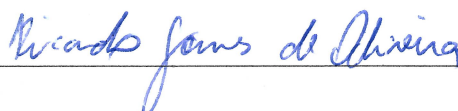
**DINÂMICA DA ACIDEZ E DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES
EM DIFERENTES USOS DO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia
do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus
São João Evangelista para obtenção do grau de
bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 15/08/2025 pela banca examinadora:



Prof. Dr. Rafael Carlos dos Santos- IFMG-SJE (Orientador)



Me. Ricardo Gome de Oliveiras – IFMG-SJE



Prof. Dr. Alisson José Eufrazio de Carvalho- IFMG-SJE

Dedico este trabalho aos meus pais
Mariângela e Iruan, que sempre me
incentivaram e me apoiaram em tudo.
Minha vó Terezinha (*In memoriam*), que
não me viu formar, mas viveu o sonho da
graduação comigo. E minha filha Maria
Cecilia, TUDO sempre será por você.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Iruan e Mariângela, meu pai que sempre foi o meu número de emergência, nunca em momento nenhum desacreditou do meu potencial e fez ser forte, suas duras palavras me fizeram a mulher que sou hoje, minha mãe que mesmo não tendo o dom da palavra só com um abraço conseguia transmitir tudo, que sempre me encorajou e acreditou desde o primeiro momento, juntos nos três vivemos o sonho da graduação.

A minha filha, Maria Cecília, que é a minha fonte de amor inesgotável, meu ponto de equilíbrio em meio ao caos, minha resposta mais linda de oração, quem me motiva a ser melhor todo dia.

Aos meus avós Terezinha, Mariza e Hugo (*in memoriam*), queria dedicar essa vitória também a vocês tenho certeza de que de onde estiverem estão orgulhosos e felizes, vocês sempre estarão presentes na minha alma, no meu coração, afinal, o amor é sempre o que fica. Em especial a minha vó Terezinha, que é minha referência de pessoa, minha maior inspiração, essa conquista é nossa.

Aos meus amigos de graduação, que dividiram esses longos e árduos anos comigo, em especial, Jessica Soares, Igor Araujo, Bruna Xavier e Heloisa Xavier, vocês foram casa, família, quando eu mais precisei, dentro e fora o IF, vou levar para sempre a nossa amizade.

Aos meus professores que com maestria me ensinaram tudo que sei hoje, para ser a profissional que estou me formando, em especial meu orientador Rafael Carlos, que foi um amigo, durante esses anos e ao Alisson, professor, amigo, confidente, que por muitas vezes não me deixou desistir me aconselhando, vou levar vocês para sempre em meu coração.

Aos meus tios, tias da maçonaria, meus amigos aqui feito dentro e fora do *campus*, que por mais de 5 anos forma casa em São João, nunca irei me esquecer de tudo que vocês fizeram por mim, ganhei uma segunda família.

A minha família, de Capelinha e São João Del Rei, que viveram o sonho da agronomia comigo, vocês são sensacionais.

E por último Gostaria de agradecer a Deus e Nossa Senhora Aparecida, que por toda a minha graduação foi fonte de sustento e acalento, sem eles nada seria possível.

Com carinho, Mariana Cardoso.

“Só vive o propósito quem suporta o processo. Quando você nem imaginar, as bênçãos chegarão, ao seu tempo.”

Marcos Cruz Santos

RESUMO

A composição da cobertura vegetal do solo e o manejo da terra influenciam diretamente a ciclagem dos elementos químicos e é um fator chave para a biogeoquímica do solo e para o comportamento dos nutrientes. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 4 x 3, totalizando 36 unidades experimentais. Foram avaliadas quatro áreas distintas: Mata Atlântica nativa, floresta plantada de Eucalipto, café irrigado e sistema agroflorestal, com amostras coletadas em três profundidades. O objetivo principal foi analisar o impacto das práticas de manejo sobre atributos químicos como pH, teor de alumínio trocável (Al^{3+}), cobre (Cu^{2+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e zinco (Zn^{2+}). Os resultados demonstram que o manejo agrícola, especialmente a calagem e a adubação, altera significativamente a química do solo. A área de café irrigado, que recebeu calagem, apresentou o pH mais elevado e a total neutralização do Al^{3+} , além de maiores concentrações de Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} . Em contrapartida, as áreas de floresta, sem manejo, exibiram pH mais baixo e elevados níveis de Al^{3+} . O teor de ferro foi menor na floresta nativa, possivelmente devido ao menor teor de argila. A pesquisa conclui que o manejo do solo é um fator determinante na fertilidade, ressaltando a importância de práticas agronômicas como a calagem e a reposição de nutrientes para a sustentabilidade da produção em solos tropicais, com a necessidade de monitoramento contínuo para evitar a toxicidade por excesso.

Palavras-chave: Propriedades do solo. Disponibilidade nutrientes. pH. Tipos de uso do solo.

ABSTRACT

The composition of the soil's vegetation cover and land management directly influence the cycling of chemical elements, and are key factors for soil biogeochemistry and nutrient behavior. The experimental design adopted was a completely randomized design with a 4 x 3 factorial arrangement, totaling 36 experimental units. Four distinct areas were evaluated: native Atlantic Forest, planted Eucalyptus forest, irrigated coffee, and an agroforestry system, with samples collected at three depths. The main objective was to analyze the impact of management practices on chemical attributes such as pH and the contents of aluminum (Al^{3+}), copper (Cu^{2+}), iron (Fe^{2+}), manganese (Mn^{2+}) and zinc (Zn^{2+}). The results show that agricultural management, especially liming and fertilization, significantly alters soil chemistry. The irrigated coffee area, which received liming, had the highest pH and complete neutralization of Al^{3+} in addition to higher concentrations of Cu^{2+} , Mn^{2+} and Zn^{2+} . In contrast, the unmanaged forest areas exhibited lower pH and high levels of Al^{3+} . The iron content was lower in the native forest, possibly due to a lower clay content. The research concludes that soil management is a determining factor in fertility, highlighting the importance of agronomic practices such as liming and nutrient replacement for the sustainability of production in tropical soils. It also emphasizes the need for continuous monitoring to avoid toxicity from excess.

Keywords: Soil properties. Nutrient availability. pH. Land use types.

SUMARIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 2.1 | Parâmetros da fertilidade afetados pelo uso do solo | 12 |
| 3 | METODOLOGIA | 14 |
| 3.1 | Área de estudo | 14 |
| 3.2 | Delineamento experimental | 14 |
| 3.3 | Caracterização das áreas de estudo | 14 |
| 3.4 | Coleta e preparo das amostras | 15 |
| 3.5 | Análise dos dados | 17 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 18 |
| 4.1 | Aluminio-AL³⁺ | 20 |
| 4.2 | Cobre-CU²⁺ | 21 |
| 4.3 | Manganês-MN²⁺ | 22 |
| 5 | CONCLUSÕES | 25 |
| | REFERÊNCIAS | 26 |

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura quando se utiliza o termo “uso da terra” está se referindo às plantas que foram escolhidas para ocupar uma determinada área, para isso deve-se levar em consideração em especial a declividade e as características químicas e físicas do solo (LONG, 2014). O uso da terra pode influenciar de forma positiva ou negativa nas características químicas e físicas do solo. O exemplo mais drástico é o monocultivo contínuo, que pode levar ao esgotamento dos teores de determinadas elementos químicos do solo, alterando propriedades químicas e físicas do solo (AKINDE *et al.*, 2020).

É importante considerar que somente a conversão de floresta natural em terras agrícolas já é o suficiente para reduzir a qualidade física e química do solo (TELLEN, V. A., & YERIMA B. P. 2018). Outro ponto importante a se considerar é que a forma em que se utiliza a terra em longo prazo também afeta tanto o armazenamento de água como as propriedades de transporte (FU *et al.*, 2021). Outro fator que é muito afetado pelo uso do solo é a matéria orgânica do solo. Diferentes usos do solo podem afetar diretamente a disponibilidade da matéria orgânica do solo (MELO *et al.*, 2021) e consequentemente, os atributos que sofrem influência direta dela.

A fertilidade do solo é outro atributo que pode ser afetada pelo uso do solo. Freitas *et al.* (2017) argumentam que o aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais, como a diminuição da fertilidade e a desagregação do solo. Ainda segundo o mesmo autor, nas áreas modificadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, as principais modificações nos solos cultivados em relação às condições originais decorreram do aumento do pH e dos teores de cátions em virtude da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas. Além o pH e dos teores de macro e micronutrientes do solo, a matéria orgânica, o complexo sortivo, e o teor de elementos tóxicos como o Al^{3+} .

Apesar da influência do uso sobre a fertilidade do solo, ainda é preciso entender muitos aspectos relacionados à dinâmica de relação em diferentes condições práticas. Segundo Silva *et al.* (2025), do ponto de vista científico, a produção de conhecimento sobre o manejo do solo ainda apresenta lacunas importantes a serem preenchidas.

Logo, a avaliação da qualidade química do solo em diferentes usos da terra é crucial. Com base nesses dados, é possível ajustar o manejo das áreas, visando tanto o aumento da produção quanto uma maior preservação ambiental. Neste contexto, foi realizado um estudo baseado nas hipóteses de que: (1) a correção da acidez com calagem e práticas de adubação

influencia diretamente as propriedades químicas do solo em diferentes profundidades; (2) sistemas de uso distintos (café irrigado, floresta plantada de eucalipto, agrofloresta e mata nativa) induzem respostas contrastantes na disponibilidade de nutrientes; e (3) a matéria orgânica e a textura do solo modulam a dinâmica da acidez e da disponibilidade de nutrientes em solos tropicais.

Com base nessas hipóteses, os objetivos foram: (1) comparar os valores de pH e os teores de alumínio trocável entre diferentes usos do solo e profundidades; (2) quantificar e analisar a disponibilidade de nutrientes nos distintos sistemas; (3) relacionar os teores de matéria orgânica e a textura do solo com a acidez e a disponibilidade de nutrientes; (4) avaliar a influência das práticas de manejo na alteração dos atributos químicos; e (5) propor recomendações técnicas que conciliem a manutenção da fertilidade do solo com a sustentabilidade ambiental em agroecossistemas tropicais.

As descobertas fornecem avanços relevantes para cenários de uso e manejo sustentável do solo, capturando trajetórias plausíveis de intensificação agrícola e conservação ambiental, especialmente no contexto regional dos sistemas agrícolas e florestais sob domínio da Mata Atlântica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Parâmetros da fertilidade afetados pelo uso do solo

A fertilidade do solo está diretamente ligada à eficiência química das plantas. As variações dessa dinâmica podem ser observadas de diferentes formas, sendo comumente feita através das análises de disponibilidade destes nutrientes. Essa dinâmica de componentes tem sua variação girando em torno de 16 nutrientes essenciais ligados as atividades fisiológicas das plantas, sendo que sete destes são denominados micronutrientes (HANSEL e LIMBERGER, 2016; SANTOS *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2024).

O termo micronutriente está relacionado a quantidade que a planta irá utilizar desse nutriente para um desenvolvimento saudável. Mesmo sendo utilizados em pequenas quantidades a ausência deles pode restringir o desenvolvimento de estruturas e/ou a funcionalidade metabólica da planta, o que pode afetar o crescimento e conseqüentemente a produtividade da cultura discutida (SANTOS *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2024). Entretanto o excesso destes nutrientes no solo também pode desencadear respostas negativas no desenvolvimento das plantas, interferindo no crescimento e produtividade (JUCOSKI *et al.*, 2016).

A disponibilidade de micronutrientes no solo é influenciada por fatores como pH (potencial hidrogeniônico), textura, matéria orgânica e outros elementos presentes. O pH do solo é um fator crucial que influencia a disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. Em condições de alta acidez (pH abaixo de 4,5), elementos como ferro, alumínio e manganês podem se tornar excessivamente solúveis, atingindo níveis tóxicos para as plantas. Por outro lado, em solos com pH muito elevado (acima de 8,0), a disponibilidade de ferro, manganês e zinco é reduzida, prejudicando o desempenho vegetal. Portanto, o pH ideal do solo é fundamental para garantir a absorção adequada de nutrientes pelas plantas e promover seu crescimento saudável (BRANDÃO e LIMA, 2002; SANTOS *et al.*, 2021).

Outro fator relevante é a disponibilidade de matéria orgânica que desempenha um papel crucial na disponibilização de nutrientes no solo, influenciando diretamente a qualidade e fertilidade do solo em áreas agrícolas. Ela atua na estrutura do solo, fornecendo substâncias agregantes que melhoram a capacidade de retenção de água e aeração, além de ser fonte de micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica também contribui para a capacidade catiônica do solo, que retém e libera nutrientes de forma gradual,

e ajuda a tamponar o pH, mantendo-o em níveis adequados para a absorção dos nutrientes pelas plantas (LUIZ *et al.*, 2007; TADINE *et al.*, 2020; MELO *et al.*, 2021).

A matéria orgânica do solo é essencial para a fertilidade e saúde do solo, afetando diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, como o café. Ela melhora as propriedades físicas do solo, como densidade, estrutura, aeração, retenção de água e consistência, impactando na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas. Além disso, a matéria orgânica também influencia as propriedades químicas e biológicas do solo, criando um ambiente mais propício para o desenvolvimento radicular e atividade microbiana benéfica (MELO *et al.*, 2021).

O alumínio (Al^{3+}), apesar de ser um dos elementos mais abundantes nos solos brasileiros, especialmente os ácidos, representa um desafio para a agricultura devido à sua toxicidade. O Al^{3+} em elevadas concentrações prejudica o desenvolvimento radicular das plantas, comprometendo a absorção de nutrientes essenciais e tornando-as mais vulneráveis a pragas e doenças (SOUZA *et al.*, 2022). Paralelamente, micronutrientes como cobre (Cu^{2+}), ferro (Fe^{2+}), zinco (Zn^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) desempenham papéis cruciais no desenvolvimento vegetal, participando de processos fisiológicos como fotossíntese, respiração e metabolismo. No entanto, tanto a deficiência quanto o excesso desses micronutrientes podem ser prejudiciais, afetando o crescimento, a produtividade e a qualidade das plantas (JUCOSKI *et al.*, 2016; SILVA e BERTI, 2022).

O uso intensivo do solo, especialmente em atividades agrícolas e pecuárias, em ações de exploração contínua e, muitas vezes, inadequada, resulta diretamente no esgotamento de micronutrientes e na perda de matéria orgânica, essenciais para a fertilidade e estrutura do solo. Consequentemente, ocorre um desequilíbrio de nutrientes e a acidificação do solo, o que, por sua vez, aumenta a disponibilidade de alumínio tóxico para as plantas, prejudicando seu desenvolvimento e a produtividade das lavouras (FERREIRA, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em áreas de cultivo agrícola e florestal no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista (IFMG-SJE), localizado nas coordenadas 42°68'17" S e 42°80'51" W, altitude 680 m, situado na região leste do Estado de Minas Gerais, sob o domínio do bioma Mata Atlântica. Segundo a classificação de Köppen, apresenta clima temperado chuvoso-mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco, classificado como Cwa. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 20,2 °C e 1.377 mm, respectivamente. O relevo característico da região é montanhoso.

3.2 Delineamento experimental

Os tratamentos foram compostos por quatro diferentes usos do solo e três profundidades de amostragem, totalizando 12 tratamentos. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com arranjo e esquema fatorial 4 x 3 com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais.

3.3 Caracterização das áreas de estudo

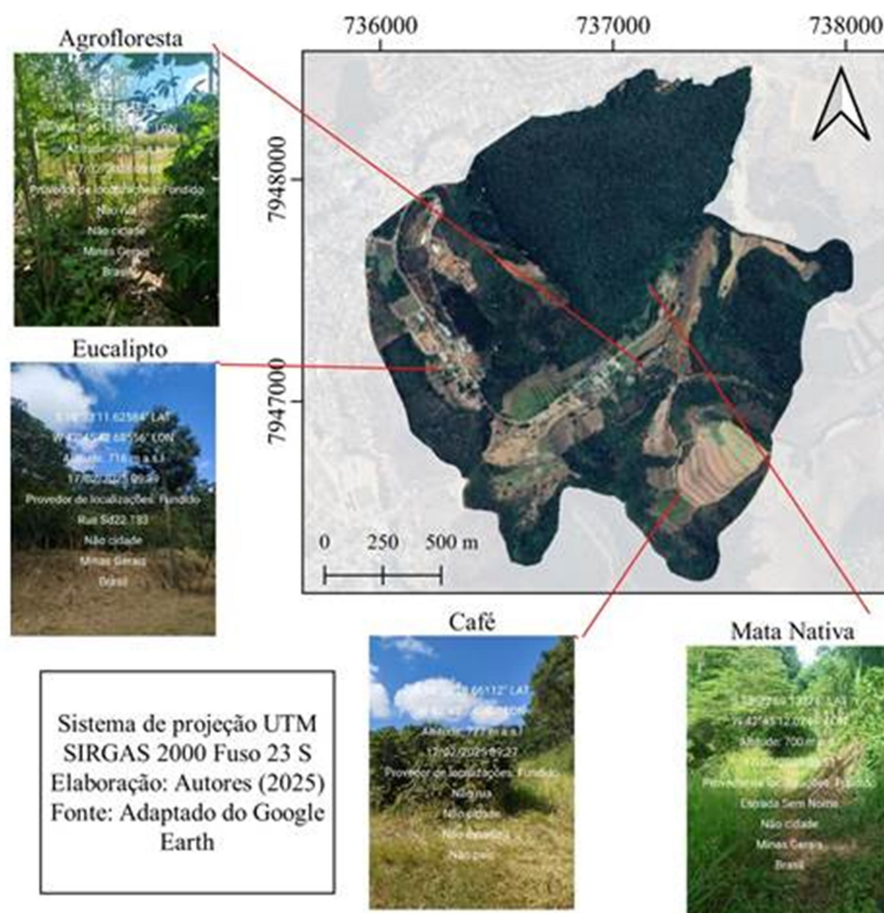
Para locais de estudo foram selecionadas as seguintes áreas: fragmento com floresta nativa de Mata Atlântica, considerada como referência pelo seu estado de equilíbrio e três usos do solo: Floresta plantada de Eucalipto; cultivo de café irrigado; e sistema agroflorestal (Figura 1).

A floresta plantada é composta por eucalipto da espécie *Eucalyptus cloeziana* com mais de 16 anos de plantio. Atualmente, realiza-se o manejo da rebrota, mas a área já está consolidada, sem práticas de adubação e controle de formigas. Já a agrofloresta integra espécies arbóreas e frutíferas em um sistema de produção sustentável, promovendo a diversificação biológica. O manejo é realizado de forma a favorecer a regeneração natural e otimizar as interações naturais.

Por fim, na área de café irrigado, cultiva-se a espécie *Coffea arabica* (Arabica) de duas variedades, sendo elas: Topázio 1190 e Catiguá, implementadas em 2012. Para plantio o

calcário foi incorporado tanto na cova, em 30 cm de profundidade, quanto na área total, em 60 cm de profundidade. Os tratos culturais posteriores envolvem deposição de braquiária cortada das entrelinhas do café quatro vezes ao ano, adubação de base com ureia na superfície do solo sob a copa do cafeeiro, além da aplicação de micronutrientes da Viça Café Nutrição® da empresa Café Brasil Fertilizantes duas vezes ao ano através da pulverização. Nos períodos de seca é utilizado o sistema de irrigação a fim de evitar o estresse hídrico, sendo ministrado em média três vezes na semana.

Figura 1 – Caracterização das áreas com diferentes usos do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.4 Coleta e preparo das amostras

Em cada sistema de uso foram coletadas três amostras compostas de solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Coelho *et al.*, 2006). Para realização da coleta, cada uma das quatro áreas constituiu uma gleba de amostragem. Foram coletadas 10 amostras

simples para formar uma amostra composta por gleba. As amostras foram coletadas de forma aleatória, para manter a representatividade (EMBRAPA, 2009).

As amostras foram levadas ao Laboratório de física e fertilidade do solo do IFMG-SJE, onde foram secas ao ar, homogeneizadas, passadas em peneira com ABNT 2020s com abertura de 2 mm para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) usada na sequência de análises.

O pH foi determinado em água por meio de medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H^+ , na solução do solo por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água, na proporção 1:2,5. O Al^{3+} foi extraído por solução de KCl, 1 mol por litro, sendo titulado com NaOH na presença de azul de bromotimol como indicador. Os micronutrientes Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+} foram determinados na solução mehlich 1 com leitura realizada no espectrofotômetro icp (EMBRAPA,2009).

Adicionalmente foi realizada a análise da matéria orgânica do solo pelo método de Walkley e Black (1934) modificado por Jackson (1982), descrito no Manual de Análise Químicas de Solo, Planta e Fertilizantes da EMBRPA (BRASIL, 1997), o qual consiste na oxidação do carbono orgânico do solo pelo Cr^{6+} na presença de H_2SO_4 concentrado, na qual o excesso de Cr^{6+} é titulado com Fe^{2+} . A textura do solo foi feita pelo método da pipeta com dispersão química da amostra em NaOH 1 mol L^{-1} e física por agitação constante a 50 rpm por 16 h em agitador tipo Wagner (Embrapa, 2017). Os dados de matéria orgânica e textura nas áreas de avaliações estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Teores de matéria orgânica e argila em três profundidades nos diferentes usos do solo.

| Local | Profundidade (cm) | Matéria orgânica (dag kg^{-1}) | Teor de argila (dag kg^{-1}) |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Café Irrigado | 0-20 | 1,52 | 56,00 |
| | 20-40 | 1,18 | 55,10 |
| | 40-60 | 0,97 | 49,50 |
| Eucalipto | 0-20 | 2,48 | 59,20 |
| | 20-40 | 1,52 | 53,40 |
| | 40-60 | 1,29 | 46,80 |
| Agrofloresta | 0-20 | 3,00 | 52,30 |
| | 20-40 | 1,52 | 46,70 |
| | 40-60 | 1,07 | 55,10 |
| Mata nativa | 0-20 | 3,00 | 36,00 |
| | 20-40 | 1,41 | 32,00 |

40-60

1,18

28,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.5 Análise dos dados

Os dados referentes aos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância por meio do teste F a 5% de probabilidade de erro as medias dos tratamentos foram comparadas por meio do Tukey ($\alpha = 0,05$) com uso do software SISVAR (FERREIRA, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No resumo da análise de variância (Tabela 2) foi possível observar que todos os atributos químicos avaliados apresentaram efeito significativo para o uso do solo, já para os valores de profundidade a amostragem promoveu efeito significativo sobre os teores de Al^{3+} , Cu, Mn e Zn do solo.

Tabela 2 – Resumo da análise da variância dos dados.

| FV | GL | pH | Al^{3+} | Cu ²⁺ | Fe ²⁺ | Zn ²⁺ | Mn ²⁺ |
|----------------------|----|--------------------|-----------|------------------|----------------------|------------------|------------------|
| | | -----QMR----- | | | | | |
| Repetição | 2 | 0,09 | 0,0008 | 0,014 | 328,82 | 9,19 | 0,18 |
| Uso do solo (A) | 3 | 5,94** | 1,85** | 6,39** | 8970,98** | 5608,89** | 187,48** |
| Prof. amostragem (B) | 2 | 0,24 ^{ns} | 0,12* | 0,87** | 40,88 ^{ns} | 1604,05** | 116,08** |
| Interação (A x B) | 6 | 0,15 ^{ns} | 0,099* | 0,37** | 483,48 ^{ns} | 421,64** | 46,31** |
| Resíduo | 22 | 0,08 | 0,03 | 0,066 | 549,90 | 36,37 | 1,09 |
| Total | 35 | | | | | | |
| CV (%) | | 5,69 | 26,73 | 20,08 | 15,22 | 27,36 | 29,83 |

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. ns = não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os valores de pH e Fe foram avaliados somente em função do uso do solo (Tabela 2). A partir das análises dos resultados podemos observar que os valores de pH entre os diferentes usos do solo apresentaram diferenças entre os sítios, sendo os menores valores observados na Floresta plantada de Eucalipto e da Floresta nativa, que não diferiram entre si (Tabela 3). Tal resultado pode ser justificado pela ausência de manejo em ambas as áreas.

Tabela 3 – Comparação das médias de tratamento dos valores de pH e Fe testadas em função dos diferentes usos do solo.

| Uso do solo | pH | Fe ²⁺ |
|---------------|-------|---------------------|
| | ----- | mg dm ⁻³ |
| Café irrigado | 6,13a | 166,73a |

| | | |
|--------------|-------|---------|
| Eucalipto | 4,29c | 182,64a |
| Agrofloresta | 5,03b | 157,69a |
| Floresta | 4,57c | 109,34b |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey. Dados: pH = potencial hidrogeniônico do solo, Fe^{2+} = teor de ferro disponível no solo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os sítios amostrais do Café Irrigado e da Agrofloresta apresentaram valores maiores para o pH. No Café Irrigado o maior valor de pH pode estar associado ao manejo da área, principalmente relacionado a aplicação de calagem em área total feita para o plantio e a adubação periódica feita na área. A prática de correção por meio da calagem consiste na aplicação de calcário ao solo, com o objetivo de elevar o pH e reduzir a acidez, proporcionando um ambiente mais adequado para o desenvolvimento das plantas (AGUIAR *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2021; FERREIRRA *et al.*, 2021).

Além deste fator, podemos associar ambas as áreas, Café Irrigado e Agrofloresta, a decomposição da matéria orgânica, já que em ambos os sítios amostrais é praticado o manejo utilizando a decomposição de vegetação, sendo no caso do café restrito apenas a poda da brachiaria associada a plantação. A correlação entre a Floresta e a Floresta plantada de Eucalipto pode estar associada à estabilidade de ambas as áreas, por se tratar de matas consideradas consolidadas.

A decomposição da matéria orgânica no solo está intimamente ligada aos valores de pH, influenciando diretamente a acidez ou alcalinidade do meio. Durante a decomposição da matéria orgânica, são liberados ácidos orgânicos que podem influenciar o pH do solo. Em solos com baixa capacidade de tamponamento, a liberação desses ácidos pode levar a uma diminuição do pH, tornando o solo mais ácido. Por outro lado, em solos com alta capacidade de troca catiônica, a presença de matéria orgânica pode contribuir para aumentar o pH, tornando o solo menos ácido ou até mesmo alcalino, dependendo da concentração de íons presentes (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2021).

Quanto aos valores do Fe o teste agrupou a média de três áreas, Café Irrigado, Floresta plantada de Eucalipto e Agrofloresta, sendo que apenas a área da Floresta Nativa difere das demais por apresentar valores mais baixos (Tabela 3). Tais valores podem estar associadas ao tipo de solo presente nas áreas, no momento das coletas de campo observou-se que as três primeiras apresentam solos mais argilosos em relação a Floresta Nativa.

Importante ressaltar que a disponibilidade de Fe também está relacionada ao teor de argila do solo. Na comparação da textura do solos das áreas avaliadas percebeu-se que a área ocupada com floresta apresentou o menor teor de argila em relação às demais (Tabela 1). O menor teor de ferro observado na área ocupada com floresta deve-se, possivelmente, ao teor mais elevado no solo dessa área. Segundo Jones *et al.* (2003) e Pegoraro *et al.* (2006) o aumento da matéria orgânica no solo ocasiona mudança na disponibilidade de micronutrientes pelo aumento da formação de complexos solúveis com a matéria orgânica do solo e seus produtos de decomposição e compostos hidrossolúveis lixiviados dos resíduos vegetais em processo de decomposição

Como descrito anteriormente, os micronutrientes Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , e o Al^{3+} apresentaram interação significativa entre uso do solo e profundidade de amostragem para os teores. Para melhor compreensão dos dados, foi feito o estudo do desdobramento da interação entre os diferentes usos do solo em cada profundidade de amostragem (Tabela 4).

4.1 Alumínio- Al^{3+}

O valor 0 cmol dm^{-3} de Al^{3+} no café em todas as profundidades (Tabela 4) deve-se à calagem que foi feita em área total antes do plantio e incorporação até 60 cm. A calagem, prática essencial para a correção da acidez do solo, exerce um papel crucial na redução dos teores de alumínio (Al^{3+}) no solo. Esse é feito é importante para o desenvolvimento das plantas, uma vez que em altas concentrações o Al^{3+} pode prejudicar o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. A aplicação de calcário em solos ácidos faz com que o carbonato de cálcio, presente no calcário reaja com a água no solo, liberando íons hidroxila (OH^-). Esses íons reagem com os íons de hidrogênio (H^+) formando água, o que eleva o pH, e também o Al^{3+} disponível no solo formando AlOH_3 que é insolúvel, tornando-o indisponível para absorção pelas raízes. Esse processo não apenas reduz a toxicidade do alumínio, mas também contribui para o aumento da disponibilidade de outros nutrientes essenciais, como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (GOMES, 2024).

Teores elevados de Al^{3+} é comum em solos de regiões tropicais, uma vez que o alumínio é um elemento abundante na crosta terrestre e está presente nos minerais que formam o solo, como por exemplo o mineral de gibsitá (RONQUIM *et al.*, 2020).

Tabela 4 - Comparação das médias de tratamento dos teores de micronutrientes e alumínio no solo para a interação entre os diferentes manejos do solo por profundidade de amostragem.

| Uso do solo | Al ³⁺ | Cu ²⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| | cmol dm ⁻³ | -----mg dm ⁻³ ----- | | |
| Profundidade de amostragem 0 – 20 cm | | | | |
| Café irrigado | 0 c | 3,07 a | 84 a | 19,90 a |
| Eucalipto | 1,22 a | 1,20 b | 3 d | 0,73 c |
| Agrofloresta | 0,4 b | 0,75 b | 18,07 c | 2,29 c |
| Floresta | 0,46 b | 1,23 b | 32,97 b | 5,10 b |
| Profundidade de amostragem 20 – 40 cm | | | | |
| Café irrigado | 0 b | 2,73 a | 60,17 a | 8,27 a |
| Eucalipto | 0,85 a | 1,03 b | 2,30 b | 0,43 b |
| Agrofloresta | 0,75 a | 0,47 c | 5,35 b | 0,75 b |
| Floresta | 0,80 a | 0,83 bc | 11,27 b | 0,43 b |
| Profundidade de amostragem 40 – 60 cm | | | | |
| Café irrigado | 0 c | 1,63 a | 30,50 a | 2,70 a |
| Eucalipto | 1,22 a | 1,20 ab | 3,00 b | 0,73ab |
| Agrofloresta | 0,85 ab | 0,33 c | 4,20 b | 0,50 ab |
| Floresta | 0,82 b | 0,93 b | 9,50 b | 0,27 c |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O maior valor para o Al³⁺ foi detectado no sítio do Floresta plantada de Eucalipto nas profundidades de 0 a 20 cm e 40 a 60 cm. Este valor pode estar associado à ausência de manejo da área, decorrente da consolidação, vale destacar que segundo Wilcken *et al.* (2008) o Eucalipto é considerado resistente a esse elemento, não interferindo no desenvolvimento da planta. Para as outras profundidades e usos os valores não diferiram entre si, apresentando baixas concentrações.

4.2 Cobre-CU²⁺

Os resultados mostram que o teor de Cu^{2+} na profundidade de 10 - 20 cm apresentou variação significativa entre as variáveis apenas no sítio amostral do Café Irrigado (Tabela 4). Na análise desenvolvida neste ponto foi detectado uma concentração de $3,7 \text{ mg dm}^{-3}$ do micronutriente. As maiores concentrações de Cu^{2+} registradas no Café Irrigado podem estar associadas a aplicação via adubação por pulverização que é feita duas vezes ao ano utilizando o *®Viça Café*, produto focado para a reposição de micronutrientes, entre eles o Cu. Segundo Nachtigall e Nava (2010) a adubação foliar com “aplicações frequentes, em cultivos perenes, podem levar a um acúmulo do nutriente no solo, o qual deve ser considerado quando da aplicação anual, via solo.” Os demais sítios foram correlacionados apresentando baixas concentrações nesta profundidade.

Na profundidade de 20 - 40 cm, observou-se, maior variação entre os usos do solo, sendo novamente a maior concentração registrada no Café Irrigado (Tabela 4). A Mata Nativa ficou na interseção entre os pontos da Floresta plantada de Eucalipto, segundo maior valor observado, e da Agrofloresta, menor valor. Já na profundidade de 40 - 60 cm, assim como nas profundidades anteriores, o Café Irrigado apresentou a maior concentração entre os sítios, entretanto nesta profundidade o sítio da Floresta plantada de Eucalipto apresentou maior proximidade com o Café Irrigado, sendo apenas $0,43 \text{ mg dm}^{-3}$ de distância entre os dois sítios. Em solos com altos teores de matéria orgânica, o nível crítico de cobre (Cu^{2+}) para as plantas tende a ser mais elevado, o que significa que a deficiência desse micronutriente pode ocorrer mesmo em concentrações consideradas adequadas em outros tipos de solo (FERREIRA *et al.*, 2021; MATOS *et al.*, 2024).

4.3 Manganês- Mn^{2+}

Quanto às análises da concentração de Mn^{2+} os valores mais altos em todas as profundidades no Café Irrigado. Na camada superficial (0 – 20 cm) foram observadas diferenças entre os tratos culturais, além do café que apresentou a maior concentração, a Floresta Nativa e a Agrofloresta também apresentaram valores significativos do micronutriente nesta camada. Entretanto a concentração do Mn na Floresta plantada de Eucalipto foi consideravelmente mais baixo que os demais analisados. Os altos valores destes pontos podem estar associados ao aporte de matéria orgânica que interfere na composição e disponibilidade deste micronutriente (FERREIRA *et al.*, 2021).

Nas demais profundidades e usos do solo o efeito foi semelhante, onde apenas o Café Irrigado diferiu dos demais usos, apresentando valores mais elevados. Esta discrepância pode

estar relacionada a utilização da aplicação da adubação via foliar descrita anteriormente e a sua consequente deposição posterior no solo (NACHTIGALL e NAVA, 2010).

Zinco-Zn²⁺

Para o Zn²⁺ novamente os valores mais altos foram observados no Café Irrigado para todas as profundidades (Tabela 4), o segundo maior valor quanto a presença do Zn²⁺ na camada de 0 – 20 cm foi obtido na área da Floresta Nativa, já os demais sítios, pela proximidade dos valores, foram agrupados. Nas demais profundidades apenas o café diferiu dos demais usos, apresentando valores mais elevados. Como discutido anteriormente ambos os valores podem estar associados a adubação por pulverização feita no Café Irrigado e na Floresta Nativa ao alto aporte de matéria orgânica (NACHTIGALL e NAVA, 2010; FERREIRRA *et al.*, 2021.).

Na profundidade 20 - 40 cm houve resultado semelhante entre os tratamentos da Agrofloresta, do Floresta plantada de Eucalipto e da Floresta Nativa. Já para a profundidade 40 - 60 cm a semelhança nos teores de Zn²⁺ foi observada na Floresta plantada de Eucalipto e a Agrofloresta, sendo os usos próximos da cultura do Café Irrigado. Nesta profundidade apenas a Floresta Nativa não teve relação com os demais.

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que as práticas de manejo do solo, como a calagem e a adubação, desempenham um papel determinante na alteração e melhoria dos atributos químicos do solo em áreas de cultivo. A análise da variância demonstra o efeito significativo do uso do solo sobre todos os atributos químicos avaliados, evidenciando a influência direta das intervenções humanas. Em consonância com a literatura (AGUIAR *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2021; FERREIRRA *et al.*, 2021), a calagem se mostrou uma prática eficaz na correção da acidez, conforme observado na área de Café Irrigado, onde a aplicação de calcário com incorporação profunda resultou em valores de pH elevados e na total neutralização dos teores de Al³⁺ em todas as profundidades amostradas. Este resultado reforça a importância da calagem para mitigar a toxicidade de alumínio, um problema comum em solos de regiões tropicais, conforme destacado por Ronquim *et al.* (2020).

Por outro lado, a ausência de manejo nas áreas de Floresta e de Eucalipto resultou em pH mais baixo e teores mais elevados de Al³⁺, refletindo as condições de acidez natural desses solos (RONQUIM *et al.*, 2020). A disponibilidade de micronutrientes, como Cu²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺, também foi significativamente influenciada pelo manejo. A área de Café Irrigado, com seu regime de adubação foliar, apresentou as maiores concentrações desses elementos em todas as profundidades, corroborando a literatura que aponta para o acúmulo de nutrientes no solo decorrente de aplicações frequentes (NACHTIGALL e NAVA, 2010). Em contraste, o

teor de ferro (Fe^{2+}) foi menor na Floresta Nativa, possivelmente associado ao seu menor teor de argila (GOMES, 2024). Assim, os resultados demonstram um claro contraste entre os sistemas manejados e não manejados, validando a premissa de que a fertilidade do solo em regiões tropicais é altamente dependente da adoção de práticas agrícolas que visem à correção da acidez e à reposição de nutrientes, elementos cruciais para o sucesso da produção agrícola.

As evidências obtidas neste estudo confirmaram as hipóteses propostas, em que o conjunto dos resultados estabeleceu diferenças significativas no padrão de adaptação dos atributos químicos do solo em função do manejo e do uso da terra. Verificou-se que tais alterações não se relacionam apenas ao pH e aos teores de Al^{3+} , mas também à disponibilidade de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e à dinâmica da matéria orgânica e da textura, que modulam a fertilidade dos solos tropicais. Outro aspecto a ser considerado é que, havendo variação no tipo de solo, no sistema de uso ou na intensidade de manejo, haverá mudanças nas necessidades de calagem e nas estratégias de adubação a serem adotadas.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados, as principais conclusões que puderam ser obtidas foram:

O uso e manejo do solo influenciaram de forma significativa a acidez, a disponibilidade de micronutrientes e os teores de Al^{3+} , com diferenças marcantes entre sistemas manejados e não manejados;

A aplicação de calagem no café irrigado resultou na neutralização completa do alumínio trocável até 60 cm de profundidade e no aumento do pH, além de promover acúmulo de Cu, Mn e Zn;

As áreas de floresta nativa e eucalipto, sem manejo, apresentaram pH mais baixo e maiores teores de alumínio, refletindo a acidez natural dos solos tropicais;

O sistema agroflorestal mostrou maior equilíbrio químico, associado ao aporte de matéria orgânica, configurando-se como alternativa sustentável para conservação e manejo da fertilidade do solo;

A matéria orgânica e a textura mostraram-se determinantes na disponibilidade de micronutrientes, reforçando a importância da ciclagem biogeoquímica e das interações edáficas para a manutenção da saúde do solo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de. (ed.). Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7. ed. rev. e atual. **Campinas: Instituto Agronômico**, 2014. 452 p. (Boletim IAC, n. 200). ISSN 0375-1538. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacboletim200.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2025.
- AKINDE, B. P.; OLAKAYODE, A. O.; OYEDELE, D. J.; TIJANI, F. O. Selected physical and chemical properties of soil under different agricultural land-use types in Ile-Ife, Nigeria. **Heliyon**, v. 6, n. 9, 2020. Disponível em: 10.1016/j.heliyon.2020.e05090. Acesso em: 1 nov. 2024.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. do. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de Pinus e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 46-59, 2002. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15294>. Acesso em: 1 nov. 2024.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizante**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- EMBRAPA. **Pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 11-18.
- FERREIRA, G. B. **Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais**. 2003. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- FERREIRA, W. P. M.; PEDROSA, A. W.; RIBEIRO, M. de F.; PICOLI, E. A. de T.; MAY, A.; DONZELES, S. M. L. Estado nutricional dos solos e cafeeiros da região das Matas de Minas. Brasília, DF: **Embrapa Café**, 2021. 42 p. (Embrapa Café. Documentos, 14). ISSN: 1678-1694. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136620>. Acesso em: 1 nov. 2024.
- FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S. FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. **Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo**. Revista UNIMAR Ciências, v. 6, p. 8-25, 2017.
- FU, Z.; HU, W.; BEARE, M.; THOMAS, S.; CARRICK, S.; DANDO, J.; LANGER, S.; MÜLLER, K.; BAIRD, D.; LILBURNE, L. Land use effects on soil hydraulic properties and the contribution of soil organic carbon. **Journal of Hydrology**, v. 602, p. 126741, 2021. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126741.

GOMES, M. **Residual de calagem em cultivos agrícolas no estado de Rondônia**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, 2024.

HANSEL, F. D.; LIMBERGER, M. **Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2016.

JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A. G.; VAN HEES, P. A. W. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, v. 248, n. 1, p. 31–41, jan. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1022308722100>. Acesso em: 2 dez. 2025.

JUCOSKI, G. de O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. de. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 772-780, out./dez. 2016. Disponível em: 10.5935/1806-6690.20160086. Acesso em: 1 nov. 2024.

LONG, H. Land use policy in China: Introduction. **Land Use Policy**, v. 40, p. 1-5, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837714000568>. Acesso em: 1 nov. 2024.

LUIZ, M. R. *et al.* Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

MATOS, Carlos Henrique Lima de; MONTENEGRO, Raiovane Araújo; UCHÔA, Sandra Cátia Pereira; JÚNIOR, José Frutuoso do Vale; SABÓIA, Victor Hugo Carvalho; TAVARES, Ingridy do Nascimento. Soil micronutrients: dynamics, availability, and fertilization management. **Seven Editora**, [S. l.], p. 60–79, 2024. Disponível em: <https://sevenpubl.com.br/editora/article/view/4561>. Acesso em: 1 nov. 2024.

MELO, F. B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, H. A.; SOUZA, M. O.. Disponibilidade de Nutrientes e de Matéria Orgânica em Função do Tempo de Uso do Solo em Plantio Direto no Cerrado do Sudoeste Piauiense. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2021. 25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455; 142). Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/estudos_observatorio-do-zarc/estudos-2021/2021-francisco-de-brito-melo-disponibilidade-de-nutrientes-e-de-materia-organica-em-funcao-do-tempo-de-uso-do-solo-em-plantio-direto-no-cerrado-do-sudoeste-piauiense.pdf. Acesso em: 2 dez. 2025.

NACHTIGALL, G.; NAVA, G. Adubação foliar: fatos e mitos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO, 8., 2010. **Anais... Embrapa Uva e Vinho**, 2010. p. 87-97.

PEGORARO, R. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 823-832, 2006.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 2. ed. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Territorial, ISSN 1806-3322; 35). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SANTOS, F. D. dos; FANTINEL, R. A.; WEILER, E. B.; CRUZ, J. C. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272–278, 2021. DOI: 10.17058/tecnolog.v25i2.15552. Disponível em: <https://seer.unisc.br/index.php/tecnologica/article/view/15552>. Acesso em: 1 nov. 2024.

SILVA, L. M. da; BERTI, M. P. da S. Manganês no solo e nas plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36560/15320221512>. Acesso em: 1 nov. 2024.

SILVA, W. L. C.; SANTOS, L. O.; SOUZA, K. R. **Manejo e fertilidade do solo: abordando a temática através de uma revisão de literatura**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.02, 2025. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/download/3463/3518>. Acesso em: 1 nov. 2024.

SOUZA, S. D. G. de; SOUSA, M. L. M. de. Efeitos ambientais da modernização agrícola no Brasil: o avanço da agricultura e pastagem nos biomas brasileiros. Revista **GEOgrafias**, Natal, v. 18, n. 1, p. 63, jan./jun. 2022. Disponível em: 10.35699/2237-549X.2022.38549.. Acesso em: 1 nov. 2024.

TELLEN, V. A.; YERIMA, B. P. Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. **Environmental Systems Research**, v. 7, n. 1, p. 1-29, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40068-018-0106-0>. Acesso em: 1 nov. 2024.

VIÇA CAFÉ NUTRIÇÃO. **Café Brasil Fertilizantes**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.cafebrasil.ind.br/produtos/vica-cafe-nutricao>. Acesso em: 8 ago. 2025.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FILHO, P. J. F.; DAL POGETTO, M. H. F. A. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Botucatu, SP: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2008.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista CERES**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 429–438, 1 jun. 2010. Disponível em: 10.1590/S0034-737X2010000300021.. Acesso em: 1 nov. 2024.