



**UFC**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**IRISLANE PEIXOTO TAVARES**

**MACRO E MICRONUTRIENTES NA SERAPILHEIRA DEPOSITADA EM SOLOS  
SUBMETIDOS A USOS DISTINTOS NO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA**

**2025**

IRISLANE PEIXOTO TAVARES

MACRO E MICRONUTRIENTES NA SERAPILHEIRA DEPOSITADA EM SOLOS  
SUBMETIDOS A USOS DISTINTOS NO SEMIÁRIDO

Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA

2025

IRISLANE PEIXOTO TAVARES

MACRO E MICRONUTRIENTES NA SERAPILHEIRA DEPOSITADA EM SOLOS  
SUBMETIDOS A USOS DISTINTOS NO SEMIÁRIDO

Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia  
do Centro de Ciências Agrárias, Departamento  
de Ciências do Solo da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 16/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

---

Profª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Rafaela Batista Magalhães  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MS. Renata Leite da Silva Freire  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

A Deus.

Aos meus pais, Maria do Socorro Peixoto  
Tavares e José Airton Calista Tavares.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos que me concedeu nesta vida e a força para não desistir nas horas difíceis.

À Universidade Federal do Ceará que me possibilitou uma formação digna e de referência.

À Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa pela orientação, confiança e paciência em me conceder parte do seu tempo para me orientar prontamente quando necessário.

A todos os professores que fizeram parte de minha formação na Universidade Federal do Ceará e que sempre serão lembrados.

À minha família, especialmente aos meus pais Maria do Socorro Peixoto Tavares e José Airton Calista Tavares, que nunca deixaram de acreditar na minha capacidade, e foram fundamentais na minha formação.

À minha irmã Crislane Peixoto Tavares, e ao meu irmão Crislandio Peixoto Tavares, pela motivação e ajuda dada na construção do trabalho.

Aos amigos que conquistei nesta jornada acadêmica, que serão eternamente lembrados.

Por fim, a todas as pessoas que de alguma forma participaram desse importante momento da minha vida.

“A agricultura é próxima da sabedoria e de certo modo sua parente.” (CÍCERO, Cato Maior de Senectute, 15.53).

## RESUMO

Reflorestamentos com eucalipto constituem prática conservacionista cujos benefícios à fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes foram observados em diferentes condições edafoclimáticas, restaurando atributos físicos, químicos e biológicos afetados pela degradação. Contudo, são limitados no semiárido brasileiro pelo déficit hídrico e intensificação de erosão e desertificação, questionando a efetividade da serapilheira na recuperação de solos arenosos. Neste estudo, foi testada a hipótese de que reflorestamento com eucalipto gera serapilheira mais rica em macro e micronutrientes do que em área de pasto degradado e se equipara à observada em mata nativa preservada. O objetivo foi quantificar biomassa e macro e micronutrientes (Ca, Mg, K, P, Na, Cu, Fe, Mn, Zn) na serapilheira de plantio de eucalipto em comparação a pasto degradado e mata nativa em Acaraú-CE. O experimento ocorreu em Acaraú-CE, com delineamento inteiramente casualizado, três tratamentos (mata nativa – MN, eucalipto – EUCA e área degradada – AD) e 20 repetições, totalizando 60 amostras de serapilheira retiradas por meio de coletores de 0,25 m<sup>2</sup>. As amostras foram secas a 60°C para obtenção da biomassa seca estimada em hectares, incinerada em mufla (450-550°C) e analisada por espectrometria de absorção atômica, fotometria de chama e espectrofotometria para quantificação de nutrientes (Ca, Mg, K, P, Na, Cu, Fe, Mn, Zn). Após teste de normalidade foi realizada análise de variância (ANOVA) que revelou diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) entre usos com MN apresentando maior biomassa (2,8 t ha<sup>-1</sup>), seguida por EUCA (2,4 t ha<sup>-1</sup>) e AD (0,8 t ha<sup>-1</sup>). Os aportes seguiram a ordem MN > EUCA > AD para todos os nutrientes, destacando-se Ca (18,69 kg ha<sup>-1</sup> em MN), Fe (292,87 kg ha<sup>-1</sup> em MN) e Mn (507,37 kg ha<sup>-1</sup> em MN). Constatou-se que o tipo de cobertura vegetal influencia significativamente a produção de serapilheira e o acúmulo de nutrientes, com diferenças significativas entre MN, EUCA e AD. O aporte de nutrientes em EUCA foi maior do que em AD, mas ficou abaixo da MN, destacando a importância do reflorestamento e da preservação de mata nativa no semiárido.

**Palavras-chave:** Ciclagem de nutrientes; Reflorestamento; Degradação do solo.

## ABSTRACT

Eucalyptus reforestation is a conservation practice whose benefits to soil fertility and nutrient cycling have been observed under different edaphoclimatic conditions, restoring physical, chemical, and biological attributes affected by degradation. However, it is limited in the Brazilian semi-arid region by water deficit and the intensification of erosion and desertification, raising questions about the effectiveness of litterfall in the recovery of sandy soils. This study tested the hypothesis that eucalyptus reforestation generates litterfall richer in macro and micronutrients than degraded pasture areas and comparable to that observed in preserved native forest. The objective was to quantify biomass and macro and micronutrients (Ca, Mg, K, P, Na, Cu, Fe, Mn, Zn) in the litterfall of eucalyptus plantations compared to degraded pasture and native forest in Acaraú-CE. The experiment took place in Acaraú-CE, with a completely randomized design, three treatments (native forest – MN, eucalyptus – EUCA and degraded area – AD) and 16 repetitions, totaling 48 litter samples collected using 0.25 m<sup>2</sup> collectors. The samples were dried at 60°C to obtain the estimated dry biomass in hectares, incinerated in a muffle furnace (450-550°C) and analyzed by atomic absorption spectrometry, flame photometry and spectrophotometry for nutrient quantification (Ca, Mg, K, P, Na, Cu, Fe, Mn, Zn). After a normality test, an analysis of variance (ANOVA) was performed, revealing significant differences ( $p < 0.01$ ) between land uses, with MN showing the highest biomass (2.8 t ha<sup>-1</sup>), followed by EUCA (2.4 t ha<sup>-1</sup>) and AD (0.8 t ha<sup>-1</sup>). Nutrient inputs followed the order MN > EUCA > AD for all nutrients, with Ca (18.69 kg ha<sup>-1</sup> in MN), Fe (292.87 kg ha<sup>-1</sup> in MN), and Mn (507.37 kg ha<sup>-1</sup> in MN) being the most significant. It was found that the type of vegetation cover significantly influences litter production and nutrient accumulation, with significant differences between MN, EUCA, and AD. Nutrient input in EUCA was higher than in AD, but lower than in MN, highlighting the importance of reforestation and preservation of native forest in the semi-arid region.

**Keywords:** Nutrient cycling; Reforestation; Soil degradation.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Localização das áreas de estudo e classe de solos: (EUCA) Área de reflorestamento com Eucalipto – Argissolo Vermelho-Amarelo – PVA, (MN) Mata Nativa, (AD) Área Degradada – Neossolo Quartzarênico – RQ ..... | 35 |
| Figura 2 – Área com plantio de eucalipto que caracteriza o Reflorestamento com Eucalipto (EUCA) para cultivo avaliado em Acaraú - CE .....   | 36 |
| Figura 3 – Área com vegetação de mata nativa (MN) avaliada em Acaraú - CE .....  | 37 |
| Figura 4 – Área experimental em Degradação (AD) avaliada em Acaraú - CE .....  | 38 |
| Figura 5 – Coleta da serapilheira para quantificação em Área experimental Degradada (AD) em Acaraú - CE .....  | 39 |
| Figura 6 – Serapilheira em processo de secagem em mufla para obtenção dos teores de nutrientes .....   | 40 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Gráfico 1 | – Distribuição de chuvas ao longo dos anos 2022 e 2023 em Acaraú – CE ..   | 34 |
| Gráfico 2 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para biomassa de serapilheira em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) .....   | 46 |
| Gráfico 3 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) ..... | 47 |
| Gráfico 4 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Potássio (K) e Fósforo (P) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) .....  | 50 |
| Gráfico 5 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Sódio (Na). Teores em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) .....   | 52 |
| Gráfico 6 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Cobre (Cu) e Ferro (Fe) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) .....     | 55 |
| Gráfico 7 | – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Manganês (Mn) e Zinco (Zn) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha <sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área Reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN) .....  | 57 |

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resumo da análise de variância para a biomassa, acúmulo de macronutrientes e sódio na biomassa depositada sobre o solo nas áreas dos tratamentos com eucalipto (EUCA), mata nativa (MN) e área degradada (AD) ..... 43
- Tabela 2 – Resumo da análise de variância para acúmulo de micronutrientes na biomassa depositada sobre o solo nas áreas dos tratamentos com eucalipto (EUCA), mata nativa (MN) e área degradada (AD) ..... 44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| AD  | Área Degradada                        |
| ANOVA                                       | Análise de Variância                  |
| B   | Boro                                  |
| Ca  | Cálcio                                |
| CO  | Carbono Orgânico                      |
| CTC   | Capacidade De Troca Catiônica         |
| Cu  | Cobre                                 |
| EAA   | Espectrometria de absorção atômica    |
| EUCA  | Área de Reflorestamento com Eucalipto |
| Fe  | Ferro                                 |
| g   | Grama                                 |
| ha  | Hectare                               |
| HCl   | Ácido Clorídrico                      |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Ácido fosfórico                       |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>              | Ácido Sulfúrico                       |
| HNO <sub>3</sub>                            | Ácido nítrico                         |
| K   | Potássio                              |
| Kg  | Quilograma                            |
| Mg  | Magnésio                              |
| Mg ha <sup>-1</sup>                         | Megagrama por hectare                 |
| mL  | Mililitro                             |
| mg  | Miligrama                             |
| mm  | Milímetro                             |
| MO  | Matéria orgânica                      |
| MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | Molibdato                             |
| Mn  | Manganês                              |
| MN  | Mata Nativa                           |
| Na  | Sódio                                 |
| P   | Fósforo                               |
| Zn  | Zinco                                 |

## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Degradação do Solo em Função do Uso e Manejo .....</b>   | <b>18</b> |
| <i>2.1.1</i> | <i>Relevância da degradação do solo em escala global e regional .....</i>                                 | <i>18</i> |
| <i>2.1.2</i> | <i>Práticas de manejo que levam à degradação do solo .....</i>  | <i>19</i> |
| <i>2.1.3</i> | <i>Práticas de manejo que viabilizam a produção e combatem a degradação ..</i>                            | <i>20</i> |
| <b>2.2</b>   | <b>Reflorestamentos como prática conservacionista .....</b>   | <b>22</b> |
| <i>2.2.1</i> | <i>Importância do reflorestamento na conservação do solo .....</i>  | <i>23</i> |
| <i>2.2.2</i> | <i>Limitações e riscos de degradação associados aos reflorestamentos .....</i>                            | <i>23</i> |
| <i>2.2.3</i> | <i>Potencial dos reflorestamentos para a melhoria das propriedades do solo ..</i>                         | <i>24</i> |
| <i>2.2.4</i> | <i>O eucalipto como espécie utilizada em reflorestamentos .....</i>                                       | <i>25</i> |
| <i>2.2.5</i> | <i>Benefícios ambientais e econômicos do reflorestamento com eucalipto.....</i>                           | <i>26</i> |
| <i>2.2.6</i> | <i>O eucalipto em regiões semiáridas .....</i>  | <i>27</i> |
| <b>2.3</b>   | <b>Serapilheira e qualidade do Solo .....</b>   | <b>29</b> |
| <i>2.3.1</i> | <i>Serapilheira: definição e conceitos .....</i>  | <i>29</i> |
| <i>2.3.2</i> | <i>Importância da serapilheira para a proteção do solo .....</i>  | <i>30</i> |
| <i>2.3.3</i> | <i>Serapilheira e ciclagem de nutrientes e aporte de matéria orgânica (MO) em solos florestados .....</i> | <i>31</i> |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Localização e tipos de solo da área experimental .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Delineamento experimental e tratamentos .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Características das áreas nos usos distintos .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Coleta da serapilheira .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>Procedimento laboratorial e Avaliações .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>3.6</b>   | <b>Análises estatísticas .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Biomassa de serapilheira .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Macronutrientes .....</b>  | <b>47</b> |
| <i>4.2.1</i> | <i>Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....</i>  | <i>47</i> |
| <i>4.2.2</i> | <i>Potássio (K) e Fósforo (P) .....</i>   | <i>49</i> |
| <b>4.3</b>   | <b>Sódio e Micronutrientes .....</b>  | <b>52</b> |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.3.1 | <i>Sódio (Na)</i> .....  | 52 |
| 4.3.2 | <i>Cobre (Cu) e Ferro (Fe)</i> .....   | 54 |
| 4.3.3 | <i>Manganês (Mn) e Zinco (Zn)</i> .....  | 56 |
| 5     | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | 60 |
|       | <b>REFERÊNCIA</b> .....  | 62 |
|       | <b>ANEXO A - ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO PERFIL 1 (PVA)</b> .....                                      | 70 |
|       | <b>ANEXO B - ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO PERFIL 2 (RQ)</b> .....                                       | 71 |
|       | <b>ANEXO C – DESCRIÇÃO GERAL E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO PERFIL 1</b> .....                      | 72 |
|       | <b>ANEXO D – DESCRIÇÃO GERAL E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO PERFIL 2</b> .....                      | 73 |
|       | <b>ANEXO E – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E TEXTURA DO SOLO POR PROFUNDIDADE E SISTEMA DE USO</b> ..... | 74 |

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos no semiárido brasileiro é um dos principais obstáculos à sustentabilidade agropecuária e florestal, especialmente em regiões de uso intensivo, manejo inadequado e cobertura vegetal escassa. Assim, é essencial adotar práticas conservacionistas para reduzir a perda de solos e nutrientes, promover a ciclagem de elementos químicos e favorecer a recuperação da qualidade do solo. Práticas conservacionistas como o reflorestamento para o fornecimento de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo, como resultados bem estabelecidos em áreas com menor aptidão agrícola das demais regiões climáticas, mas ainda pouco conhecidos em solos arenosos do semiárido.

A serapilheira é fundamental para a ciclagem de nutrientes no solo e sua deposição é favorecida nos reflorestamentos. Desse modo, florestas plantadas podem ser mais favoráveis à ciclagem de nutrientes do que áreas de pastagens degradadas. Contudo, a presença de uma única espécie vegetal no reflorestamento pode ser menos favorável à deposição de biomassa e ciclagem de nutrientes em relação a áreas com maior diversidade de espécies perenes.

Espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido muito utilizadas em reflorestamentos para obtenção de madeira e celulose. O aproveitamento de espécies do gênero *Eucalyptus* mais tolerantes à seca permite que reflorestamentos sejam estabelecidos em regiões de clima semiárido. Contudo, as características da biomassa proveniente do eucalipto e de outras espécies presentes em áreas de pastagem ou de mata nativa podem influenciar no aporte de elementos químicos ao solo. Portanto, o estudo do conteúdo de macro e micronutrientes na serapilheira é uma abordagem para a compreensão da ciclagem de nutrientes nos ecossistemas e investigar o potencial de reabilitação de diferentes tipos de uso da terra.

A hipótese central deste estudo é que áreas reflorestadas com eucalipto e áreas de vegetação secundária têm maior aporte de macro e micronutrientes por meio da serapilheira em comparação a áreas de pastagem degradada em solo arenoso do semiárido. Isso deve ser decorrente da taxa elevada da deposição de biomassa e diversidade de resíduos vegetais. Logo, espera-se que estes sistemas contribuam de forma mais efetiva para a recuperação da fertilidade do solo e para a intensificação dos processos de ciclagem de nutrientes no semiárido.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o acúmulo de macro e micronutrientes na serapilheira depositada em solo arenoso submetido a diferentes tipos de uso da terra no semiárido, sendo comparadas áreas em processo de reflorestamento com eucalipto, de vegetação secundária e área degradada.

A partir desse objetivo geral, os objetivos específicos foram:

1. Quantificar a produção de serapilheira nas áreas avaliadas.
2. Determinar os teores de macro e micronutrientes na serapilheira depositada em cada condição de uso da terra.
3. Comparar o aporte de nutrientes entre os diferentes sistemas avaliados.
4. Relacionar a composição nutricional da serapilheira com o potencial de melhoria das condições edáficas e com a ciclagem de nutrientes no semiárido.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Degradação do Solo em Função do Uso e Manejo

A degradação do solo, que é desafiadora para o ambiente no mundo moderno, constitui uma ameaça para a sustentabilidade de ecossistemas naturais e agroecossistemas. Este é um processo pelo qual os ecossistemas perdem a sua capacidade de se auto restaurar e os solos perdem sua capacidade de produção; devido a condições físicas, químicas e biológicas degradadas por má gestão e práticas de uso de terras inadequadas (Lal, 2001).

Entre os efeitos mais evidentes estão a perda da diversidade natural, redução da fertilidade, declínio na ciclagem de minerais, a compactação, a erosão, a salinização e a perda de matéria orgânica. De acordo com Van-Camp *et al.* (2017); Oldeman (1994) e Montgomery (2007), esses fatores em conjunto comprometem a produtividade e a estabilidade ambiental dos ecossistemas terrestres.

#### 2.1.1 Relevância da degradação do solo em escala global e regional

Em escala mundial, estima-se que cerca de um terço dos solos agricultáveis apresente algum grau de degradação, afetando diretamente a produção de alimentos e a segurança alimentar de milhões de pessoas (FAO, 2011; UNCCD, 2017; Scherr *et al.*, 2005). Essa degradação é intensificada pela expansão desordenada da agricultura, pela mecanização excessiva e pela substituição de ecossistemas naturais por monoculturas intensivas (Pimentel *et al.*, 1995; Pimentel, 2006). Além disso, fatores climáticos como o aumento da temperatura e a irregularidade das precipitações agravam os processos de erosão e desertificação, especialmente em regiões de clima semiárido (Van-Camp *et al.*, 2017; IPCC, 2019; Reynolds *et al.*, 2007).

Nas regiões semiáridas do mundo, as condições naturais de baixa pluviosidade, associadas à elevada evapotranspiração e à presença de solos rasos e pedregosos, tornam esses ambientes particularmente suscetíveis à degradação (Silva *et al.*, 2016; Kageyama *et al.*, 2017; Yadav *et al.*, 2009). Nessas áreas, práticas como o desmatamento, as queimadas, o sobrepastoreio e o cultivo contínuo sem reposição de nutrientes aceleram a perda de solo e de matéria orgânica, reduzindo a capacidade de retenção de água e nutrientes (FAO, 2011). A Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) reconhece a desertificação como um dos maiores desafios ambientais do século XXI, sendo o semiárido uma das zonas mais críticas para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os relacionados

à vida terrestre e à erradicação da pobreza (Relatório ODS da ONU, 2023).

No contexto brasileiro, a degradação do solo apresenta proporções preocupantes, sobretudo nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, onde o uso intensivo de áreas frágeis, aliado à baixa adoção de práticas conservacionistas, tem provocado erosão e perda de fertilidade (Silva *et al.*, 2014). No semiárido nordestino, caracterizado por solos rasos e vegetação adaptada à seca, o desmatamento da Caatinga e o manejo inadequado das terras são os principais fatores que agravam o processo de desertificação (Kageyama *et al.*, 2017; Leal *et al.*, 2003).

A remoção da cobertura vegetal e o preparo intensivo do solo estão entre os principais fatores responsáveis pela redução da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. Diante desse cenário, faz-se necessário a adoção de práticas de manejo sustentável, que preservem o meio ambiente ou que possam reverter ou mitigar os processos de degradação do solo. Em áreas já degradadas, o foco deve ser a reestruturação natural através da revegetação com espécies nativas, implementação de sistemas agrossilvipastoris e adoção de técnicas de conservação do solo. Além disso, políticas públicas voltadas para a educação ambiental, o incentivo à agricultura familiar sustentável e o fortalecimento da assistência técnica rural são fundamentais para promover mudanças no padrão de uso da terra.

Dessa forma, a construção de modelos produtivos ecologicamente equilibrados e socialmente justos configura-se como caminho indispensável para a promoção da sustentabilidade e da segurança alimentar em regiões vulneráveis.

### ***2.1.2 Práticas de manejo que levam à degradação do solo***

A degradação do solo é resultado de uma combinação de fatores naturais, mas que é intensificada por processos antrópicos. As práticas agrícolas inadequadas são as principais responsáveis pelo agravamento desse processo, uma vez que modificam a estrutura, a composição química e a biologia do solo (Van-Camp *et al.*, 2017; Brussaard *et al.*, 2010). Entre as práticas mais danosas destacam-se: a) desmatamento e remoção da cobertura vegetal; b) uso intensivo e preparo inadequado do solo; c) sobrepastoreio; d) irrigação e salinização; e) degradação química e biológica.

A retirada da vegetação nativa, seja para formação de áreas agrícolas ou pastagens, expõe o solo à ação direta das chuvas e dos ventos. A ausência de cobertura compromete a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, favorecendo a erosão hídrica e a perda da camada superficial mais fértil (Pimentel, 2006; Morgan, 2005). Essa camada contém a maior

parte da matéria orgânica e dos nutrientes disponíveis, cuja perda acarreta no empobrecimento e na perda da estrutura do solo.

O revolvimento frequente, especialmente por meio da aração e gradagem, rompe os agregados e destrói a estrutura do solo. Com isso, ocorre aumento da densidade, redução da macroporosidade aumentando a susceptibilidade à compactação (Lal, 2011; Bronick, Lal, 2005). Além disso, o preparo excessivo acelera a decomposição da matéria orgânica, reduzindo a capacidade de retenção de água e a estabilidade estrutural.

A presença de animais em densidades superiores à capacidade de suporte da pastagem provoca compactação superficial pelo pisoteio, reduzindo a infiltração de água e dificultando o desenvolvimento radicular. O sobrepastoreio também impede a regeneração da vegetação, aumentando a exposição do solo e agravando processos erosivos (Verheijen *et al.*, 2009; Teague *et al.*, 2013).

Em regiões semiáridas, a irrigação mal manejada é uma das causas mais relevantes de degradação. Cordeiro (2003), destaca que o uso de água com elevado teor de sais, aliado à drenagem deficiente e à evaporação intensa, favorece o acúmulo de sais na zona radicular, processo conhecido como salinização. É a salinização que reduz a disponibilidade de água para as plantas e altera o equilíbrio iônico do solo, prejudicando a absorção de nutrientes e a atividade microbiana.

O uso contínuo do solo sem reposição adequada de nutrientes, a aplicação indiscriminada de fertilizantes e corretivos e a ausência de matéria orgânica resultam em empobrecimento químico e acidificação. Isso afeta diretamente a disponibilidade de macro e micronutrientes, além de comprometer a atividade de microrganismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes. Tais fatores promovem a perda da serapilheira e a diminuição da biomassa microbiana, reduzindo a resiliência e a capacidade de regeneração natural do solo (Lal, 2011; Lucena *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2010; Reynolds *et al.*, 2007).

### ***2.1.3 Práticas de manejo que viabilizam a produção e combatem a degradação***

A adoção de práticas conservacionistas permite conciliar produtividade agrícola e conservação do solo, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais (Lal, 2015). Tais práticas envolvem estratégias físicas, biológicas e químicas que visam restaurar a estrutura e a fertilidade do solo, reduzir perdas e melhorar a eficiência do uso da água e dos nutrientes. Práticas como cobertura do solo, reflorestamento, manejo de pastagens, controle de erosão, adubação equilibrada e diversificação de culturas são estratégias eficazes para recuperar e

conservar solos degradados, especialmente no semiárido.

Práticas culturais como o uso de plantas de cobertura, o cultivo mínimo e o sistema de plantio direto são práticas amplamente recomendadas para reduzir a erosão e conservar a umidade. A cobertura vegetal protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, diminui a evaporação e promove o aumento da matéria orgânica, contribuindo para a formação de agregados estáveis e maior capacidade de retenção de água (Carvalho *et al.*, 2022).

A introdução de espécies arbóreas e leguminosas em sistemas produtivos é uma alternativa eficaz para recuperar áreas degradadas. Silva *et al.* (2016) afirmam que o reflorestamento aumenta o aporte de serapilheira, promove sombreamento e melhora o microclima, enquanto as leguminosas fixadoras de nitrogênio enriquecem o solo com a ciclagem de nutrientes. No semiárido, sistemas agroflorestais têm demonstrado potencial para restaurar a fertilidade e aumentar o teor de carbono orgânico do solo (Pimentel, 2006; FAO, 2011; José, 2009; Maia *et al.*, 2018). Sendo a integração lavoura-pecuária-floresta uma das alternativas mais eficazes em regiões semiáridas, promovendo a recuperação física e biológica dos solos (Kageyama *et al.*, 2017).

A adoção de técnicas como rotação de pastagens, controle da lotação animal e integração lavoura-pecuária-floresta contribui para a manutenção da cobertura vegetal e a melhoria da estrutura do solo (Teixeira *et al.*, 2017; Silveira *et al.*, 2020). Essas práticas evitam o sobrepastoreio, favorecem o acúmulo de biomassa e reduzem a compactação superficial.

O terraceamento, as curvas de nível e a construção de cordões vegetados são técnicas eficazes no controle da erosão em terrenos declivosos (Morgan, 2005). Essas práticas reduzem a velocidade do escoamento superficial e aumentam a infiltração de água, além de favorecerem o acúmulo de sedimentos e nutrientes nas partes altas do terreno.

O uso de corretivos de acidez e a adubação racional, baseados em análises de solo, são fundamentais para repor nutrientes e restabelecer a fertilidade (Teixeira *et al.*, 2017). O emprego de adubos orgânicos, como esterco e compostos, estimula a atividade microbiana e contribui para o aumento da matéria orgânica, essencial para o equilíbrio físico-químico e biológico do solo. Os manuais da Embrapa de análises de solo e fertilizantes reforçam a importância do monitoramento periódico para orientar práticas adequadas e prevenir degradações químicas.

A diversificação de culturas, a rotação e a consorciação são práticas que favorecem o equilíbrio dos sistemas produtivos. Para Lal (2011), a diversidade da flora reduz a incidência de pragas e doenças, promovem o uso mais eficiente dos nutrientes e aumentam a cobertura do solo ao longo do ano. A integração lavoura-pecuária-floresta é uma estratégia recomendada,

pois se mostra eficaz para o semiárido, aliando produção agrícola e pecuária à conservação ambiental (Teixeira *et al.*, 2017; Franzluebbbers, 2007).

A implementação de técnicas de manejo sustentável como cobertura permanente do solo, reflorestamento, integração de sistemas produtivos e correção baseada em análises é essencial para restaurar a fertilidade e garantir o uso racional dos recursos naturais. Os estudos já analisados evidenciam que a recuperação e conservação do solo dependem de um conjunto de ações integradas, nas quais o conhecimento técnico e o manejo adaptado às condições locais são os principais aliados para assegurar a sustentabilidade agrícola e ambiental a longo prazo.

A degradação do solo, resultado do uso e manejo inadequados, é um desafio ambiental de escala global, com implicações diretas sobre a produtividade agrícola e a sustentabilidade dos ecossistemas como apontam Van-Camp *et al.* (2017) e UNCCD (2017). Nas regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, a vulnerabilidade natural exige atenção especial ao planejamento do uso da terra e à adoção de práticas conservacionistas. Enquanto algumas práticas conservacionistas já estão muito bem estabelecidas e têm seus resultados conhecidos para outras regiões climáticas, ainda há lacunas no conhecimento para o semiárido.

Dentre as diferentes práticas conservacionistas consideradas vegetativas, destaca-se o reflorestamento. O plantio de árvores constitui uma alternativa promissora de uso da terra em solos de baixa aptidão agrícola, uma vez que, além de proporcionar retorno econômico, pode contribuir para a preservação ambiental ao reduzir a pressão sobre remanescentes de vegetação nativa e favorecer a conservação do solo. Essa prática assume papel estratégico no atendimento às exigências legais relativas às Áreas de Preservação Permanente (APP) e às Reservas Legais (RL), conforme estabelecido pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), que prevê a manutenção e a recuperação da cobertura vegetal como instrumento fundamental para a proteção dos recursos hídricos, do solo e da biodiversidade (Brasil, 2012).

## **2.2 Reflorestamentos como prática conservacionista**

O reflorestamento é reconhecido como uma das principais práticas conservacionistas utilizadas para mitigar os impactos da degradação ambiental e restaurar a funcionalidade ecológica dos ecossistemas. Sua adoção visa restabelecer a cobertura vegetal, controlar processos erosivos, melhorar as propriedades do solo e, ao mesmo tempo, oferecer alternativas econômicas sustentáveis (Silva; Xavier; Santos, 2017; Lal, 2015; Dorlivete, 2016). Os autores citados dissertam sobre a recuperação da vegetação em áreas degradadas em que o reflorestamento contribui diretamente para o equilíbrio do ciclo hidrológico, a conservação do

solo e o sequestro de carbono, sendo, portanto, uma estratégia de importância tanto ecológica quanto socioeconômica.

### ***2.2.1 Importância do reflorestamento na conservação do solo***

O papel do reflorestamento na conservação do solo é amplamente documentado na literatura técnico-científica. A cobertura vegetal proporcionada por espécies arbóreas reduz a erosão hídrica e eólica, uma vez que a copa das árvores amortece o impacto das gotas de chuva e as raízes aumentam a estabilidade dos agregados do solo, reduzindo o escoamento superficial e promovendo a infiltração (Dorlivete, 2016, Xavier *et al.*, 2017). De acordo com os princípios de manejo conservacionista descritos por Teixeira *et al.* (2017) e nas diretrizes apresentadas em Práticas conservacionistas<sup>1</sup> (Brasil, 2020), reflorestamento é uma prática conservacionista essencial, pois protege o solo, aumenta o teor de matéria orgânica e contribui para a ciclagem de nutrientes.

Além de seu papel físico na contenção da erosão, o reflorestamento também exerce funções químicas e biológicas importantes. A deposição de serapilheira e raízes finas aumenta o aporte de carbono e nutrientes, favorecendo a microbiota do solo e melhora a fertilidade a longo prazo (Brussaard *et al.*, 2010). Tais efeitos tornam os reflorestamentos fundamentais para o restabelecimento da qualidade do solo, especialmente em áreas degradadas por atividades agropecuárias intensivas ou exploração inadequada como destacado por Lucena *et al.* (2016).

Outro aspecto relevante é o potencial dos reflorestamentos para o sequestro de carbono. Conforme descrito por Santos (2015), o acúmulo de biomassa arbórea e a incorporação de matéria orgânica no solo permitem que essas áreas atuem como importantes sumidouros de carbono. Assim, o reflorestamento se insere não apenas como medida conservacionista local, mas também como contribuição efetiva à mitigação das mudanças climáticas globais, contribuindo de forma significativa para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ONU (2015).

### ***2.2.2 Limitações e riscos de degradação associados aos reflorestamentos***

---

<sup>1</sup> As diretrizes de Práticas Conservacionistas trata acerca dos parâmetros para reflorestamento e constitui medida fundamental de conservação do solo, contribuindo para a proteção física da superfície, incremento da matéria orgânica e intensificação da ciclagem de nutrientes (Site: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-praticas-conservacionistas>)

Apesar dos benefícios, os reflorestamentos não estão isentos de limitações e riscos. Quando realizados de forma inadequada (sem diagnóstico ambiental, com espécies mal adaptadas ou em arranjos monoespecíficos), podem gerar novos processos de degradação. Trabalhos sobre recuperação de áreas degradadas ressaltam que projetos de reflorestamento com baixa diversidade de espécies tendem a apresentar menor resiliência ecológica, afetando a fauna, a ciclagem de nutrientes e a dinâmica hídrica local (Campos; Martins, 2018; Gonçalves; Pivello, 2016).

Em sistemas de plantio homogêneo, especialmente com espécies exóticas, há risco de empobrecimento da biodiversidade e alterações nas propriedades químicas do solo (Campos; Martins, 2018; Lal, 2001). Dependendo da espécie utilizada, a serapilheira pode conter compostos de difícil decomposição, reduzindo temporariamente a disponibilidade de nutrientes na camada superficial o que dificulta o processo de reflorestamento em área degradadas. Outro ponto relevante é o consumo de água, de modo que reflorestamentos mal planejados em áreas de baixa disponibilidade hídrica podem reduzir a recarga de aquíferos e aumentar o déficit hídrico no solo, comprometendo a vegetação nativa do entorno (Teixeira *et al.*, 2019).

Os riscos de insucesso também estão associados ao manejo do solo. O preparo inadequado, a compactação causada por maquinários pesados e a ausência de práticas de manutenção, como o controle de formigas e plantas competidoras, podem comprometer o desenvolvimento das mudas e, conseqüentemente, a estabilidade do sistema (Silva; Lima; Reis, 2020). Os autores citados ainda alertam para a presença de compostos fenólicos e alelopáticos que podem interferir na regeneração de espécies nativas. Dessa forma, a efetividade do reflorestamento depende diretamente da aplicação de técnicas de manejo conservacionista integradas, como o terraceamento, o plantio em nível e a cobertura morta.

### ***2.2.3 Potencial dos reflorestamentos para a melhoria das propriedades do solo***

O reflorestamento é uma das práticas mais eficientes para restaurar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Dorlivete, 2016; Maia *et al.*, 2018). A introdução de espécies arbóreas promove o aumento da matéria orgânica e da estabilidade de agregados, melhorando a infiltração e a retenção de água (Menezes *et al.*, 2021). Além disso, as raízes profundas facilitam o intemperismo e a ciclagem de nutrientes das camadas inferiores do solo para as superiores, processo conhecido como “bombeamento biológico” (Lal, 2015).

No que se refere aos aspectos químicos, o acúmulo de serapilheira contribui para o aumento do teor de carbono orgânico e de nutrientes como nitrogênio, fósforo e cálcio,

essenciais para o restabelecimento da fertilidade (Teixeira *et al.*, 2017; Menezes *et al.*, 2021). O efeito cumulativo dessa matéria orgânica melhora a capacidade de troca catiônica e estimula a atividade microbiana, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento de novas espécies vegetais.

De forma geral, observa-se que áreas reflorestadas apresentam recuperação gradual do estoque de carbono no solo, com ganhos significativos após cinco a dez anos, dependendo da espécie e do manejo empregado. O uso de leguminosas arbóreas associadas a espécies de rápido crescimento pode acelerar esse processo, promovendo fixação biológica de nitrogênio e melhorando a estrutura do solo.

#### ***2.2.4 O eucalipto como espécie utilizada em reflorestamentos***

Entre as espécies arbóreas mais utilizadas em reflorestamentos no Brasil, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) destaca-se pela sua adaptabilidade, crescimento rápido e múltiplos usos econômicos. Originário da Austrália, o gênero foi amplamente introduzido em diferentes regiões do país, tanto para fins produtivos quanto para recuperação de áreas degradadas (Gonçalves; Pereira, 2019). Os reflorestamentos com eucalipto se destacam pelo alto rendimento de biomassa e pela capacidade de sequestro de carbono, além de melhorarem a estrutura superficial do solo e reduzirem a erosão (Valente *et al.*, 2023; Menezes *et al.*, 2021; Pimentel *et al.*, 1995).

Sua principal vantagem é o alto rendimento de biomassa em curto prazo, o que permite retorno econômico rápido e grande capacidade de sequestro de carbono. Estudos em áreas reflorestadas com eucalipto indicam aumentos nos estoques de carbono do solo e da biomassa superiores a 50%, podendo ultrapassar 200% quando comparados a áreas degradadas, dependendo do manejo e do tempo de implantação do povoamento (Gatto *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2023; Maia *et al.*, 2018). Esse potencial confere ao eucalipto papel relevante em estratégias de mitigação das mudanças climáticas e recuperação de áreas degradadas, conforme destacado pelo IPCC (2019). Além disso, o sistema radicular do eucalipto contribui para a melhoria da estrutura do solo, reduzindo a erosão e favorecendo a infiltração de água, aspectos fundamentais para a conservação do solo (Menezes *et al.*, 2021; Gonçalves; Pereira, 2019).

Contudo, o uso do eucalipto em reflorestamentos deve considerar certas limitações ecológicas. A serapilheira formada por suas folhas e cascas possui lenta decomposição, o que pode restringir temporariamente a disponibilidade de nutrientes. Zhang *et al.* (2016), afirmam que as raízes do eucalipto, por meio da alelopatia, são motivos para o insucesso no

estabelecimento vegetal, uma vez que elas enfraquecem o desenvolvimento de espécies nativas e podem dificultar a regeneração de plantas próximas. Além disso, o eucalipto apresenta elevada demanda por certos nutrientes, especialmente cálcio e boro, exigindo adubações complementares em solos pobres, comuns em regiões semiáridas (Ramos *et al.*, 2009).

Santos *et al.* (2024) e Silveira *et al.* (2020), afirmam que quando manejado adequadamente e implantado em áreas de baixa aptidão agrícola, o eucalipto pode contribuir positivamente para a recuperação do solo e a geração de renda, desde que o projeto adote práticas conservacionistas integradas. Além do mais, o plantio consorciado com leguminosas e a adoção de podas controladas favorecem o equilíbrio entre produtividade e conservação (Franzluebbers, 2007; José, 2009).

### ***2.2.5 Benefícios ambientais e econômicos do reflorestamento com eucalipto***

O reflorestamento com eucalipto oferece uma combinação de benefícios ambientais e econômicos. Do ponto de vista ecológico, os plantios proporcionam aumento expressivo do estoque de carbono na biomassa e no solo, redução da erosão, melhoria da infiltração de água e incremento da biodiversidade microbiana (Fernandes, 2025). Estudos conduzidos em áreas de reflorestamento no Nordeste brasileiro indicam que o eucalipto promove melhoria da estrutura superficial do solo e incremento nos teores de micronutrientes, aproximando-se dos valores encontrados em vegetações secundárias (Santos *et al.*, 2024).

Em termos econômicos, os plantios de eucalipto apresentam alta rentabilidade devido à demanda por madeira, celulose e biomassa energética. Essa característica permite integrar objetivos econômicos e ambientais, tornando os reflorestamentos mais sustentáveis financeiramente e socialmente aceitáveis (Gonçalves; Pereira, 2019). Além disso, o cultivo do eucalipto em áreas anteriormente improdutivas gera emprego e renda, reduzindo a pressão sobre florestas nativas e contribuindo para o desenvolvimento local.

Ainda assim, é fundamental que o manejo desses plantios siga princípios conservacionistas (Brasil, 2020). Segundo Silva *et al.* (2020) e Gonçalves e Pereira, 2019, o planejamento deve incluir a avaliação da capacidade de uso do solo, a adoção de espaçamentos adequados e a manutenção da cobertura orgânica. Ainda de acordo com os autores citados, recomenda-se também a implementação de sistemas mistos, alternando fileiras de eucalipto com leguminosas ou espécies nativas, de modo a equilibrar produtividade e conservação.

### 2.2.6 O eucalipto em regiões semiáridas

O uso do eucalipto em regiões semiáridas tem ganhado destaque como alternativa para recuperação de solos degradados e ampliação da produção florestal e, por isso tem despertado o interesse de estudos científicos. A viabilidade do uso do eucalipto em regiões semiáridas demanda condições específicas de manejo. Para Drumond *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2016), a seleção de materiais genéticos adaptados e compreensão das limitações edafoclimáticas típicas do semiárido, como baixa disponibilidade hídrica, elevadas temperaturas e solos frequentemente rasos ou empobrecidos são cruciais para o sucesso da implantação do gênero no semiárido.

Pesquisas conduzidas na Caatinga demonstram que plantios de eucalipto podem promover melhorias biogeoquímicas no solo, incluindo aumentos nos teores de carbono orgânico, nitrogênio e na atividade microbiana, sobretudo quando associados ao acúmulo de serapilheira e ao manejo adequado da matéria orgânica (Valente *et al.*, 2023; Gama-Rodrigues *et al.*, 2005; Magalhães *et al.*, 2011). A deposição de resíduos foliares desempenha papel central na proteção do solo contra a erosão, na redução da evaporação e na ciclagem de nutrientes — elementos críticos em ambientes sujeitos a déficits hídricos prolongados (Maia *et al.*, 2018; Kageyama *et al.*, 2017).

A deposição de serapilheira representa um dos mecanismos centrais pelos quais os eucaliptais influenciam positivamente o solo no semiárido. Esse material atua como cobertura superficial, reduzindo a evaporação, protegendo o solo contra o impacto das chuvas e favorecendo a ciclagem de nutrientes. De acordo com Maia *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2016) esses efeitos são fundamentais para mitigar processos de degradação e desertificação, amplamente documentados em áreas semiáridas brasileiras.

Outro aspecto relevante diz respeito à dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta. Estudos de nutrição mineral mostram que o eucalipto apresenta elevada extração de micronutrientes, especialmente boro e zinco, exigindo práticas de manejo nutricional adequadas para evitar desequilíbrios e declínio da fertilidade (Foelkel, 2025; Veloso, 2025). Em solos arenosos ou de baixa fertilidade natural, comuns no semiárido, pesquisas registram que a disponibilidade de macro e micronutrientes torna-se ainda mais limitada, reforçando a necessidade de monitoramento foliar e adubação corretiva (Sequeira, 2025). Vaz, Gonçalves, 2002; Pinho Silva *et al.*, 2014, em experimentos com diferentes tipos de fertilização e uso de biossólidos, revelaram incrementos significativos em atributos químicos do solo e no

crescimento das plantas, evidenciando a importância do manejo nutricional nos estágios iniciais do povoamento.

A contribuição dos plantios de eucalipto para o estoque de carbono também é amplamente documentada nas demais regiões do Brasil a exemplo da região Leste-Centro de Minas Gerais, Brasil, especificamente nas microrregiões de Virginópolis, Santa Bárbara, Cocais, Sabinópolis e Rio Doce como descrito por Gatto *et al.* (2010), sul da Bahia (Gama-Rodrigues *et al.*, 2005), no Cerrado do Distrito Federal (Embrapa Cerrados). Em áreas anteriormente degradadas, o estabelecimento da cultura promove aumento do carbono estocado tanto na biomassa quanto no solo, desempenhando papel relevante em ações de mitigação das mudanças climáticas (Gatto *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2023).

Tais resultados são particularmente expressivos no semiárido, região marcada por solos frágeis e suscetíveis à perda de matéria orgânica (Lucena *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2010). A restauração da qualidade do solo mediante revegetação tem sido apontada como uma das estratégias mais eficientes para atenuar os avanços da degradação e da desertificação (Moro *et al.*, 2021; UNCCD, 2017).

Além dos benefícios edáficos e ambientais, o eucalipto apresenta importância socioeconômica em regiões semiáridas, especialmente em áreas onde atividades agrícolas convencionais são limitadas pelas condições climáticas. A introdução de cultivos florestais adaptados é apresentada como alternativa à diversificação de renda, geração de emprego e desenvolvimento de cadeias produtivas, desde que associada a práticas de manejo sustentáveis e socialmente integradas (Kageyama *et al.*, 2017).

Dessa forma, o reflorestamento com eucalipto no semiárido representa uma alternativa viável de reconciliação entre conservação ambiental e viabilidade econômica, especialmente em áreas anteriormente degradadas e de baixa aptidão agrícola. Contudo, sua implementação exige planejamento técnico adequado, seleção criteriosa de materiais genéticos, monitoramento sistemático da fertilidade do solo e adoção de práticas conservacionistas que evitem impactos negativos a médio e longo prazo. Quando conduzido sob esses princípios, o uso do eucalipto representa um instrumento promissor para conciliar conservação ambiental, produtividade e sustentabilidade nas regiões semiáridas brasileiras.

O reflorestamento com eucalipto no semiárido é uma alternativa viável para unir conservação ambiental e viabilidade econômica em áreas degradadas, desde que seja bem planejado, com escolha adequada de materiais genéticos, manejo do solo e práticas conservacionistas, garantindo sustentabilidade e produtividade a longo prazo.

## 2.3 Serapilheira e Qualidade do Solo

### 2.3.1 Serapilheira: definição e conceitos

A serapilheira corresponde à camada superficial de matéria orgânica que recobre o solo em ecossistemas florestais, composta por folhas, galhos, ramos, frutos, flores, cascas, sementes, bem como restos de animais e excretas (Scoriza *et al.*, 2012; Brun *et al.*, 2001). Essa camada resulta do acúmulo de material vegetal e animal em diferentes estágios de decomposição e desempenha papel essencial na manutenção da fertilidade e estabilidade do ecossistema (Swift; Heal; Anderson, 1979). Ela compõe a interface entre a vegetação e o solo de ambiente naturais como florestas, bosques, caatinga, cerrado, etc. (Bronick; Lal, 2005; Dorlivete, 2016). Sua composição muda conforme o ecossistema em que se encontra e suas particularidades (Caldeira *et al.*, 2008; König *et al.*, 2002). Por exemplo, florestas tropicais repletas de árvores e animais, aliadas a uma elevada precipitação e temperaturas elevadas, resultam em um aumento na quantidade de serapilheira (Brun *et al.*, 2001; Martins; Rodrigues, 1999).

Segundo Scoriza *et al.* (2012), a Serapilheira constitui um componente-chave no equilíbrio ecológico, pois regula o retorno gradual de nutrientes ao solo e protege sua estrutura física contra a ação erosiva da chuva e da radiação solar direta. De acordo com os autores citados, a dinâmica da serapilheira influencia diretamente a ciclagem de nutrientes. O estágio do retorno de nutrientes e carbono da biomassa para o solo é mediado por organismos decompositores.

Os resíduos são decompostos à medida em que a micro e a macrofauna do solo os decompõem liberando, assim, os macros e micronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), etc., fundamentais para o crescimento das plantas e para a manutenção da produtividade dos ecossistemas florestais (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993). Esse processo, denominado mineralização, garante a renovação contínua da fertilidade natural do solo, configurando-se como um importante mecanismo de autossustentação dos ambientes florestais.

Além de promover a fertilidade através da ciclagem de nutrientes, a serapilheira exerce papel decisivo na proteção física do solo. A cobertura vegetal protege a superfície contra o impacto direto das gotas de chuva, reduz a desagregação das partículas do solo e limita o escoamento superficial, evitando processos erosivos e o assoreamento de cursos d'água,

conforme destacado e pelas recomendações técnicas para conservação do solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e por De Maria *et al.* (2016).

### **2.3.2 Importância da serapilheira para a proteção do solo**

A camada de serapilheira desempenha papel físico e biológico da proteção do solo. A proteção física é promovida porque a matéria orgânica reduz o impacto das gotas de chuva na superfície do solo, protegendo contra a desagregação e movimentação das partículas do solo, evitando, portanto, a erosão. Outra atividade relevante é a possibilidade de amenizar a variabilidade térmica e a redução da perda da umidade do solo (Maia *et al.*, 2018).

Estudos em florestas estacionais semidecíduais mostram que áreas com maior acúmulo de serapilheira apresentam menor exposição do horizonte mineral e menores sinais de degradação superficial (Vital *et al.*, 2004). Segundo os autores, camadas de serapilheira mais finas facilita a decomposição dos resíduos vegetais que são rapidamente liberados e mais bem aproveitados pela vegetação.

Quanto à proteção biológica, a serapilheira funciona como *habitat* natural para a microfauna e macrofauna e se constitui em seu alimento. Ao se alimentarem da matéria orgânica morta, estes seres saprófagos fragmentam-na, aceleram a formação de húmus e de agregados do solo aumentando a estabilidade das estruturas do solo e reduz a erosão.

Em pesquisa realizada sobre a produção de serapilheira em clareiras, Martins e Rodrigues (1999) destacam a relevância da serapilheira na proteção da germinação de sementes, promovendo sombra que auxilia durante o desenvolvimento inicial e evitando que raios solares cheguem as sementes intolerantes ao sol. O isolamento térmico também protege as micorrizas contra os raios UV que afetam as associações entre fungos e raízes. Os autores ressaltam ainda que a heterogeneidade da cobertura do solo, expressa pela variação na espessura, composição e distribuição da serapilheira, cria múltiplos microambientes, favorecendo o aumento da biodiversidade edáfica, da atividade microbiana e da fauna do solo, elementos essenciais para a ciclagem de nutrientes e a estabilidade dos ecossistemas florestais (Martins; Rodrigues, 1999; Swift; Heal; Anderson, 1979; Brussaard *et al.*, 2010).

No Brasil, estudos realizados por órgãos de pesquisa como a Embrapa (2009; 2017) reforçam a importância da serapilheira na avaliação da qualidade do solo e na definição de práticas conservacionistas. A caracterização física e química desse material, associada à análise dos teores de nutrientes, permite o diagnóstico da fertilidade e da sustentabilidade de sistemas florestais (Da Silva, 2009; Teixeira *et al.*, 2017; Gonçalves; Pivello, 2016). Sobre o manejo

conservacionista no semiárido cearense, destaca-se e a manutenção da serapilheira em sistemas florestados ou agroflorestais que contribui para o aumento do teor de carbono do solo, reduz a erosão e melhora a infiltração de água, sendo uma estratégia eficiente para o manejo de solos em regiões susceptíveis à degradação (Brasil, 2020; Dorlivete, 2016; Silva; Lima; Reis, 2020; Pimentel, 2006).

### ***2.3.3. Serapilheira e ciclagem de nutrientes e aporte de matéria orgânica (MO) em solos florestados***

A ciclagem de nutrientes mediada pela serapilheira é um dos processos ecológicos mais importantes em ecossistemas florestais. Segundo Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (1993), a deposição de material orgânico no solo, seguida pela decomposição, constitui a principal via de retorno de nutrientes absorvidos pelas plantas à solução do solo. Essa ciclagem é influenciada pela qualidade química da serapilheira, especialmente pela relação C:N e pelo teor de lignina, bem como pelas condições microclimáticas e pela atividade dos organismos decompositores (Swift; Heal; Anderson, 1979). Brun, Schumacher e Spathelf (2001) verificaram que as variações na produção e decomposição da serapilheira estão diretamente relacionadas a fatores meteorológicos, como temperatura e precipitação, influenciando o ritmo e a intensidade da ciclagem de nutrientes.

Em florestas tropicais e subtropicais, esse processo é particularmente dinâmico devido às condições favoráveis de umidade e temperatura, que aceleram a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais. Vital *et al.* (2004) observaram que em florestas estacionais semidecíduais a serapilheira apresenta picos sazonais de deposição, geralmente associados ao período seco, o que permite o acúmulo de material que será decomposto na estação chuvosa, intensificando a liberação de nutrientes e a formação de matéria orgânica estável.

A serapilheira é a principal ferramenta de ciclagem de nutrientes, pois é a sua deposição e decomposição que faz retornar ao solo os elementos absorvidos. O fluxo é possível porque os minerais, macro e micronutrientes, são constituintes da matéria orgânica, estando presente em todas as suas estruturas (folha, caule, casca, raiz, flores e frutos). Sua disponibilidade para plantas depende do estado de decomposição e das taxas de mineralização.

Martins e Rodrigues (1999) apresentam a transformação da serapilheira como a função com “a mais significativa forma de transferência de nutrientes” e afirmam “que as transformações neste compartimento do ciclo biogeoquímico são as que mais afetam o fluxo de energia dentro do sistema”.

A serapilheira atua na superfície do solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes ao ecossistema, através dos processos de produção e decomposição. Estes processos são particularmente importantes na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (Martins, Rodrigues, 1999).

A decomposição e mineralização estão condicionados pela qualidade da serapilheira, incluindo a relação C:N, os compostos fenólicos e a lignina. Sendo este processo influenciado por fatores diversos (temperatura, umidade, precipitação, pH, micro e macrofauna e o tipo de vegetação que compõe a matéria morta que forma a cobertura). A qualidade da serapilheira é determinada pela quantidade de nutrientes presente na biomassa. Ademais, o manejo de resíduos e a consorciação com leguminosas têm se mostrado estratégias eficientes para otimizar a ciclagem de nutrientes e aumentar a resiliência dos sistemas (Kageyama *et al.*, 2017; Reynolds *et al.*, 2007).

Além da mineralização direta no solo, parte dos elementos ficam retidos temporariamente na serapilheira e outra é translocada através da lixiviação, escoamento superficial ou transportado pela fauna (Caldeira *et al.*, 2008; Aber; Melillo, 1991; Brussaard *et al.*, 2010). Esses processos determinam a reserva de nutrientes no solo modelando a diversidade da vegetação.

Segundo Swift, Heal e Anderson (1979), a decomposição da serapilheira é um processo controlado por interações complexas entre fatores bióticos e abióticos, onde microrganismos desempenham papel central na liberação de nutrientes e na formação de compostos orgânicos estáveis. Complementarmente, Aber e Melillo (1991) apontam que a serapilheira é um componente essencial para a manutenção da produtividade dos ecossistemas terrestres, uma vez que regula o fluxo de energia e matéria e mantém o equilíbrio entre absorção e reposição de nutrientes.

O aporte de matéria orgânica (MO) proveniente da serapilheira é um dos principais fatores responsáveis pela manutenção da fertilidade natural e do carbono no solo. De acordo com König *et al.* (2002), a decomposição gradual dos resíduos vegetais aumenta o teor de carbono orgânico do solo, contribuindo para a formação de húmus e para o aprimoramento da estrutura física, capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção de água. Em estudo realizado em uma Floresta Ombrófila Densa, Caldeira *et al.* (2008) destacaram que a serapilheira representa o principal vetor de entrada de nutrientes e matéria orgânica no solo, garantindo a continuidade do ciclo biogeoquímico e a sustentabilidade do ecossistema. Esses autores ressaltam ainda que o aporte anual de matéria orgânica é altamente dependente da sazonalidade climática e do estágio sucessional da floresta.

Para Vital *et al.* (2004), a serapilheira é o principal reservatório de nutrientes e carbono em florestas, sendo determinante para a dinâmica biogeoquímica do sistema solo-planta-atmosfera.

A produção e acúmulo de serapilheira variam conforme as condições climáticas, composição florística, estágio sucessional e tipo de solo. Scoriza *et al.* (2012) destacam que a quantificação e análise da serapilheira permitem compreender a eficiência da ciclagem de nutrientes e a capacidade do ecossistema em se autorregular, além de servir como indicador da produtividade e do estado de conservação das florestas. Assim, o estudo da serapilheira tem relevância tanto ecológica quanto prática, sobretudo para o manejo sustentável e a recuperação de áreas degradadas.

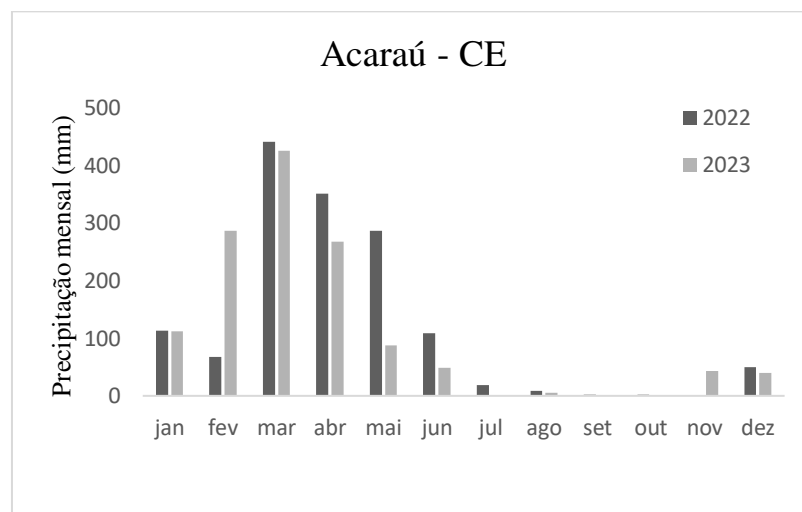
Dessa forma, observa-se que a serapilheira é componente essencial para a proteção, conservação e fertilidade dos solos florestais, desempenhando funções ecológicas que sustentam a produtividade e a estabilidade dos ecossistemas. Sua produção, decomposição e incorporação ao solo representam processos-chave na ciclagem de nutrientes e na formação de matéria orgânica, configurando-se como indicador relevante para o manejo sustentável de florestas e para a restauração ecológica de áreas degradadas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e tipos de solo da área experimental

O experimento foi conduzido nas Fazendas Aroeira I e II pertencentes à empresa Troncus Wood Transportes e Reflorestamentos Ltda., localizadas em Acaraú (CE), nas coordenadas geográficas 3,0296° S e 40,0125° W, com altitude média de 30.58 metros. A região apresenta clima semiárido, classificado como Aw segundo a classificação climática Köppen<sup>2</sup>. O “A” como primeira letra indica clima tropical com temperatura médias no mês mais frio superiores a 18°C e a segunda letra “w”, chuvas no verão, estação seca no inverno. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 898.3 mm, concentrada nos meses de fevereiro a maio, e temperatura média anual de 27.2°C. O período de estiagem estende-se de junho a janeiro, caracterizando déficit hídrico acentuado que pode ser observado no Gráfico 1 (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 2025).

Gráfico 1 – Distribuição de chuvas ao longo dos anos 2022 e 2023 em Acaraú – CE



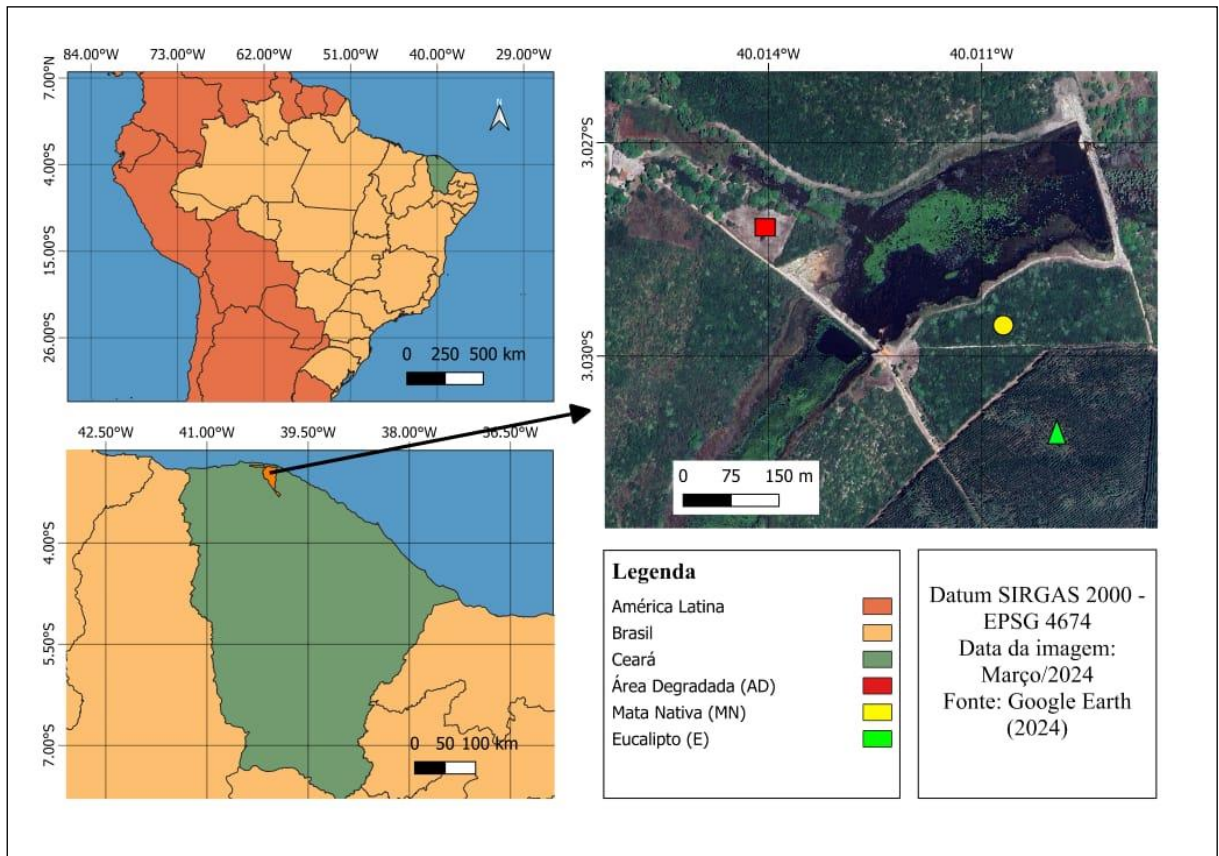
Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de dados da FUNCEME (2025).

Os solos da área experimental foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018). O levantamento, bem como os resultados de análises físico-químicas (Anexo A), indicaram que o solo cultivado com eucalipto

<sup>2</sup> A classificação climática de Köppen aplicada aos municípios brasileiros segue critérios baseados em padrões de temperatura e precipitação, permitindo identificar zonas climáticas distintas e subsidiar estudos ambientais, agrícolas e de planejamento territorial. Site: <https://koppenbrasil.github.io/>.

é um Argissolo Vermelho-Amarelo – PVA. Para a área com mata nativa, bem como a área degradada, o solo foi classificado como Neossolo quartzarênico – RQ (Figura 1).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo e classe de solos: (EUCA) Área de reflorestamento com Eucalipto – Argissolo Vermelho-Amarelo – PVA, (MN) Mata Nativa, (AD) Área Degradada – Neossolo Quartzarênico – RQ



Fonte: Fernandes (2025).

### 3.2 Delineamento experimental, tratamentos

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e 20 repetições, totalizando 60 pontos de coleta de serapilheira. Os tratamentos foram constituídos por três tipos de uso da terra: Área de Reflorestamento com eucalipto (EUCA), Mata Nativa (MN) e Área Degradada (AD).

### 3.3 Características das áreas nos usos distintos

A área destinada ao uso comercial abriga o cultivo de eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*), implantado em 2019 com o propósito de exploração florestal (Área de Reflorestamento com Eucalipto – EUCA). O preparo do solo teve início em 2017, com o desmatamento e a incorporação dos resíduos vegetais ao solo (Figura 2). O planejamento foi realizado com espaçamento de 4 × 3 metros entre linhas e plantas, respectivamente. Durante a implantação, foram aplicadas técnicas de manejo, como subsolagem até 50 cm de profundidade, uso de calcário (2 t ha<sup>-1</sup>), aplicação de 330 g de adubo NPK (30-20-30) por cova e utilização de hidrogel para melhorar a retenção hídrica.

Figura 2 – Área com plantio de eucalipto que caracteriza o Reflorestamento com Eucalipto (EUCA) para cultivo avaliado em Acaraú - CE



Fonte: Maia (2023).

A segunda área corresponde a um fragmento florestal classificado como remanescente secundário do Complexo Vegetacional Costeiro, conforme descrito por Moro *et al.* (2015). Denominada neste estudo como Mata Nativa (MN), essa área não sofria interferência humana significativamente há mais de dez anos quando da coleta das amostras, tornando-se um

importante referencial ecológico (Figura 3). A vegetação do tratamento MN foi composta por espécies típicas da flora costeira e da Caatinga, como marmeleiro-do-mato (*Croton sonderianus*), pau-de-ferro (*Caesalpinia leiostachya*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), angélica (*Guettarda platypoda*) e mofumbo (*Combretum leprosum*). Não há registros de práticas recentes de manejo do solo nem de adubação.

Figura 3 – Área com vegetação de mata nativa (MN) avaliada em Acaraú - CE



Fonte: Maia (2023).

A terceira área foi denominada como AD (Área Degradada), apresentando histórico de uso intensivo e manipulação ambiental (Figura 4). Após o desmatamento e a queima da vegetação nativa, o solo foi arado e recebeu aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário e 330 g de NPK (20-10-20) por cova. Em seguida, a área foi cultivada com milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) até 2019. Desde então, está em processo de regeneração natural (pousio), com predomínio de espécies herbáceas.

Figura 4 – Área experimental em Degradação (AD) avaliada em Acaraú - CE



Fonte: Maia (2023).

### 3.4 Coleta da serapilheira

A coleta da serapilheira foi realizada no segundo semestre de 2023, seguindo os procedimentos descritos por Scoriza *et al.* (2012). O método adotado foi rigoroso para garantir a representatividade e qualidade das amostras para avaliação da ciclagem de nutrientes e gestão do solo, conforme orientado pelos autores (Figura 5).

Foram utilizados coletores de serapilheira, gabaritos de formatos quadrados de 50 x 50 cm (0,25 m<sup>2</sup>), construídos de material PVC, estabelecidos em pontos estratégicos da área de estudo para capturar o material em deposição ao longo do tempo. O gabarito era, então, lançado de modo aleatório e todo o material dentro de sua área era coletado com pás e de modo manual. Foi necessário proceder com a coleta em múltiplos pontos da parcela, de forma distribuída e seguindo os critérios do delineamento experimental, para refletir a heterogeneidade da área.

Para garantir a integridade das amostras, do material coletado foi armazenado subamostragens de 200g em sacos plásticos transparentes e identificados para prevenir a perda de conteúdo e facilitar o transporte e procedimento seguro no pós-coleta. Após a coleta, o

material foi levado ao laboratório para secagem em método de digestão seca até massa constante, possibilitando a análise química da serapilheira, como a determinação da composição anatômica e dos teores de nutrientes essenciais. Essas informações são essenciais para compreender como a área com eucalipto contribui para a sustentabilidade do solo e para a eficiência do uso dos nutrientes, apoiando práticas de manejo que favorecem a conservação ambiental e a produtividade agrícola.

Figura 5 – Coleta da serapilheira para quantificação em Área experimental Degradada (AD) em Acaraú – CE



Fonte: Autor (2023).

Em seguida, o material foi preparado e encaminhado ao laboratório dentro das orientações técnicas e protocolos laboratoriais estabelecidos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017), complementados pelas orientações do Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (Da Silva, 2009), para digestão, extração e quantificação dos macros e micronutrientes. O objetivo foi determinar a quantidade de Material Vegetal ( $\text{g m}^{-2}$ ) e os teores dos minerais P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn e Zn em ( $\text{g Kg}^{-1}$ ), considerando a serapilheira integral.

### 3.5 Procedimento laboratorial e Avaliações

As amostras foram encaminhadas para o laboratório, onde foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 60 °C até atingirem massa constante, método recomendado para serapilheira (Scoriza, *et al.*, 2012). Após secagem, registrou-se a massa seca, permitindo o cálculo do teor de umidade e da quantidade de matéria seca por hectare ( $t MS ha^{-1}$ ).

O procedimento utilizado para extração dos elementos químicos das amostras de serapilheira coletadas foi de digestão seca. Seguiu-se as orientações técnicas do Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (Da Silva, 2009). Este método submete o tecido vegetal a incinerado em temperatura de 450 °C a 550 °C (Figura 6), possibilitando que os elementos presentes na cinza sejam quantitativamente determinados. A determinação dos elementos por este método permite maior precisão nas análises, facilidade de diluição, facilita o preparo de curvas analíticas com soluções padrões, permite a análise de fluxo, possibilidade de separar os analíticos e /ou concentrados com solvente orgânico e agilidade analítica.

Figura 6 – Serapilheira em processo de secagem em mufla para obtenção dos teores de nutrientes



Fonte: Registro do autor (2024). Cadinhos com MO em processo de secagem em mufla; destaque para as temperaturas registradas.

A determinação dos elementos por este método permite maior precisão nas análises, facilidade de diluição, facilita o preparo de curvas analíticas com soluções padrões, permite a

análise de fluxo, possibilidade de separar os analíticos e /ou concentrados com solvente orgânico e agilidade analítica.

A MO foi incinerada por 3h em mufla elétrica, a temperatura de 450°C – 500°C (aumentada de forma gradativa), em cadinhos de porcelana de 100 mL, onde foram acondicionados 500 mg das amostras. Obtendo-se, assim, as cinzas claras. Após resfriamento dos cadinhos, as cinzas foram dissolvidas em ácido diluído, 25 mL de HNO<sub>3</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>. Embora seja moroso, o método escolhido pela simplicidade de execução, praticidade em determinar diferentes elementos e por evitar a poluição do ambiente do laboratório com gases ou vapores tóxicos.

As concentrações dos reagentes foram determinadas segundo os métodos analíticos descritos tanto em Teixeira *et al.* (2017) quanto em Da Silva (2009), que é referência nacional para análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Os procedimentos foram: espectrofotometria com azul-de-molibdênio, fotometria de chama e espectrometria de absorção atômica (EAA).

Fazendo-se uso da espectrofotometria com azul-de-molibdênio, quantificou-se o P por espectrofotometria UV-VIS cujo método do fosfomolibdato reduzido permite que o íon H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>4-</sup> em meio fortemente ácido reage com molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), formando um complexo de coloração azul, e a intensidade da coloração é proporcional à concentração de P. (Da Silva, 2009). A leitura no espectrômetro é efetuada a 660 nm, após 30 minutos.

A fotometria de chama, cuja solubilização do potássio com água e na medida da sua emissão em fotômetro de chama devidamente calibrado permitiu a determinação do K. O Ca e Mg foram quantificados por espectrometria de absorção atômica (EAA), seguindo Teixeira *et al.* (2017) e Da Silva (2009). Os micronutrientes totais foram determinados por EAA, conforme o método “Microelementos” da Embrapa e os procedimentos apresentados por Da Silva (2009) para tecidos vegetais.

A distinção entre frações da serapilheira (folhas, caules etc.) não foi aplicada neste estudo, adotando-se a determinação do conteúdo total, conforme Paula *et al.* (2009). Com os teores em mg kg<sup>-1</sup> e a quantidade de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>), calculou-se o aporte por hectare (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), seguindo metodologias aplicadas a partir dos manuais selecionados. Os nutrientes foram quantificados na serapilheira total, sem separação por frações, conforme abordagem adotada por Scoriza *et al.* (2012) para avaliação da ciclagem biogeoquímica.

### 3.6 Análises estatísticas

Levou-se em conta que o experimento trata de massa remanescente de serapilheira que determina a variável a ser analisada. O que influencia no esquema matemático utilizado, cuja análise é feita via ANOVA.

O modelo matemático adotado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Onde:

$Y_{ijk}$  = Valor observado (ex: massa seca remanescente) na repetição  $k$  do nível  $i$  do fator A e nível  $j$  do fator B;

$\mu$  = Média geral;

$\alpha_i$  = Efeito do nível  $i$  do fator A;

$\beta_j$  = Efeito do nível  $j$  do fator B;

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efeito da interação entre o fator A e o fator B;

$\epsilon_{ijk}$  = Erro experimental aleatório

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) indicou efeito estatisticamente significativo ( $p < 0,01$ ) nos diferentes usos da terra sobre todas as variáveis avaliadas, incluindo biomassa de serapilheira, macronutrientes (Ca, Mg, K, P e Na) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn). Esses resultados demonstram que o tipo de cobertura vegetal e o uso do solo influencia diretamente o aporte de nutrientes ao solo, efeito amplamente reconhecido em estudos de ciclagem biogeoquímica e degradação de terras (Scoriza *et al.*, 2012; Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Van-Camp *et al.*, 2017; Oldeman, 1994; Montgomery, 2007; IPCC, 2019; Reynolds *et al.*, 2007).

O valor de F obtido para biomassa ( $F = 53,2$ ;  $p < 0,01$ ) indica diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados (EUCA, MN e AD) (Tabela – 1). Esse resultado demonstra que a produção de serapilheira responde de forma sensível ao uso e cobertura do solo, refletindo o maior aporte de resíduos vegetais em áreas com vegetação estabelecida, especialmente na mata nativa e no reflorestamento com eucalipto, quando comparadas à área degradada.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para a biomassa, acúmulo de macronutrientes e sódio na biomassa depositada sobre o solo nas áreas dos tratamentos com eucalipto (EUCA), mata nativa (MN) e área degradada (AD)

| Fonte de variação | Biomassa | Ca     | Mg     | K      | P      | Na     |
|-------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Valor de F        |          |        |        |        |        |        |
| Tratamentos       | 53,2**   | 65,6** | 76,4** | 20,4** | 30,6** | 42,4** |
| CV%               | 32,8     | 35,5   | 29,7   | 33,0   | 38,8   | 32,7   |

CV% = coeficiente de variação; \* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%.

O coeficiente de variação ( $CV = 32,8\%$ ) é considerado aceitável para estudos de campo envolvendo serapilheira, uma vez que esse compartimento apresenta elevada variabilidade espacial, influenciada por fatores como composição da flora, estágio sucessional e condições microclimáticas. Esses resultados corroboram com Scoriza *et al.*, 2012; Cunha; Gama-Rodrigues; Costa (1993); Brun; Schumacher; Spathelf, (2001) e Vital *et al.* (2004) que aponta a serapilheira como um indicador da qualidade do solo e da eficiência dos processos de

ciclagem de nutrientes.

Para os macronutrientes Ca, Mg, K e P, bem como para o Na, a ANOVA revelou efeito significativo dos tratamentos ( $p < 0,01$ ), com valores de F expressivos, destacando-se Mg ( $F = 76,4$ ) e Ca ( $F = 65,6$ ) (Tabela – 1). Esses resultados indicam que o tipo de uso do solo influencia de forma marcante o acúmulo desses elementos na serapilheira.

O maior acúmulo de Ca e Mg em áreas de mata nativa e reflorestamento com eucalipto pode ser associado à maior produção de biomassa e à capacidade dessas formações vegetais em absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo, promovendo o chamado “bombeamento biológico”, amplamente discutido por Scoriza *et al.* (2012), Brun *et al.* (2001) e Vital *et al.* (2004). Além disso, a deposição contínua de resíduos vegetais favorece o retorno desses nutrientes ao sistema solo-planta, fortalecendo a fertilidade superficial.

Os valores de CV variaram entre 29,7% (Mg) e 38,8% (P), refletindo variação moderada, compatível com estudos de campo em ambientes semiáridos. Essa variabilidade está relacionada às diferenças na composição da serapilheira, à heterogeneidade do solo e à dinâmica própria de cada nutriente no sistema solo-planta-atmosfera.

A análise de variância para os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn também indicou efeito estatístico significativo dos tratamentos ( $p < 0,01$ ), confirmando que o uso da terra influencia o aporte desses elementos via serapilheira (Tabela – 2). O manganês apresentou o maior valor de F (81,7), evidenciando forte sensibilidade desse micronutriente às diferenças de cobertura vegetal, seguido de Cu (40,2) e Zn (35,3).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para acúmulo de micronutrientes na biomassa depositada sobre o solo nas áreas dos tratamentos com eucalipto (EUCA), mata nativa (MN) e área degradada (AD)

| Fonte de variação | Cu     | Fe     | Mn     | Zn     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Tratamentos       | 40,2** | 10,5** | 81,7** | 35,3** |
| CV%               | 44,3   | 68,0   | 45,8   | 38,3   |

CV% = coeficiente de variação; \* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%.

Esses resultados reforçam a importância da vegetação permanente na manutenção da ciclagem de micronutrientes, especialmente em solos arenosos do semiárido, naturalmente pobres e suscetíveis à lixiviação. O maior acúmulo observado nas áreas com mata nativa e eucalipto está associado tanto à maior produção de biomassa quanto à maior diversidade e

qualidade química da serapilheira, que favorece a retenção temporária desses elementos antes de sua mineralização como destacado por Caldeira *et al.* (2008) e Valente *et al.* (2023).

Os coeficientes de variação para os micronutrientes foram mais elevados, com destaque para Fe (CV = 68,0%), o que é esperado devido à elevada heterogeneidade espacial desse elemento no solo e à influência de fatores edáficos e biogeoquímicos locais, afirmando a importância da formação do solo descrita por Santos *et al.* (2018). Ainda assim, os resultados são consistentes e estatisticamente robustos, uma vez que os efeitos dos tratamentos foram detectados com elevado nível de significância.

De forma geral, os resultados da ANOVA confirmam que o tipo de uso da terra exerce influência significativa sobre a produção de serapilheira e o acúmulo de macro e micronutrientes no semiárido. As áreas com vegetação estabelecida (mata nativa e reflorestamento com eucalipto) apresentaram comportamento estatisticamente distinto da área degradada, evidenciando maior eficiência na ciclagem de nutrientes e maior potencial de melhoria das condições edáficas.

Esses resultados reforçam o papel do reflorestamento com eucalipto como prática conservacionista, capaz de aproximar os atributos nutricionais do solo daqueles observados em ecossistemas naturais.

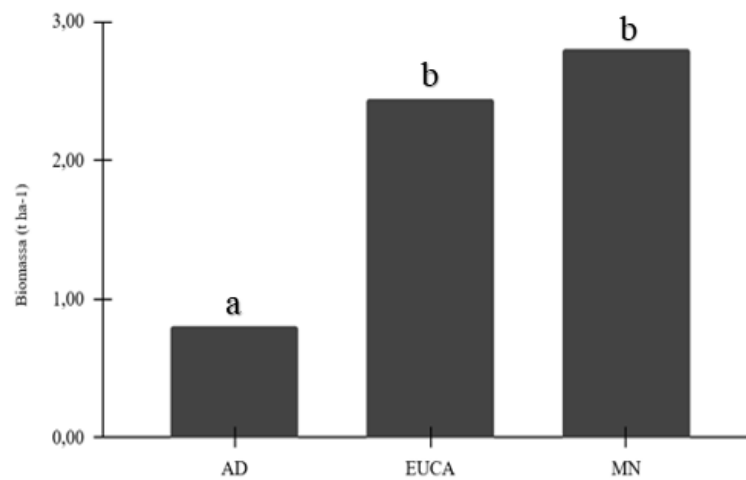
#### **4.1 Biomassa de serapilheira**

A produção de biomassa apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. A mata nativa (MN) registrou o maior acúmulo (2,8 t ha<sup>-1</sup>), seguida da área reflorestada com eucalipto (EUCA), com 2,4 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a área degradada (AD) apresentou o menor valor (0,8 t ha<sup>-1</sup>) (Gráfico 2). A superioridade da MN era esperada, considerando que apresenta componentes vegetais que ali estão se desenvolvendo há mais tempo, bem como sua maior diversidade florística, que favorece maior deposição e renovação de resíduos vegetais, conforme observado em ecossistemas florestais naturais (Brun; Schumacher; Spathelf, 2001; Scoriza *et al.*, 2012; Aber; Melillo, 1991).

Esse gradiente reflete a complexidade estrutural e a produtividade das coberturas: a mata nativa, por maior diversidade da flora e estratificação, fornece entrada contínua e heterogênea de resíduos; os plantios de eucalipto geram elevada massa foliar, mas com menor diversidade de frações (folha > casca > madeira), enquanto a área degradada apresenta baixa cobertura e produção de matéria vegetal. A diferença de magnitude entre MN e AD (≈3,5×) indica perda substancial do potencial de aporte de matéria orgânica em áreas degradadas, com

consequências diretas para formação de húmus e alimentação da comunidade decompositora (Martins; Rodrigues, 1999; UNCCD, 2017; Pimentel *et al.*, 1995; Pimentel, 2006).

Gráfico 2 – Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para biomassa de serapilheira em kg ha<sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

Os valores intermediários observados em EUCA concordam com estudos que apontam espécies do gênero eucalipto capazes de promover elevada deposição de serapilheira, ainda que com menor diversidade de resíduos (Gama-Rodrigues *et al.*, 2005; Gatto *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2023). Por sua vez, a reduzida produção de biomassa em AD é característica de ambientes degradados nos quais a baixa cobertura vegetal restringe tanto a entrada de material orgânico quanto os processos de regeneração natural (Martins; Rodrigues, 1999; UNCCD, 2017; Moro *et al.*, 2021).

A maior massa de serapilheira em MN e EUCA sugere maior aporte de C orgânico e maior potencial de reposição de nutrientes removidos por erosão ou colheita, conforme discutido por Lal (2001), Maia *et al.* (2018) e Franzluebbbers (2007). Em AD, a redução da entrada limita a recuperação natural da fertilidade e aumenta vulnerabilidade à erosão e à perda de nutrientes solúveis (Montgomery, 2007; Pimentel, 2006; Morgan, 2005). Esses efeitos compõem o mecanismo pelo qual a conservação ou reabilitação da cobertura vegetal restabelece processos de ciclagem no semiárido. Assim, o comportamento observado para produção de

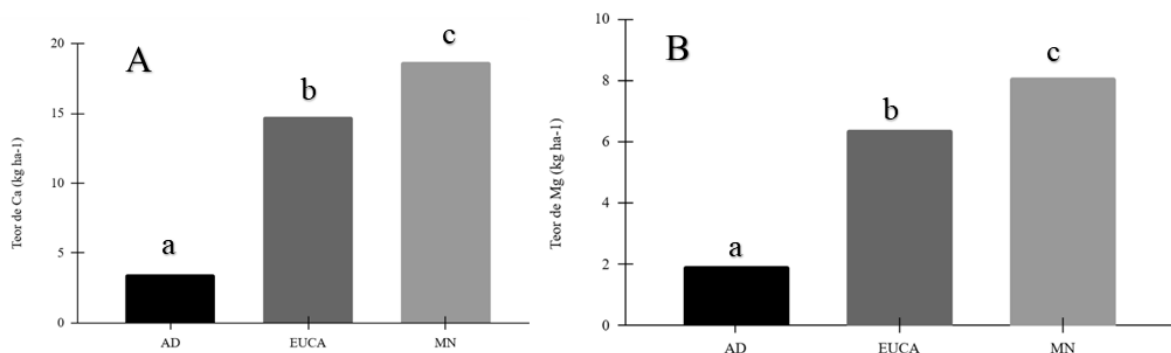
biomassa seguiu o padrão  $MN > EUCA > AD$ , refletindo diretamente o estado de conservação e a complexidade estrutural de cada ecossistema.

## 4.2 Macronutrientes

### 4.2.1 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

O aporte de nutrientes na serapilheira variou significativamente entre os ambientes avaliados, com maiores valores observados no tratamento de MN, seguida de EUCA e de AD. Para o Cálcio, como observado no quadro A, os maiores teores foram registrados em MN (18,69 kg ha<sup>-1</sup>), seguidos por EUCA (14,78 kg ha<sup>-1</sup>) e AD (3,44 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto o Magnésio, quadro B, apresentou valores de 8,10 kg ha<sup>-1</sup> em MN, 6,37 kg ha<sup>-1</sup> em EUCA e apenas 1,93 kg ha<sup>-1</sup> em AD (Gráfico 3). Esse padrão evidencia a influência direta da cobertura morta, da diversidade vegetal e do grau de conservação do ecossistema sobre a ciclagem de nutrientes via serapilheira (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Lal, 2001).

Gráfico 3 - Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha<sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

No Tratamento MN, o maior acúmulo de Ca está associado à elevada diversidade de espécies, que promove maior produção de biomassa e concentra quantidades expressivas desse nutriente nos tecidos vegetais, especialmente nas folhas (Scoriza *et al.*, 2012). A baixa mobilidade do Ca no floema faz com que o nutriente permaneça acumulado nos tecidos foliares até a senescência, contribuindo de forma significativa para o aporte via serapilheira (Cunha;

Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Scoriza *et al.*, 2012; Lucena *et al.*, 2016; Menezes *et al.*, 2021; Campos; Martins, 2018). A presença de cristais de oxalato de cálcio nas folhas reforça esse acúmulo, resultando em maiores concentrações do nutriente no material vegetal depositado no solo (Malavolta, 2006).

Além disso, a coleta da serapilheira ao final da primavera coincide com um período de intensa deposição de estruturas reprodutivas, como flores, inflorescências e frutos abortados. O Ca desempenha papel fundamental na formação e estabilidade de tecidos reprodutivos, especialmente no desenvolvimento do tubo polínico, o que explica sua maior ocorrência na biomassa depositada durante esse período fenológico (Malavolta, 2006). Assim, a fenologia da vegetação contribui para a elevação estacional dos teores de Ca na serapilheira, sobretudo em ambientes mais conservados e estruturalmente complexos, como a Mata Nativa.

O comportamento do Mg foi semelhante ao do Ca, reforçando a estreita relação entre esses nutrientes na ciclagem biogeoquímica dos ecossistemas florestais (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993). Embora o Mg apresente alta mobilidade no floema, possui funções fisiológicas essenciais, uma vez que esse nutriente constitui o átomo central da molécula de clorofila e atua em processos fotossintéticos e de ativação enzimática (Malavolta, 2006). Em função dessas características, grande parte do Mg permanece concentrada em folhas e caules, que representam a principal fração da serapilheira depositada no solo.

A diversidade estrutural e funcional da vegetação no Tratamento MN favorece o acúmulo de biomassa aérea e prolonga o ciclo de retenção e redistribuição do Mg na serapilheira, conforme descrito por Aber e Melillo (1991). Adicionalmente, a heterogeneidade de microambientes e a maior estabilidade microclimática — especialmente em relação à umidade e temperatura — modulam a taxa de decomposição e favorecem a manutenção de concentrações relativamente elevadas de Mg nas camadas superficiais do material orgânico (Swift; Heal; Anderson, 1979).

Para o Tratamento EUCA, os valores intermediários de Ca e Mg indicam que, embora o sistema apresente menor diversidade florística em comparação à vegetação natural, sua dinâmica de ciclagem de nutrientes é relativamente eficiente (Lucena *et al.*, 2016; Menezes *et al.*, 2021; Campos; Martins, 2018; Teixeira *et al.*, 2017). Nesse ambiente, destaca-se ainda a aplicação de calcário, prática que contribuiu diretamente para o incremento dos teores de cálcio disponíveis no solo e, conseqüentemente, para sua absorção pelas plantas e posterior retorno via serapilheira. A calagem é uma prática de manejo que promove a correção da acidez, o aumento da saturação por bases e a melhoria das condições químicas do solo, favorecendo a disponibilidade desses nutrientes (Ca e Mg) e o desenvolvimento radicular das plantas

(Malavolta, 2006; Carvalho *et al.*, 2022).

Dessa forma, a combinação entre o manejo corretivo do solo, por meio da calagem, e as características fisiológicas do eucalipto — como elevada produção de biomassa foliar e capacidade de exploração de camadas mais profundas do solo — favoreceu o retorno contínuo de cálcio e magnésio ao solo via serapilheira, contribuindo para os valores observados em EUCA. Embora a presença de compostos recalcitrantes possa retardar a decomposição, a elevada produção de biomassa compensa essa limitação, resultando em aporte expressivo desses nutrientes ao sistema (Lucena *et al.*, 2016; Menezes *et al.*, 2021).

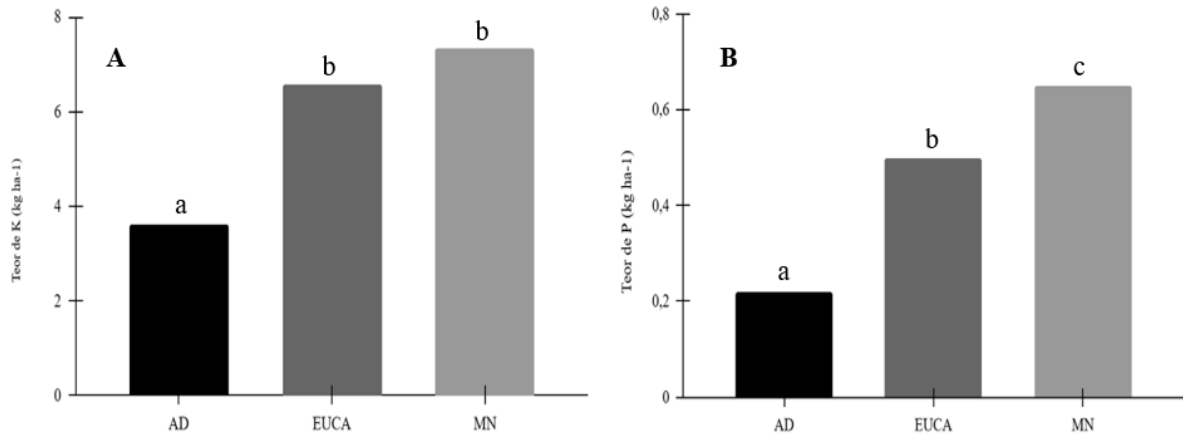
Em contraste, o Tratamento AD apresentou os menores valores de deposição de Ca e Mg, refletindo a perda de fertilidade do solo, a baixa produtividade vegetal e a redução da capacidade de ciclagem de nutrientes (Lal, 2001; Dorlivete, 2016; FAO, 2011; Brasil, 2020). A escassez de espécies arbóreas, a limitada produção de biomassa e a restrição da atividade microbiana comprometem a deposição e a decomposição da serapilheira, intensificando o empobrecimento do ecossistema, especialmente em áreas sob avançado processo de degradação e desertificação (Leal *et al.*, 2003; Kageyama *et al.*, 2017).

#### **4.2.2 Potássio (K) e Fósforo (P)**

Os teores médios de potássio, quadro A, diferiram entre os ambientes, com valores de 7,33 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento MN, 6,57 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento EUCA e 3,63 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento AD (Gráfico 4). Observa-se menor amplitude entre MN e EUCA, ambas estatisticamente superiores à AD. Esse comportamento indica maior eficiência da ciclagem do potássio em sistemas florestais estruturados, independentemente de serem naturais ou implantados, conforme também relatado por Brun, Schumacher e Spathelf (2001), Gama-Rodrigues *et al.* (2005) e Valente *et al.* (2023).

Quanto ao fósforo, quadro B, os valores acumulados na serapilheira foram inferiores aos observados para o potássio, com teores de 0,65 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento MN, 0,50 kg ha<sup>-1</sup> para o Tratamento EUCA e 0,22 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento AD (Gráfico 4). Embora os valores absolutos sejam baixos, o padrão de distribuição entre os ambientes indica maior eficiência de ciclagem do fósforo na Mata Nativa e no Reflorestamento com Eucalipto, quando comparados à Área Degradada.

Gráfico 4 - Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Potássio (K) e Fósforo (P) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em  $\text{kg ha}^{-1}$  em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

Do ponto de vista ecológico, esses resultados podem ser explicados pelas características fisiológicas do potássio, que é um cátion monovalente altamente móvel no sistema solo-planta-serapilheira. O nutriente apresenta elevada capacidade de translocação interna, acumulando-se preferencialmente em folhas e ramos, que constituem a principal fração da serapilheira depositada no solo (Malavolta, 2006). Essa elevada mobilidade favorece uma ciclagem rápida, resultando em maiores concentrações do nutriente na serapilheira recém-depositada, especialmente em ambientes com alta produção de biomassa (Brun; Schumacher; Spathelf, 2001).

Na Mata Nativa, a elevada diversidade florística e estrutural, aliada à estabilidade microclimática, favorece a redistribuição contínua do potássio na biomassa aérea e seu retorno ao solo via serapilheira. A coexistência de espécies com diferentes estratégias de absorção e retranslocação contribui para a manutenção de estoques mais elevados do nutriente, conforme descrito por Gama-Rodrigues *et al.* (2005) e Valente *et al.* (2023). Além disso, a maior cobertura do solo reduz perdas por lixiviação e volatilização, favorecendo a retenção do K no sistema.

No Tratamento EUCA, os valores de potássio próximos aos da MN evidenciam o potencial desse sistema em manter uma ciclagem nutricional eficiente. O eucalipto apresenta elevada taxa de crescimento e alta exigência por potássio, incorporando o nutriente à biomassa aérea e devolvendo-o continuamente ao solo por meio da queda de folhas e ramos (Brun; Schumacher; Spathelf, 2001; Santos, 2015; Franzluebbbers, 2007). Ademais, as práticas adotadas na implantação do reflorestamento com aplicação de calcário e adubação de NPK,

contribuíram para a melhoria das condições químicas do solo, favorecendo a absorção de nutrientes, o que se refletiu nos teores de K observados na serapilheira (Campos; Martins, 2018; Menezes *et al.*, 2021). Porém, autores como Campos e Martins, (2018) e Gonçalves e Pivello, (2016), alertam para os riscos de cultivos monoespecíficos que podem gerar novos processos de degradação.

Em contraste, o Tratamento AD apresentou os menores teores de K, mesmo com adução de adubação de NPK, realizadas com o objetivo de viabilizar o cultivo posterior de milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). Esse resultado indica que a simples adição de insumos não é suficiente para restabelecer a ciclagem eficiente de nutrientes em ambientes degradados, uma vez que a baixa cobertura vegetal, a reduzida produção de biomassa e a limitada atividade biológica comprometem o retorno do nutriente ao solo via serapilheira (Lal, 2001; Dorlivete, 2016; Brasil, 2020).

Quanto ao fósforo, quadro B, os valores acumulados na serapilheira foram inferiores aos observados para o potássio, com teores de 0,65 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento MN, 0,50 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento EUCA e 0,22 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento AD. Embora os valores absolutos sejam baixos, o padrão de distribuição entre os ambientes indica maior eficiência de ciclagem do P na Mata Nativa e no Reflorestamento com Eucalipto, quando comparados à Área Degradada.

No Tratamento MN, o maior acúmulo de P está associado à elevada diversidade vegetal e à presença de associações micorrízicas mais eficientes, típicas de ecossistemas conservados. Essas associações ampliam a absorção e a redistribuição do fósforo pela vegetação, favorecendo sua retenção nos tecidos foliares e posterior devolução ao solo via serapilheira (Swift; Heal; Anderson, 1979; Maia *et al.*, 2018). Além disso, a composição química da serapilheira, com menor proporção de compostos recalcitrantes, favorece taxas mais elevadas de mineralização do P durante o processo de decomposição (Swift; Heal; Anderson, 1979).

No Tratamento EUCA, os valores intermediários de P refletem a combinação entre elevada produção de serapilheira e liberação mais lenta do nutriente. O tecido vegetal do eucalipto apresenta maiores teores de lignina e compostos fenólicos, o que retarda a decomposição e a mineralização do fósforo, resultando em liberação gradual ao solo (Zhang *et al.*, 2016). Ainda assim, as práticas de manejo adotadas na implantação do sistema, incluindo calagem, adubação fosfatada e preparo profundo do solo, contribuíram para melhorar a disponibilidade de fósforo e sua incorporação progressiva ao ciclo biogeoquímico, justificando os teores superiores aos do Tratamento em AD (Campos; Martins, 2018; Menezes *et al.*, 2021).

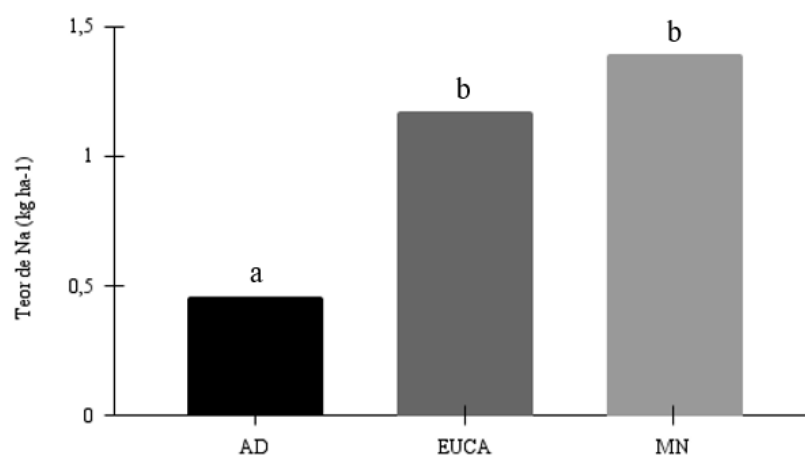
Na Área Degradada, a baixa deposição de P evidencia um sistema com reduzida capacidade de ciclagem de nutrientes. A limitada produção de biomassa, a menor diversidade vegetal e a baixa eficiência das associações micorrízicas comprometem o retorno do P ao solo via serapilheira, mesmo após intervenções corretivas e adubações voltadas à produção agrícola (Lal, 2001; Brussaard *et al.*, 2010; Van-Camp *et al.*, 2017).

### 4.3 Sódio (Na) e Micronutrientes

#### 4.3.1 Sódio (Na)

Os valores de sódio (Na) acumulados na serapilheira indicam ausência de diferença estatística entre a MN (1,39 kg ha<sup>-1</sup>) e a EUCA (1,14 kg ha<sup>-1</sup>), porém ambos os ambientes apresentaram valores significativamente superior aos observados no Tratamento AD (0,46 kg ha<sup>-1</sup>) (Gráfico 5). Esse padrão evidencia que o maior acúmulo de Na está diretamente associado à presença de cobertura vegetal mais estruturada e à maior produção de biomassa, características típicas dos sistemas florestados.

Gráfico 5 - Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Sódio (Na). Teores em kg ha<sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

Diferentemente de macronutrientes essenciais, o Na não desempenha função metabólica primária para a maioria das espécies vegetais, razão pela qual sua absorção não

ocorre de forma preferencial. Assim, a deposição de Na via serapilheira reflete, sobretudo, o volume total de material vegetal produzido e depositado sobre o solo, e não um mecanismo fisiológico específico de acumulação. Dessa forma, a maior quantidade de serapilheira produzida tanto no Tratamento MN quanto no Tratamento EUCA resulta em maior aporte absoluto de Na nesses ambientes, enquanto o Tratamento AD, caracterizada por baixa cobertura vegetal e reduzida produção de biomassa, apresenta valores substancialmente inferiores.

As concentrações de Na observadas na fração foliar da serapilheira são compatíveis com aquelas reportadas em florestas tropicais e costeiras, como descritos em estudos realizados por Vital *et al.* (2004) em florestas tropicais no Panamá e por Caldeira *et al.* (2008) em Floresta Atlântica de encosta e áreas de Restinga no Brasil. Valores mais elevados, como os registrados por König *et al.* (2002) em floresta estacional decidual no sul do Brasil, têm sido associados à maior proximidade com o oceano, evidenciando a influência da deposição atmosférica de aerossóis marinhos sobre os teores de Na nos tecidos vegetais. No presente estudo, a localização da propriedade em área próxima ao litoral constitui um fator relevante, pois contribui para o incremento do Na via entrada atmosférica, que é posteriormente incorporado à biomassa vegetal e devolvido ao solo por meio da deposição da serapilheira, conforme discutido por Vital *et al.* (2004) e Caldeira *et al.* (2008).

Além disso, os resultados podem indicar também ausência de um padrão sazonal bem definido para as concentrações de Na nas folhas, comportamento já relatado por König *et al.* (2002) e Pinto *et al.* (2008) para nutrientes cuja dinâmica está menos associada à retranslocação fisiológica interna. A literatura aponta que a pluviosidade exerce maior influência sobre nutrientes altamente móveis, como K e N, enquanto o Na tende a apresentar menor variação sazonal, estando mais associado a fatores externos, como deposição atmosférica, do que à dinâmica interna da planta (Vital *et al.*, 2004; Caldeira *et al.*, 2008).

O gênero *Eucalyptus* apresenta elevada capacidade de ascensão capilar de sais no solo, processo intensificado pela alta taxa de evapotranspiração das plantas, característica amplamente documentada para espécies cultivadas em regiões tropicais e semiáridas (Drumond *et al.*, 2016; Gonçalves; Pereira, 2019). Esse mecanismo pode favorecer a ocorrência de salinização secundária, sobretudo em áreas com lençol freático raso e sob condições climáticas áridas ou semiáridas, nas quais a elevada demanda hídrica das plantas intensifica o fluxo ascendente de soluções salinas no perfil do solo (FAO, 2011; Qadir *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016).

Entretanto, evidências indicam que parte dos sais acumulados na zona radicular é absorvida pelas plantas e incorporada à biomassa aérea, especialmente em folhas, ramos e

estruturas reprodutivas, em função da elevada capacidade de absorção e redistribuição de nutrientes e íons pelas espécies do gênero *Eucalyptus* (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Foelkel, 2025). Posteriormente, esses elementos retornam ao solo por meio da deposição de serapilheira, composta principalmente por folhas, galhos e materiais lenhosos, promovendo sua reintegração ao ciclo biogeoquímico e contribuindo para a ciclagem de sais e nutrientes na camada superficial do solo (Aber; Melillo, 1991; Caldeira *et al.*, 2008; PINTO *et al.*, 2008).

Esse processo é particularmente relevante em ecossistemas tropicais, nos quais a elevada produção de biomassa e a intensa dinâmica da matéria orgânica favorecem uma ciclagem relativamente eficiente de elementos minerais, como observado em áreas de Cerrado e em sistemas florestais implantados (Swift; Heal; Anderson, 1979; Maia *et al.*, 2018; Menezes *et al.*, 2021). Contudo, em solos com histórico de salinidade ou sob manejo inadequado, a deposição contínua de serapilheira pode também reintroduzir íons potencialmente problemáticos, como sódio e cloreto, exigindo a adoção de práticas de manejo e monitoramento para evitar processos de re-salinização e comprometimento da qualidade do solo (Qadir *et al.*, 2014; UNCCD, 2017; Lal, 2015).

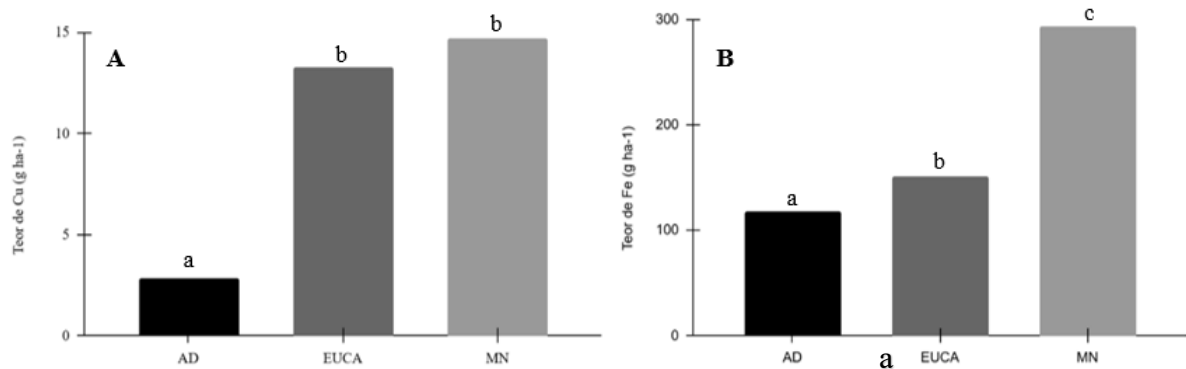
#### **4.3.2 Cobre (Cu) e Ferro (Fe)**

Os teores médios de micronutrientes na serapilheira diferiram de forma significativa entre os ambientes avaliados, conforme indicado pela Análise de Variância (ANOVA), evidenciando a influência do uso e manejo do solo, bem como do grau de conservação da vegetação, sobre a dinâmica de ciclagem nutricional. De modo geral, os maiores valores foram observados no Tratamento MN, seguidos pelo Tratamento EUCA, enquanto o Tratamento AD apresentou os menores teores, padrão recorrente em estudos que avaliam a funcionalidade ecológica de ecossistemas sob diferentes níveis de intervenção antrópica (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Lal, 2001; Valente *et al.*, 2023).

Para o Cobre (A), os maiores acúmulos foram registrados no Tratamento MN (14,67 kg ha<sup>-1</sup>), seguidos pelo Tratamento EUCA (13,28 kg ha<sup>-1</sup>) e pelo Tratamento AD (2,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Gráfico 6 – quadro A). Esses resultados indicam que ambientes florestados apresentam maior capacidade de incorporação e ciclagem desse micronutriente ao solo via serapilheira, sobretudo em função da maior produção de biomassa vegetal e da presença de compartimentos ricos em Cu, como folhas, cascas e ramos (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Caldeira *et al.*, 2008). A proximidade dos valores observados entre MN e EUCA sugere que sistemas de reflorestamento, quando adequadamente implantados e manejados, podem restabelecer

parcialmente a dinâmica de ciclagem de micronutrientes, aproximando-se das condições encontradas em ecossistemas naturais.

Gráfico 6 - Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Cobre (Cu) e Ferro (Fe) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em kg ha<sup>-1</sup> em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

Do ponto de vista fisiológico, o cobre desempenha funções essenciais no metabolismo vegetal, atuando em processos enzimáticos e reações de oxirredução, o que favorece sua retenção nos tecidos estruturais da biomassa aérea. Em ecossistemas com elevada diversidade florística, como em florestas, essa característica resulta em maior acúmulo do nutriente nos resíduos vegetais depositados sobre o solo, intensificando o retorno de Cu via serapilheira (Caldeira *et al.*, 2008). No caso do Tratamento EUCA, a elevada produção de biomassa foliar e lenhosa do eucalipto, aliada à deposição contínua de resíduos, contribui de forma significativa para a ciclagem desse micronutriente.

Adicionalmente, as práticas de manejo, como aplicação de calcário e adubação com NPK adotadas na implantação do reflorestamento, favoreceram a melhoria das condições físicas e químicas do solo, aumentando a disponibilidade e a retenção de Cu no sistema solo–planta–serapilheira. Esses fatores contribuem para explicar os valores intermediários e relativamente elevados observados em EUCA, corroborando com os resultados reportados por Caldeira *et al.* (2008) e Santos *et al.* (2018).

Em contraste, o Tratamento AD apresentou os menores teores de cobre, refletindo a baixa produção de biomassa vegetal, a escassez de compartimentos capazes de acumular o micronutriente e a ruptura dos processos de ciclagem biogeoquímica. Embora essa área tenha

recebido aplicação de calcário e adubação com NPK, a ausência de cobertura vegetal contínua e o histórico de degradação limitaram a incorporação efetiva do Cu à serapilheira, comprometendo a funcionalidade ecológica do sistema como disserta Valente *et al.* (2023).

Em relação ao ferro, os resultados evidenciaram diferenças ainda mais expressivas entre os ambientes, com valores de 292,87 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento MN, 151,24 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento EUCA e 118,37 kg ha<sup>-1</sup> no Tratamento AD (Gráfico 6 – quadro B). O elevado acúmulo de Fe na Área de Mata Nativa pode ser atribuído à combinação entre maior produção e diversidade de biomassa vegetal e às características pedológicas do Neossolo Quartzarênico presente na área, o qual apresenta elevados teores de óxidos de ferro nos horizontes superficiais. Essa condição favorece tanto a absorção do nutriente pelas plantas quanto a incorporação de partículas minerais à serapilheira, elevando os valores quantificados (Caldeira *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2018).

No Tratamento EUCA, os valores intermediários de Fe refletem uma dinâmica pedológica distinta, uma vez que o sistema está instalado sobre Argissolo Vermelho-Amarelo, cuja mineralogia e capacidade de retenção de Fe diferem daquelas observadas na Área de Mata Nativa. Sendo o Argissolo Vermelho-Amarelo um tipo de solo mineral caracterizado por um horizonte B textural (com acúmulo de argila), possuem a cor avermelhada intensa devido à presença de óxidos de ferro (hematita) (Santos *et al.*, 2018). Ainda assim, a maior produção de biomassa e a interação entre a serapilheira e os compartimentos minerais superficiais explicam os teores relativamente elevados registrados em EUCA, quando comparados à Área Degradada (Santos *et al.*, 2018; Valente *et al.*, 2023).

Por outro lado, o Tratamento AD apresentou os menores valores de acúmulo de Fe, resultado da redução da cobertura vegetal, da baixa deposição de resíduos orgânicos e da simplificação estrutural da serapilheira. Essas condições limitam a interação entre o material orgânico e o solo mineral Neossolo quartzarênico – RQ, reduzindo a eficiência dos processos de ciclagem do ferro e agravando a perda de funcionalidade ecológica do sistema, mesmo após intervenções corretivas como calagem e adubação mineral (Maia *et al.*, 2018; Campos; Martins, 2018).

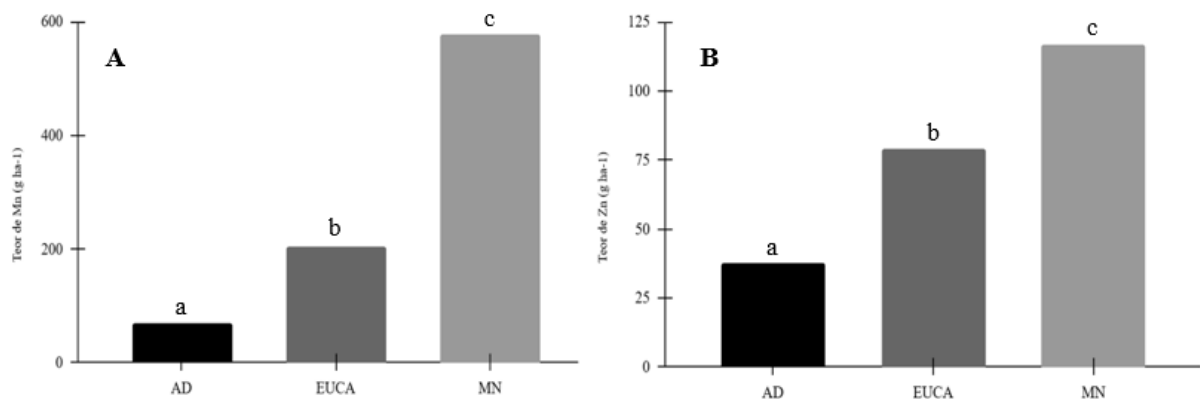
#### **4.3.3 Manganês (Mn) e Zinco (Zn)**

O acúmulo de manganês (Mn) na serapilheira foi marcadamente superior na serapilheira da mata nativa (MN: 507,37 kg ha<sup>-1</sup>), seguido pelo reflorestamento com eucalipto (EUCA: 204,77 kg ha<sup>-1</sup>) e pela área degradada (AD: 69,87 kg ha<sup>-1</sup>) (Gráfico 7 – quadro A).

Essa ordenação reflete a tendência do Mn de se acumular em ecossistemas com elevada atividade microbiana e maior aporte de biomassa depositada, atributos predominantes na MN (Caldeira *et al.*, 2008; König *et al.*, 2002).

Os resultados indicam que o acúmulo de zinco (Zn) na serapilheira variou significativamente entre os usos do solo avaliados, seguindo a ordem MN ( $116,71 \text{ kg ha}^{-1}$ ) > EUCA ( $79,20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) > AD ( $37,58 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Gráfico 7 – quadro B). Esse comportamento reflete a influência direta da estrutura da vegetação, da produção de biomassa e da eficiência dos processos de ciclagem de micronutrientes nos diferentes ecossistemas (Caldeira *et al.*, 2008; Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993).

Gráfico 7 - Análise de Variância (ANOVA) com valores médios para Manganês (Mn) e Zinco (Zn) representados pelos quadros A e B, respectivamente. Teores em  $\text{kg ha}^{-1}$  em Área Degradada (AD), Área reflorestada com Eucalipto (EUCA) e Área de Mata Nativa (MN)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025). As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de F significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade.

A análise de variância (ANOVA) evidenciou diferenças significativas nos teores médios de manganês (Mn) e zinco (Zn) acumulados na serapilheira entre os usos do solo avaliados, indicando influência direta do tipo de cobertura vegetal, do manejo adotado e das condições edáficas sobre a dinâmica desses micronutrientes. De modo geral, observou-se maior acúmulo no Tratamento MN, seguida pelo Tratamento EUCA e, por último, pelo Tratamento AD. De acordo com Cunha; Gama-Rodrigues; Costa (1993) e Caldeira *et al.* (2008), esse é um padrão recorrente em ecossistemas florestais com distintos níveis de conservação evidenciando um acúmulo marcadamente superior em ecossistemas de mata nativa.

Esse comportamento está associado à elevada diversidade da flora e à intensa produção de biomassa da MN, que favorecem maior deposição de serapilheira rica em Mn,

especialmente folhas e frações lenhosas. Além disso, a alta atividade microbiana típica desses ecossistemas contribui para processos mais eficientes de mineralização e retenção do micronutriente na camada superficial do solo como apontam König *et al.* (2002), e Caldeira *et al.* (2008).

Em EUCA, os valores inferiores aos da MN ainda se mostram elevados, atribuíveis à notável capacidade de espécies lenhosas de *Eucalyptus* em acumular Mn em folhas e madeira. A elevada produtividade de biomassa nessas plantações monoculturais sustenta um depósito contínuo de serapilheira enriquecida com o micronutriente, impulsionado por raízes eficientes e condições edafoclimáticas locais (König *et al.*, 2002; Caldeira *et al.*, 2008).

Em contraste, ao Tratamento AD apresentou os menores estoques de Mn decorrentes da reduzida biomassa vegetal, baixa atividade microbiana e exposição a perdas por erosão e lixiviação pelo tratamento se encontrar em área de Neossolo quartzarênico – RQ (Van-Camp *et al.*, 2017; Oldeman, (1994) e Montgomery, (2007). Diferenças pedológicas locais agravam essa discrepância, limitando a ciclagem e disponibilidade do elemento (Valente *et al.*, 2023; UNCCD, 2017). De acordo com Caldeira *et al.* (2008) e König *et al.* (2002), esses padrões sublinham o papel da integridade vegetal e microbiana na retenção de Mn, com implicações para a dinâmica de nutrientes e estratégias de restauração florestal.

Padrão semelhante foi observado para o zinco, com o Tratamento MN apresentando o maior acúmulo de Zn. O alto teor está relacionado à heterogeneidade da vegetação, que proporciona diferentes estratégias de absorção e redistribuição do micronutriente entre as espécies, resultando em um fluxo contínuo de serapilheira enriquecida e em elevada eficiência da ciclagem biogeoquímica (König *et al.*, 2002; Caldeira *et al.*, 2008).

No Tratamento EUCA, os valores expressivos de Zn, embora inferiores aos da MN, indicam que sistemas florestais implantados também desempenham papel relevante na recuperação parcial da dinâmica desse micronutriente. A elevada produtividade de biomassa foliar e lenhosa contribui para o retorno de Zn ao solo via serapilheira; contudo, a menor diversidade florística em relação à mata nativa limita a variabilidade dos padrões de absorção e redistribuição, justificando os valores intermediários observados (Cunha; Gama-Rodrigues; Costa, 1993; Caldeira *et al.*, 2008).

No Tratamento AD, os menores estoques de Zn refletem a combinação entre baixa produção de resíduos vegetais, ciclagem nutricional limitada e perdas contínuas por erosão superficial. Mesmo com práticas corretivas, como calagem e adubação mineral, a ausência de cobertura vegetal permanente compromete o retorno do micronutriente ao solo, resultando em empobrecimento progressivo da fertilidade superficial e redução da funcionalidade ecológica

do sistema (Oldeman, 1994; Montgomery, 2007; Pimentel *et al.*, 1995; UNCCD, 2017; Valente *et al.*, 2023).

De forma integrada, os maiores acúmulos e concentrações de manganês e zinco na serapilheira da mata nativa e do reflorestamento com eucalipto evidenciam a importância da cobertura florestal, da produção de biomassa e da diversidade vegetal para a manutenção da ciclagem de micronutrientes. Esses resultados reforçam o papel dos sistemas florestais na recuperação da qualidade do solo e na mitigação dos efeitos da degradação, contrastando com a limitada capacidade das áreas degradadas em reter e reciclar nutrientes mesmo quando submetidas a práticas de correção química (Caldeira *et al.*, 2008; König *et al.* (2002).

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa permitem concluir que o uso da terra exerce um impacto significativo na produção de serapilheira e no acúmulo de macro e micronutrientes em solos arenosos do semiárido, o que demonstra a importância da cobertura vegetal na manutenção da ciclagem de nutrientes e na melhoria das condições edáficas. De modo geral, os sistemas com cobertura vegetal estabelecida apresentaram desempenho superior quando comparados à área degradada, confirmando a importância da vegetação na dinâmica biogeoquímica dos ecossistemas semiáridos.

A hipótese geral foi confirmada, uma vez que áreas de reflorestamento com eucalipto e vegetação nativa apresentaram uma maior produção de serapilheira e um maior nível de macronutrientes em comparação com áreas degradadas. Os resultados demonstram que a presença e o crescimento da cobertura vegetal favorecem o aporte contínuo de matéria orgânica ao solo, o que contribui de forma mais eficiente para a ciclagem de nutrientes e para a sustentabilidade dos sistemas edáficos no semiárido.

Os dados evidenciaram que a produção de serapilheira foi significativamente maior nas áreas com cobertura vegetal estabelecida, especialmente em área de mata nativa e no reflorestamento com eucalipto, quando comparadas à área degradada. Dessa forma, confirma-se que a densidade vegetal elevada, a diversidade de espécies e o fornecimento constante de matéria orgânica nesses sistemas têm um impacto significativo, em contraste com a escassez de vegetação notada na área degradada.

Também foi confirmada, uma vez que a serapilheira proveniente das áreas de vegetação nativa e de reflorestamento com eucalipto apresentou maiores teores de macro e micronutrientes em comparação à área degradada. Essa diferença está relacionada à diversidade da flora, ao estágio sucessional mais avançado e à maior eficiência dos processos de ciclagem biogeoquímica nos sistemas com cobertura vegetal. Por outro lado, a área degradada apresentou baixos teores nutricionais, compatíveis com a reduzida produção e qualidade da serapilheira.

Os resultados demonstraram que o aporte total de nutrientes foi superior nos sistemas que apresentaram maior produção de serapilheira, com destaque para a mata nativa. Evidenciando, assim, que a quantidade de biomassa acumulada exerce influência sobre o volume de nutrientes ciclados no solo, sendo superior ao reflorestamento e à área degradada. Sendo que este último apresentou contribuição na ciclagem de nutrientes limitada, em função da baixa deposição de resíduos vegetais

Por fim, observa-se que a elevada concentração e o significativo aporte de nutrientes por meio da serapilheira nos sistemas com cobertura vegetal evidenciam um potencial para a melhoria das condições do solo, especialmente no que diz respeito ao aumento da disponibilidade de nutrientes e ao fortalecimento da ciclagem de nutrientes. Em ambientes semiáridos, caracterizados por solos de baixa fertilidade e elevada vulnerabilidade à degradação, a serapilheira desempenha papel estratégico na conservação do solo e na sustentabilidade dos ecossistemas.

Diante do exposto, conclui-se que a conservação e a restauração da cobertura vegetal, por meio de sistemas como a mata nativa e o reflorestamento com eucalipto, representam estratégias eficazes para a promoção da ciclagem de nutrientes. Estas estratégias melhoram a qualidade do solo no semiárido, reforçando a relevância de práticas de manejo que favoreçam a deposição e a conservação da serapilheira.

## REFERÊNCIAS

- ABER, J. D.; MELILLO, J. M. **Terrestrial ecosystems**. Philadelphia (U. S. A.): Saunders College Publishing. 543 p. Disponível em: <https://library.wur.nl/link/resolve?sid=WUR:CLC&req.language=Dutch&pid=%3Cisn%3E591863%3C/isn%3E&genre=book&auinit=JD&aulast=Aber&isbn=0030474434&date=1991&title=Terrestrial%20ecosystems&id=info:oclcnum/23346815>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12651&ano=2012&ato=a48QTVU1kMVpWT59b>. Acesso em: 20 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Práticas conservacionistas**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-praticas-conservacionistas>. Acesso em: 18 out. 2025.
- BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 277–285, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/3805>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- BRONICK, C.J.; LAL, R.. Estrutura e manejo do solo: uma revisão. **Geoderma**, v. 124, ed. 1-2, p. 3-22, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>. Acesso em: 18 out. 2025.
- BRUSSAARD, L. *et al.*. Biodiversidade do solo para a sustentabilidade agrícola. **Agricultura, Ecosystemas e Meio Ambiente**, v. 142, ed. 1-2, p. 46-54, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S>. Acesso em: 18 out. 2025.
- CALDEIRA, M. V. W., VITORINO, M. D., SCHAADT, S. S., MORAES, E., BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53–68, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/XJBGn9yVhd8rcQbRwzGdDDw/?lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- CAMPOS, R. F.; MARTINS, S. V. Planejamento e execução de projetos de reflorestamento para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, v. 42, n. 4, p. 1–12, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>.
- CARVALHO, M. L. *et al.* **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. *il.*: Organização de Maurício Roberto Cherubin. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022. 126 p. Disponível em:

[https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro\\_Plantas\\_de\\_Cobertura\\_completo.pdf](https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plantas_de_Cobertura_completo.pdf). Acesso em: 13 dez. 2025.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 17, n. 3, p. 353–363, 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/48nCy7m6XJ4mwPZsGBsxQMj/?lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

DA SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Editor técnico: Fábio Cesar da Silva. – 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. : il. ; 22 cm x 16 cm. ISBN 978-85-7383-430-7. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/257040?mode=full>. Acesso em: 17 out. 2025.

DORLIVETE, S. R. **Práticas Conservacionistas e Recuperação de Áreas Degradadas**. Brasília: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1015475>. Acesso em: 20 out. 2025.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J.; **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido; Colombo: Embrapa Florestas, 42 p. 2016. Disponível em: <https://share.google/lfi7wCjMW2t0YCvQg>. Acesso em: 07 nov. 2025.

FAO. **O Estado dos Recursos Hídricos e Terrestres do Mundo para a Alimentação e a Agricultura**. Roma: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.

FERNANDES, M. N. F. **Disponibilidade de micronutrientes em solos submetidos a diferentes manejos no semiárido**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/>. Acesso em: 16 out. 2025.

FRANZLUEBBERS, A. J. Sistemas integrados de cultivo e pecuária no sudeste dos EUA. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 361–372, 2007. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2006.0141>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FOELKEL, C. **Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores**. Disponível em: [https://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo\\_minerais.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf). Acesso em: 07 nov. 2025.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893–901, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600007>. Acesso em: 07 nov. 2025.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069–1079, 2010. Disponível em:

[http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000400007](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000400007). Acesso em: 07 nov. 2025.

GONÇALVES, J. L. M.; PEREIRA, R. M. O uso do eucalipto em reflorestamentos e a conservação do solo. **Revista Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 476–490, 2019.

GONÇALVES, J. L. M.; PIVELLO, V. R. Sustentabilidade e biodiversidade em sistemas florestais. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 85–102, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/85Vj6NLkLykBZVRwLjNwSdh/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2025.

IPCC. **Relatório Especial sobre Mudanças Climáticas e Terras**. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/report/relatorio-especial-do-ipcc-mudanca-climatica-e-terra>. Acesso em: 18 out. 2025.

JOSÉ, S. Agroflorestas para serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais: uma visão geral. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 76, p. 1–10, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KAGEYAMA, P. Y. *et al.* *Práticas agrícolas e conservação do solo no semiárido nordestino*. Revista **Agro@ambiente On-line**, v. 11, p. 87–96, 2017. Disponível em: <http://www.agroambiente.com.br/seer/index.php/revista/article/view/758>. Acesso em: 18 out. 2025.

KÖNIG, F. G., BRUN, E. J., SCHUMACHER, M. V., SELING, I.. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 429–435, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/gL9gMkTWxWWrQcddFY6vL4D/?lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

LAL, R. Degradação do solo como causa da nutrição humana inadequada. **Food Security**, v. 3, n. 1, p. 45–57, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-010-0090-x>. Acesso em: 17 out. 2025.

LAL, R. Degradação do solo por erosão. *In: Degradação e desenvolvimento da terra*. **Semantic Scholar**. v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Soil-degradation-by-erosion-Lal/2db7586f3de2fb5e4100fc7cb565ffbbacbc57eb>. Acesso em: 17 out. 2025.

LAL, R. Restauração da qualidade do solo para mitigar a degradação do solo. **Sustentabilidade**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su7055875>. Acesso em: 17 out. 2025.

LEAL, IR, *et al.* (2003). A Caatinga: descrição de uma região de floresta seca heterogênea no nordeste do Brasil. **The International Journal of Ecology**. [s. l.], 2003.

LUCENA, C. H. A., *et al.*. Declínio da fertilidade do solo sob agricultura intensiva: um estudo de caso regional do semiárido brasileiro. **Uso e Manejo do Solo**, v. 32, n. 1, p. 15–23,

2016. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/umaso/article/view/18778>. Acesso em: 17 out. 2025.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAGALHÃES, M. O. L.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do .; SANTOS, F. S. dos .; MAZUR, N.. Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 805–812, set. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300029>. Acesso em: 07 nov. 2025.

MAIA, L.C., *et al.*. Sistemas agroflorestais em regiões semiáridas: melhorando o carbono e a fertilidade do solo. **Sistemas Agroflorestais**, v. 92, n. 2, p. 305–318, 2018.

MARTINS, C. M. *et al.* Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883–1890, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600012>. Acesso em: 07 nov. 2025.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, 22(3), 405–412. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/xzWkBsDFDwF5QnRTJJQmRcf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MENEZES, J. P. S. *et al.* Efeitos de reflorestamentos na fertilidade e estrutura de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/FS7rWzwGjMJP3Zxh7YpM3Sr/>. Acesso em: 17 out. 2025.

MENEZES, S. J. *et al.* **Manejo do solo em sistemas integrados de produção**. Brasília: Embrapa, 2021.

MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A.Y. Parâmetros de pegada hídrica para a produção agrícola. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 214–223, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14000951>. Acesso em: 17 out. 2025.

MONTGOMERY, D. R. Erosão do solo e sustentabilidade agrícola. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), [s. l.], **Anais da Academia Nacional de Ciências** v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007. Montgomery, DR, 2007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1948917/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MORGAN, R. P. C. **Erosão e conservação do solo**. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

MORO, L. *et al.* Atributos químicos de solo rizosférico sob vegetação da Caatinga no semiárido brasileiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 1–12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0001>. Acesso em: 07 nov. 2025.

OLDEMAN, L. R. **A extensão global da degradação do solo**. ISRIC, 1994. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/299739>. Acesso em: 03 nov. 2025.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 18 out. 2025.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; BLAIR, R.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R. Custos ambientais e econômicos da erosão do solo e benefícios da conservação. **Science**, v. 267, n. 5201, p. 1117–1123, 1995. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.267.5201.1117>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PIMENTEL, D. Erosão do solo: uma ameaça alimentar e ambiental. **Meio Ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade**, v. 8, n. 1, p. 119–137, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>. Acesso em: 18 out. 2025.

PINHO SILVA, M. O. *et al.* Avaliação de dois tratamentos de adubação em plantio de eucalipto clonal em solo arenoso. **Bioscience Journal**, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13264>. Acesso em: 07 nov. 2025.

PINTO, S. I. C., MARTINS, S. V., BARROS, N. F., DIAS, H. C. T. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na Reserva Florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 653–663, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/WF8dPjmWVcTdZs8bC4PW7hq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

QADIR, M., *et al.* (2014). Economia do manejo da salinidade na agricultura irrigada. **Agricultural Water Management**, v. 145, p. 1–10, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037837741400314X>. Acesso em: 01 nov. 2025.

RAMOS, S. J. ; FAQUIN, V. ; FERREIRA, R. M. A. ; Araújo, J. L. ; CARVALHO, J. G. . Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore** (Impresso), v. 33, p. 57-65, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/ZsW4h5Svy8LyHG6vXKDdntR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 nov. 2025.

Relatório dos ODS da ONU. **Relatório sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Nações Unidas. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2025.

REYNOLDS, J. F., SMITH, D. M. S.; LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; MORTIMORE, M.; BATTERBURY, S. P. J.; DOWNING, T. E.; DOWLATABADI, H.; FERNÁNDEZ, R. J.; HERRIK, J. E.; HUBER-SANNWALD, E.; JIANG, H.; LEEMANS, R.; LYNAM, T.; MAESTRO, F. T.; AYARZA, M.; WALKER, B. Desertificação global: construindo uma

ciência para o desenvolvimento de terras secas. **Science**, v. 316, n. 5826, p. 847–851, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17495163/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SANTOS, C. A. *et al.* Atributos do solo em áreas reflorestadas com eucalipto no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 37, n. 2, p. 248–257, 2024.

SANTOS, M. A. **Reflorestamento e recuperação de áreas degradadas: teoria e prática**. Belém: UFPA, 2015.

SEQUEIRA, C. H. **Disponibilidade de micronutrientes em solos e sua correlação com teores foliares em povoamentos jovens de eucalipto**. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/038af732-e209-49ed-9ff1-8c7807e6a6d0>. Acesso em: 07 nov. 2025.

SCHERR, S. J. *et al.* Impactos da degradação do solo na produção de alimentos e na segurança alimentar. **Food, Agriculture & Environment**, v. 3, n. 1, p. 37–44, 2005.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de SERAPILHEIRA aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 01 - 18, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280578650\\_Metodos\\_para\\_coleta\\_e\\_analise\\_de\\_SERAPILHEIRA\\_aplicados\\_a\\_ciclagem\\_de\\_nutrientes](https://www.researchgate.net/publication/280578650_Metodos_para_coleta_e_analise_de_SERAPILHEIRA_aplicados_a_ciclagem_de_nutrientes). Acesso em: 03 nov. 2025.

SILVA, A. L.; LIMA, C. R.; REIS, D. F. **Capacidade de uso da terra e práticas conservacionistas no Cerrado brasileiro**. Goiânia: UFG, 2020.

SILVA, A. P. *et al.* Degradação do solo e desertificação no semiárido brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/6wmfBRV2v7ykknwN8qgNjHK/>. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA, J. A. *et al.* Degradação do solo no Brasil: um panorama. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 3, p. 227–243, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/SHnvsh3NhY8BJRTCyPgXjvp/>. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA, P. F.; XAVIER, T. F.; SANTOS, J. D. O reflorestamento como prática conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 287–295, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ZRBQGVfPNXd7P7cB7vZRNJp/>. Acesso em: 24 out. 2025.

SILVEIRA, P. R., *et al.* Manejo de pastagens no Brasil: desafios e perspectivas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 901–914, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/seminar/a/q9qLmCnr7hmfydQf7zVNFZz/>. Acesso em: 25 out. 2025.

SWIFT, M. J.; ANDERSON, J. M.; HEAL, O. W. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. Reprint ed. Berkeley, CA: University of California Press, 1979. E-book. Disponível em: <https://search.worldcat.org/pt/title/1425555946>. Acesso em: 03 nov. 2025.

TEAGUE, W.R., *et al.* Impactos do manejo de pastagens na vegetação, biota do solo e propriedades químicas, físicas e hidrológicas do solo em pradarias de gramíneas altas. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, v. 193, p. 62–73, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/SAgriculturaeEcosystemaseMeioAmbiente2013>. Acesso em: 25 out. 2025.

TEIXEIRA, A. P. *et al.* **Efeitos do reflorestamento sobre recursos hídricos e biodiversidade.** Revista *Árvore*, v. 43, p. 101–117, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Brasília: Embrapa Solos, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1087864>. Acesso em: 25 out. 2025.

UNCCD. Global Land Outlook. 2. ed. **Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação**, 2017. Disponível em: <https://sdg.iisd.org/news/inaugural-global-land-outlook-launched-at-unccd-cop/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

VALENTE, M. R. *et al.* Estoques de carbono no solo após o plantio de eucalipto em área degradada. Revista *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/637>. Acesso em: 07 nov. 2025.

VAN-CAMP, L. *et al.* **Erosão e degradação do solo como um desafio de adaptação às mudanças climáticas:** uma perspectiva europeia. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 593–594, p. 128–138, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717316596>. Acesso em: 01 nov. 2025.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 747–758, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300020>. Acesso em: 07 nov. 2025.

VELOSO, C. **Entenda o papel dos micronutrientes no eucalipto e como fazer o manejo.** Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/nutricao-de-plantas/micronutrientes-no-eucalipto/>. Acesso em: 07 nov. 2025.

VERHEIJEN, F. G. A. *et al.* **Diretrizes para descrição do solo.** 4. ed. Roma: FAO, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i0384e/i0384e00.htm>. Acesso em: 25 out. 2025.

VITAL, A. R. T., GUERRINI, I. A., FRANKEN, W. K., FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista *Árvore***, v. 28, n. 6, p. 793–800, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/4cFKKcWnFt5vdXVtw3z5GQQ/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

XAVIER, F. A. S. *et al.* **Manejo e conservação do solo em áreas degradadas.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2017.

YADAV, R.R., *et al.* (2009). Impacto da mudança climática na erosão do solo em regiões semiáridas. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 1, n. 4, p. 363–374, 2009. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17568690910993430/full/html>. Acesso em: 18 out. 2025.

ZHANG, C.; LI, X.; CHEN, Y.; ZHAO, J.; WAN, S.; LIN, Y.; FU, S. Effects of Eucalyptus litter and roots on the establishment of native tree species. *In.*: Eucalyptus plantations in South China. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 375, p. 76–83, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112716302535?via%3Dihub> . Acesso em: 07 nov. 2025.

## ANEXO A - ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO PERFIL 1 (PVA)

| Horiz. | Espessura (cm) | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Areia fina (g.kg <sup>-1</sup> ) | Areia grossa (g.kg <sup>-1</sup> ) | Silte (g.kg <sup>-1</sup> ) | Argila (g.kg <sup>-1</sup> ) | Densidade (g.cm <sup>-3</sup> ) |        | pH <sub>água</sub> |
|--------|----------------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------|--------------------|
|        |                |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              | Partícula                       | Global |                    |
| Ap1    | 0-20           | 88,86     | 4,82      | 6,32       | 78                               | 807,50                             | 83                          | 31,5                         | 2,56                            | 1,95   | 6,16               |
| Ap2    | 20-60          | 79,27     | 4,98      | 15,74      | 78,5                             | 713                                | 125                         | 83                           | 2,67                            | 2,25   | 6,34               |
| Bt     | 60-200         | 88,88     | 3,65      | 7,46       | 80                               | 804                                | 78,9                        | 37,1                         | 2,55                            | 2,24   | 5,69               |

| Horiz. | Complexo sortivo                   |                  |                 |                |      |                                 |                   |         | 100.S | 100.Al <sup>3+</sup> | P dispon.           | C                  | N                  |
|--------|------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|------|---------------------------------|-------------------|---------|-------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|        | Ca <sup>++</sup>                   | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | SB   | H <sup>+</sup> Al <sup>++</sup> | Al <sup>+++</sup> | Valor T | T     | S + Al <sup>3+</sup> |                     |                    |                    |
|        | -----cmol.c.kg <sup>-1</sup> ----- |                  |                 |                |      |                                 |                   |         | V     | m                    | mg.kg <sup>-1</sup> | g.kg <sup>-1</sup> | g.kg <sup>-1</sup> |
| Ap1    | 0,828                              | 0,323            | 0,005           | 0,010          | 1,17 | 0,990                           | 0,1               | 2,69    | 43,49 | 7,87                 | 1,58                | 9,52               | 0,56               |
| Ap2    | 0,506                              | 0,124            | 0,004           | 0,008          | 0,64 | 0,495                           | 0,2               | 1,14    | 56,14 | 23,81                | 0,75                | 2,99               | 0,28               |
| Bt     | 0,367                              | 0,169            | 0,006           | 0,013          | 0,56 | 0,330                           | 0,1               | 0,89    | 62,92 | 15,15                | 0,44                | 4,83               | 0,25               |

Fonte: Maia (2023).

## ANEXO B – ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO PERFIL 2 (RQ)

| Horiz. | Espessura (cm) | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Areia fina (g.kg <sup>-1</sup> ) | Areia grossa (g.kg <sup>-1</sup> ) | Silte (g.kg <sup>-1</sup> ) | Argila (g.kg <sup>-1</sup> ) | Densidade (g.cm <sup>-3</sup> ) |        | pH <sub>água</sub> |
|--------|----------------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------|--------------------|
|        |                |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              | Partícula                       | Global |                    |
| A      | 0-90           | 94,83     | 2,74      | 2,43       | 84                               | 861,51                             | 42,39                       | 12,1                         | 2,58                            | 1,60   | 6,03               |
| C1     | 90-160         | 93,59     | 2,10      | 4,30       | 82                               | 852,50                             | 44                          | 21,5                         | 2,56                            | 2,00   | 6,69               |
| C2     | 160-200+       | 90,77     | 3,69      | 5,53       | 126                              | 779,50                             | 57,40                       | 37,1                         | 2,59                            | 2,27   | 6,42               |

| Horiz. | Complexo sortivo                  |                  |                 |                |      |                                  |                   |         | $\frac{100.S}{T}$ | $\frac{100.Al^{3+}}{S + Al^{3+}}$ | P dispon.           | C    | N    |
|--------|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|------|----------------------------------|-------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------|------|
|        | Ca <sup>++</sup>                  | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | SB   | H <sup>+</sup> Al <sup>+++</sup> | Al <sup>+++</sup> | Valor T | V                 | m                                 |                     |      |      |
|        | -----cmolc.kg <sup>-1</sup> ----- |                  |                 |                |      |                                  |                   |         | %                 | %                                 | mg.kg <sup>-1</sup> |      |      |
| A      | 1,77                              | 0,29             | 0,003           | 0,007          | 2,07 | 1,65                             | 0,1               | 3,72    | 55,64             | 4,61                              | 3,93                | 3,48 | 0,62 |
| C1     | 0,37                              | 0,12             | 0,004           | 0,008          | 0,50 | 0,165                            | 0,1               | 0,67    | 74,63             | 16,66                             | 0,59                | 1,93 | 0,28 |
| C2     | 0,38                              | 0,08             | 0,004           | 0,008          | 0,47 | 0,660                            | 0,1               | 1,13    | 41,59             | 17,54                             | 0,66                | 1,87 | 0,23 |

Fonte: Maia (2023).

**ANEXO C – DESCRIÇÃO GERAL E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO PERFIL 1**

*Data:* 03/09/2022

*Localização:* Acaraú-CE.

*Situação:* Planície

*Classificação:* Argissolo Vermelho-Amarelo

*Geologia:* Sedimento.

*Material de Origem:* Sedimento do Grupo Barreira.

*Uso atual:* Plantio de eucalipto

*Clima:* Tropical Quente Semiárido Brando.

*Relevo:* Plano a suave ondulado.

*Drenagem:* bem drenado

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Não rochosa.

*Erosão:* Laminar ligeira.

*Descrito e coletado por* – Rodrigo de Oliveira Girão e Ana Maria Maia

Ap1 0-20 cm; Bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido) Areia franca; fraca, pequena, granular; macia, muito friável, não plástica, não pegajosa; raízes médias e comuns; transição plana e clara.

Ap2 20-60 cm; Bruno amarelado (10YR 5/4, úmido) Areia franca; fraca, pequena, blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica, não pegajosa; raízes finas, médias e poucas; transição plana e clara.

Bt 60-200 cm+; Bruno amarelado (10YR 6/6, úmido) Franco arenoso; fraca, pequena, granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; raízes finas, médias e poucas; transição plana e clara.

Obs.: Presença de plintita na profundidade 200cm+, vermelho (2YR 4/8, úmido), raras, proeminentes.

## ANEXO D – DESCRIÇÃO GERAL E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO PERFIL 2

*Data:* 03/09/2022

*Localização:* Acaraú-CE.

*Situação:* Depressão

*Classificação:* Neossolo quartzarênico

*Geologia:* Sedimento.

*Material de Origem:* Sedimento do Grupo Barreira.

*Uso atual:* Área degradada

*Clima:* Tropical Quente Semiárido Brando.

*Relevo:* Plano a suave ondulado.

*Drenagem:* moderadamente drenado

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Não rochosa.

*Erosão:* Laminar ligeira.

*Descrito e coletado por* – Rodrigo de Oliveira Girão e Ana Maria Maia

A 0-90 cm; Cinza-brunado-claro (2,5YR 6/2, seco) Areia; fraca, pequena, grão simples; solta, não plástica, não pegajosa; raízes muito finas e comuns; transição plana e clara.

C1 90-160 cm; Amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 7/3, úmido) Areia; fraca, pequena, grão simples; macia, muito friável, não plástica, não pegajosa; raízes finas e poucas; transição plana e gradual.

C2 160 -200 cm+; Amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 8/2, úmido) Areia; fraca, pequena, bloco subangulares (tendência); macia, muito friável a friável, não plástica, não pegajosa; raízes finas e poucas.

Obs.: Presença de franja capilar, mosqueado (5YR 6/8, úmido), comum, moderado.

**ANEXO E – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E TEXTURA DO SOLO POR PROFUNDIDADE E SISTEMA DE USO**

| TRAT                       | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Areia fina (g.kg <sup>-1</sup> ) | Areia grossa (g.kg <sup>-1</sup> ) | Silte (g.kg <sup>-1</sup> ) | Argila (g.kg <sup>-1</sup> ) | Dp (g.cm <sup>-3</sup> ) | Textura        |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------|
| Profundidade 0 – 0,05 m    |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              |                          |                |
| E                          | 92,5      | 6,3       | 1,2        | 131,5                            | 631,0                              | 231,4                       | 6,0                          | 2,69                     | Arenoso        |
| MN                         | 92,3      | 7,4       | 0,3        | 137,3                            | 616,7                              | 239,6                       | 6,2                          | 2,67                     | Arenoso        |
| AD                         | 93,5      | 5,5       | 1,0        | 132,0                            | 629,7                              | 230,9                       | 7,3                          | 2,73                     | Arenoso        |
| Profundidade 0,05 – 0,10 m |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              |                          |                |
| E                          | 91,2      | 6,9       | 1,8        | 108,1                            | 650,0                              | 232,5                       | 9,3                          | 2,69                     | Arenoso        |
| MN                         | 94,1      | 5,6       | 0,3        | 161,8                            | 587,7                              | 244,2                       | 6,1                          | 2,71                     | Arenoso        |
| AD                         | 93,5      | 6,0       | 0,5        | 125,4                            | 638,6                              | 231,8                       | 4,8                          | 2,65                     | Arenoso        |
| Profundidade 0,10 – 0,30 m |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              |                          |                |
| E                          | 93,4      | 3,7       | 2,9        | 108,5                            | 666,1                              | 210,0                       | 15,3                         | 2,76                     | Arenoso        |
| MN                         | 94,1      | 5,1       | 0,8        | 116,6                            | 670,1                              | 204,8                       | 8,4                          | 2,69                     | Arenoso        |
| AD                         | 93,8      | 5,1       | 1,1        | 121,6                            | 658,6                              | 212,4                       | 7,2                          | 2,71                     | Arenoso        |
| Profundidade 0,30 – 0,50 m |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              |                          |                |
| E                          | 90,5      | 5,2       | 4,2        | 107,5                            | 646,0                              | 224,1                       | 22,3                         | 2,71                     | Franco-arenoso |
| MN                         | 93,6      | 5,1       | 1,3        | 134,6                            | 632,1                              | 222,3                       | 10,9                         | 2,68                     | Arenoso        |
| AD                         | 93,6      | 4,0       | 2,4        | 148,8                            | 603,1                              | 233,7                       | 14,2                         | 2,67                     | Arenoso        |
| Profundidade 0,50 – 0,70 m |           |           |            |                                  |                                    |                             |                              |                          |                |
| E                          | 89,2      | 5,7       | 5,0        | 124,7                            | 606,0                              | 242,5                       | 26,7                         | 2,74                     | Franco-arenoso |
| MN                         | 93,4      | 5,6       | 1,0        | 134,1                            | 630,0                              | 226,4                       | 9,4                          | 2,69                     | Arenoso        |
| AD                         | 93,6      | 4,5       | 1,9        | 139,8                            | 624,1                              | 224,2                       | 11,8                         | 2,70                     | Arenoso        |

Fonte: Maia (2023).