UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

Yumi Okumura Moliné

Respostas limnológicas ao arrasto horizontal terra-água: um estudo de caso na Mata Atlântica

Juiz de Fora
2025

Yumi Okumura Moliné

Respostas limnológicas ao arrasto horizontal terra-água: um estudo de caso na Mata Atlântica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza. Área de concentração: Processos Ecológicos e Conservação da Natureza.

Orientador: Fábio Roland

Coorientador: André Megali Amado

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O. Moliné, Yumi.
Respostas limnológicas ao arrasto horizontal terra-água : Um estudo de caso na Mata Atlântica / Yumi O. Moliné. -- 2025.
81 p.

Orientador: Fabio Roland
Coorientador: André Megali Amado
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, 2025.

1. Escoamento Superficial. 2. Mudanças Climáticas. 3. Restauração Ecológica. 4. Uso do solo. 5. Serviços Ecossistêmicos. I. Roland, Fabio, orient. II. Megali Amado, André, coorient. III. Título.

Yumi Okumura Moliné

Respostas limnológicas ao arrasto horizontal terra-água: um estudo de caso na Mata Atlântica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza. Área de concentração: Processos Ecológicos e Conservação da Natureza.

Aprovada em 30 de janeiro de 2025

BANCA EXAMINADORA

_____

Professor Doutor Fabio Roland - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

_____

Professor Doutor André Megali Amado - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

_____

Professora Doutora Simone Jaqueline Cardoso
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

_____

Professor Doutor Marcos Gervásio Pereira
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Dedico este trabalho à memória de minha amada avó, Regina Augusta Freire Moliné, a dona do melhor abraço, minha maior saudade e eterna admiradora. Uma verdadeira cientista além de seu tempo. Sua presença deixou marcas indeléveis em minha trajetória (*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Orientador Fabio Roland e Coorientador André Amado por todo o apoio, ensinamentos, ajuda e paciência ao longo do trabalho.

Agradeço aos meus pais por sempre acreditarem no meu potencial, pela dedicação ímpar e por nunca terem poupado esforços para que eu alcançasse meus sonhos e objetivos.

Agradeço ao meu companheiro Augusto e à minha filha Giovanna pelo amor e por me apoiarem para que essa etapa da minha trajetória acadêmica e profissional fosse concluída.

Meus sinceros agradecimentos a todos os integrantes do Laboratório de Ecologia Aquática da UFJF, do Laboratório de Ecologia Vegetal da UFJF, do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo da UFRRJ e do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental. Em especial a Layla Mayer, Hanna Turetti, Lais Soranço, Ive Muzitano, Patrícia Nunes, Thiago Lobão, Antonino Neto, Hugo Fagundes, Lisandra, Maria Clara Baldow, Daniel Merhy e Daniel.

Agradeço aos funcionários da PROINFRA (Igor, Salomão, Alaison, Rodinei, Ruivo, Baixinho e Favela) e aos colegas que participaram ativamente nas campanhas de coleta. Vocês foram essenciais para a instalação e a execução do projeto.

Agradeço à parceria e aos ensinamentos provenientes da Capitã Vanessa, do Corpo de Bombeiros (3º COB JF), e ao CIPARD.

Obrigada aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, pela formação acadêmica, profissional e pessoal durante o período do curso.

Agradeço a todos que, de alguma forma, torceram por mim e vibraram com as minhas conquistas e me mantiveram em pé nos desafios.

Por fim, gostaria também de agradecer às instituições de fomento FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e incentivo à formação científica.

“El gran libro, siempre abierto y que tenemos que hacer un esfuerzo para leer, es el de la Naturaleza, y los otros libros se toman a partir de él, y en ellos se encuentran los errores y malas interpretaciones de los hombres”- Antonio Gaudí.

RESUMO

Mudanças no uso da terra, eventos extremos e mudanças climáticas impactaram significativamente os ecossistemas e o bem-estar humano. As florestas tropicais, cruciais para a regulação do clima e o armazenamento de carbono, enfrentam desafios críticos, incluindo mudanças nos regimes hidrológicos e perda de biodiversidade. Mudanças no uso da terra podem afetar significativamente o transporte de nutrientes e sedimentos, influenciando consequentemente a qualidade da água e a funcionalidade dos ecossistemas aquáticos. Este estudo investigou as respostas limnológicas ao arrasto horizontal solo-água, comparando os tipos de uso da terra – pastagem abandonada, fragmentos florestais e restauração florestal em estágio inicial – em relação à sua influência nos fluxos de sedimentos, água e nutrientes. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Niassa-UFJF, no bioma Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. As análises limnológicas incluíram a quantificação de material particulado, carbono orgânico total e respiração bacteriana como indicadores de atividade biológica. Além disso, o estudo envolveu avaliações do perfil do solo e a medição de vários parâmetros físicos e químicos da água, incluindo pH, oxigênio dissolvido e turbidez. Os resultados revelaram que os locais de restauração ativa apresentaram altos volumes de escoamento superficial e níveis elevados de material particulado, principalmente devido às práticas de manejo em andamento. Esses valores foram significativamente superior aos observados em áreas de pastagem e fragmentos florestais. Em contraste, os fragmentos florestais apresentaram os menores valores de escoamento superficial e material particulado, indicando melhor retenção de água e estabilidade do solo. Os fragmentos florestais e as áreas de restauração apresentaram maiores concentrações de carbono orgânico total, enquanto os locais de pastagem exibiram os menores níveis. Isso reflete o papel das florestas e dos esforços de restauração na sustentação dos ciclos biogeoquímicos e das funções ecossistêmicas. Embora a restauração ativa ofereça benefícios ecológicos a longo prazo, seus estágios iniciais podem resultar em efeitos adversos, como aumento da erosão e do transporte de sedimentos. O estudo destaca a forte influência de eventos climáticos extremos nos fluxos de material particulado e no escoamento superficial, enfatizando a necessidade de estratégias que aumentem a resiliência dos ecossistemas. A preservação dos fragmentos florestais existentes e a implementação de práticas de restauração mais eficazes podem ajudar a mitigar esses impactos e fortalecer a resiliência dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Além disso, os dados gerados por este estudo fornecem insights valiosos para a gestão sustentável de bacias hidrográficas, particularmente no contexto das mudanças climáticas e da crescente pressão humana sobre os recursos naturais.

Palavras-Chave: Uso do solo, Mudanças Climáticas, Restauração, Serviços ecossistêmicos, Escoamento Superficial

ABSTRACT

Land use changes, extreme events, and climate change have significantly impacted ecosystems and human well-being. Tropical forests, crucial for climate regulation and carbon storage, face critical challenges, including shifts in hydrological regimes and biodiversity loss. Changes in land use can significantly affect the transport of nutrients and sediments, consequently influencing water quality and the functionality of aquatic ecosystems. This study investigated the limnological responses to horizontal soil-water drag by comparing land use types—abandoned pasture, forest fragments, and early-stage forest restoration—concerning their influence on sediment, water, and nutrient fluxes. The research was conducted at the Niassa-UFJF Experimental Farm in the Atlantic Forest biome of Minas Gerais, Brazil. The limnological analyses included quantifying particulate matter, total organic carbon, and bacterial respiration as indicators of biological activity. Additionally, the study involved soil profile assessments and measuring various physical and chemical water parameters, including pH, dissolved oxygen, and turbidity. The results revealed that active restoration sites had high volumes of surface runoff and elevated levels of particulate matter, primarily due to ongoing management practices. These values were significantly higher than those observed in pasture areas and forest fragments. In contrast, forest fragments showed the lowest values for surface runoff and particulate matter, indicating better water retention and soil stability. The forest fragments and restoration areas had higher concentrations of total organic carbon, while the pasture sites exhibited the lowest levels. This reflects the role of forests and restoration efforts in sustaining biogeochemical cycles and ecosystem functions. Although active restoration offers long-term ecological benefits, its initial stages can result in adverse effects such as increased erosion and sediment transport. The study highlights the strong influence of extreme weather events on particulate matter fluxes and surface runoff, emphasizing the need for strategies that enhance ecosystem resilience. Preserving existing forest fragments and implementing more effective restoration practices can help mitigate these impacts and strengthen the resilience of both aquatic and terrestrial ecosystems. Furthermore, the data generated from this study provide valuable insights for sustainable watershed management, particularly in the context of climate change and increasing human pressures on natural resources.

Keywords: Land Use Land Cover (LULC), Climate Change, Restoration, Ecosystem Services, Surface Runoff

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração do efeito "splash" na erosão do solo em áreas de encosta, causado pelo impacto das gotas de chuva, demonstrando o transporte de partículas de solo e formação de sulcos. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2024)..... 23
Figura 2 - Representação esquemática dos processos de escoamento superficial e infiltração de água em três distintos tipos de uso e cobertura do solo - floresta, pastagem e reflorestamento - evidencia a influência das raízes na dinâmica hidrológica. A ilustração ressalta o papel fundamental da vegetação na mitigação da erosão hídrica e na promoção da infiltração de água no solo, variando de acordo com o tipo de cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2024)..... 24
Figura 3 - A área de estudo, delimitada pelo limite NIASSA (linha vermelha), inclui três categorias de áreas de plantio: área de plantio A (representada em verde), área de plantio B (em amarelo) e área de plantio C (em roxo). A imagem também destaca o Rio Paraibuna e a Represa Chapéu d'Uvas. O mapa foi elaborado utilizando base cartográfica georreferenciada no Datum UTM Zone 22S 27
Figura 5 - Sistema de coleta de escoamento superficial: o esquema ilustrativo no topo representa as calhas coletoras instaladas em parcelas experimentais com dimensões de 1 m de largura por 3 m de comprimento. O escoamento é direcionado para um caixa de água de 250 litros..... 29
Figura 6 - Conjunto de imagens representando os sistemas experimentais instalados para coleta de escoamento superficial em diferentes tipos de uso do solo na área de estudo. A: área de pastagem; B: fragmento florestal; C: Restauração. As estruturas incluem calhas coletoras de escoamento superficial e reservatórios de 250 litros para armazenamento da água coletada. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 30
Figura 7 - Registro das parcelas experimentais em campo, incluindo as estruturas de contenção e as calhas instaladas em áreas preparadas com diferentes usos do solo do solo. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 30
Figura 9 - Estação meteorológica HOBO-U-30 instalada nas proximidades da sede da Fazenda Experimental Niassa-UFJF (21°35'3"S, 43°33'25"O; 156°SE). Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 32
Figura 10 - Procedimentos de coleta de amostras de água realizadas em campo. (A) Registro dos dados ambientais utilizando uma sonda multiparâmetros (modelo U50 -

Horiba); (B) Ilustra a medição da altura da lâmina de água para o cálculo do volume total armazenado em cada caixa; e (C) Coleta das variáveis ambientais - temperatura, pressão, oxigênio dissolvido, condutividade, salinidade, pH e turbidez. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 33
Figura 11 - A e B :Procedimento de filtração com filtros de fibra de vidro com porosidade de 0,7 µm (Whatman GF/F). C: A imagem demonstra a diferença na quantidade de material particulado retido nos filtros, associada aos diferentes usos do solo. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 33
Figura 12 - Esquema representativo do experimento de incubação para quantificação da taxa de produção de gases (CO_2) em amostras de escoamento superficial em diferentes usos do solo do solo. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025) 35
Figura 13 – Esquema do processo de análise de CO_2 no equipamento UGGA (Los Gatos Research). Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025)..... 36
Figura 14 - Representação esquemática de uma **toposequência**, destacando os pontos de amostragem distribuídos em diferentes posições do relevo: **alto**, **meio** e **base.** Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025)..... 37
Figura 15 - Fotos representativas da coleta de dados para classificação de perfis de solo em uma área localizada a 1,5 km após a sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 38
Figura 16 - O mapa apresenta a localização da Fazenda Experimental da UFJF-Niassa, incluindo as parcelas de erosão e perfis de solo. Também estão representadas as nascentes, drenagem, curvas de nível (intervalo de 2 m) e categorias de declividade classificadas como: montanhoso (>45%), forte ondulado (20–45%), ondulado (12–20%), suave ondulado (5–12%) e plano (0–5%). O mapa foi produzido utilizando imagens do Google Satélite (2023) e está projetado no sistema UTM, Zona 23S. Autor: Thiago Lobão. 38
Figura 17 - Perfis de solo representando a toposequência em áreas de transição entre pasto e Restauração. Os perfis ilustram as características morfológicas e texturais dos solos em três posições distintas (Perfil 1 - alto, Perfil 2 - médio e Perfil 3 - baixo), evidenciando diferenças nos horizontes diagnósticos e sua relação com o uso do soloe cobertura vegetal na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG 43
Figura 18 - Perfis de solo representando a toposequência em Fragmento Florestal, com variações atitudinais e geomorfológicas. Os perfis ilustram as características morfológicas e texturais dos solos em três posições distintas (Perfil 1 - alto, Perfil 2 -

médio e Perfil 3 - baixo), evidenciando diferenças nos horizontes diagnósticos e sua relação com o uso do solo e cobertura vegetal na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 46
Figura 19 - Gráfico de barras representa o acumulado de chuva mensal (mm) entres novembro de 2023 a agosto de 2024.Dados foram obtidos da estação meteorológica instalada na Fazenda Experimental da UFJF-Niassa. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 47
Figura 20 - Gráfico de barras representando a total de chuva acumulada (mm) somados nos intervalos entre as campanhas de coleta. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 47
Figura 21 - Média do volume de água coletado por caixa (em litros) para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)... 49
Figura 22 – O Gráfico de boxplot apresenta o volume da água de escoamento superficial armazenada nas caixas de água em litros nos diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 49
Figura 23 – Boxplot das concentrações de dióxido de carbono (CO_2 nmol) nos diferentes tratamentos amostrais por dia de incubação. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 51
Figura 24 – Boxplot das taxas de produção de dióxido de carbono (CO_2 nmol) nos diferentes tratamentos amostrais por dia de incubação. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 51
Figura 25 - Distribuição do escoamento superficial entre os tratamentos amostrais. O gráfico apresenta a variabilidade do escoamento em Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O Restauração 1 apresenta maior variabilidade, enquanto a Floresta exibe menor amplitude e valores reduzidos de escoamento superficial. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 52
Figura 26 - Média do Material Particulado Total encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)... 54
Figura 27 - Boxplot do material particulado total entre os tratamentos amostrais. Os tratamentos avaliados incluem Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. A Floresta e o Pasto apresentam os menores valores de material particulado total, indicando menor transporte de sedimentos. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 54

Figura 28 - Média do Carbono Orgânico Total (COT) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)... 56
Figura 29 - Concentração de carbono orgânico total (COT) entre os diferentes tratamentos amostrais (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3)**.** Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 56
Figura 30 - Média do Carbono Orgânico Particulado (COP) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)... 58
Figura 31 - Distribuição das concentrações de COP nos tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O Restauração 1 apresenta a maior variabilidade nas concentrações, enquanto o Pasto exibe valores médios mais baixos e menor amplitude. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 58
Figura 32 - Média do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)... 60
Figura 33 - Concentração de carbono orgânico dissolvido (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 61
Figura 34 - Média do TN encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 64
Figura 35 - Concentração de TN (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 64
Figura 36 - Média TP encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. Fonte: Elaborado pelo autor (2024)..... 65
Figura 37 - Concentração TP (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. Fonte: Elaborado pelo autor (2024). 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - características topográficas dos tratamentos em diferentes áreas da bacia de estudo. São descritas a elevação média (em metros), a declividade média (em porcentagem) e a classificação do relevo segundo a Embrapa. Todos os tratamentos estão classificados como "Forte Ondulado", com elevações variando de 768 m (Restauração 3 - base) a 789 m (Floresta), e declividades entre 22,627% (Pasto) e 38,626% (Restauração 1 - alto). 30

Tabela 2 - características geomorfológicas dos perfis de solo coletados em diferentes posições ao longo de duas toposequências: Restauração-Pasto e Floresta..... 40

Tabela 3 - Detalhamento do perfil de solo coletado em 04/09/2023, na área de transição da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, localizada a 1,2 km da sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), no município de Ewbank da Câmara – MG. Inclui informações sobre classificação, localização geográfica, características geomorfológicas e morfológicas, além de dados sobre uso atual e contexto geológico. Este trabalho foi realizado em parceria entre a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por meio do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. Descrição realizada por Antonino José Jacques Gambôa Fernandez de Oliveira Netto e Hugo de Souza Fagundes. 41

Tabela 4 - Detalhamento do perfil de solo coletado em 05/09/2023, na área de transição da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, localizada a 1,5 km depois da sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), a margem esquerda da Bacia de contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG. Inclui informações sobre classificação, localização geográfica, características geomorfológicas e morfológicas, além de dados sobre uso atual e contexto geológico. Este trabalho foi realizado em parceria entre a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por meio do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. Descrição realizada por Antonino José Jacques Gambôa Fernandez de Oliveira Netto e Hugo de Souza Fagundes. 44

Tabela 5 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 23,1478, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001 (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de $p < 0.05$. 48

Tabela 6 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 48
Tabela 7 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades. 48
Tabela 8 - A tabela apresenta os resultados do escoamento superficial. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os grupos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 23,1478, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001 (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05. 52
Tabela 9 - A tabela apresenta os resultados do escoamento superficial das comparações não paramétricas entre pares de grupos Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3, utilizando o método de Wilcoxon. 53
Tabela 10 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados do escoamento superficial. 53
Tabela 11 - A tabela apresenta os resultados de MPT. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 51.5309, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 54
Tabela 12 - A tabela apresenta os resultados de MPT das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 55
Tabela 13 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados de MPT. 55
Tabela 14 - A tabela apresenta os resultados de COT. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 57
Tabela 15 - A tabela apresenta os resultados de COT das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 57
Tabela 16 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados de COT. 57

Tabela 17 - A tabela apresenta os resultados de COP. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 59
Tabela 18 - A tabela apresenta os resultados de COP das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 59
Tabela 19 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades nos resultados de COP. 59
Tabela 20 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 15.0130, com 4 graus de liberdade (DF), p = <0.00047* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 61
Tabela 21 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 61
Tabela 22 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades. 62
Tabela 23 - A tabela apresenta os resultados de TN. Os testes estatísticos de Kruskal-Wallis comparou os grupos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 62
Tabela 24 - A tabela apresenta os resultados de TN das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 63
Tabela 25 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resulrados de TN. 63
Tabela 26 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05 66
Tabela 27 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon. 66

Tabela 28 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades. 66

Sigla/Abreviatura	Significado
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COP	Carbono Orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
g	Grama
g/L	Grama por Litro
g/mm	Grama por Milímetro
L	Litro
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama por Litro
mg/mm	Miligrama por Milímetro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
TC	Carbono Total
TN	Nitrogênio Total
TP	Fósforo Total
U	Uso do solo

SUMÁRIO

1. Introdução 20
2. Objetivos 25
2.1. Objetivo Geral 25
2.2. Objetivos Específicos 26
3. Materiais e métodos 26
3.1. Área de Estudo 26
3.2. Parcelas experimentais de escoamento superficial 28
3.3. Frequência de coleta 31
3.4. Características limnológicas 32
3.4.1. Coleta de água e filtragem 32
3.4.2. Nutrientes - Carbono, Nitrogênio, Fósforo (C, N, P) 33
3.4.3. Respiração bacteriana 35
3.5. Análise e classificação de perfis de solos 36
3.5.1. Coleta perfis de solo 36
3.6. Análise de dados 38
4. Resultados 40
4.1. Classificação do solo 40
4.2. Precipitação 47
4.3. Volume de água 47
4.4. Taxa de respiração bacteriana 49
4.5. Material Particulado 51
4.5.1. Estimativa de Escoamento superficial 51
4.5.2. Material Particulado Total 53
4.6. Nutrientes 55
4.6.1. Carbono orgânico Total (COT) 55
4.6.2. Carbono Orgânico Particulado (COP) 57
4.6.3. Carbono Orgânico Dissolvido (COD) 59
4.6.4. Nitrogênio total (TN) 62
4.6.5. Fósforo Total (TP) 64
5. Discussão 67
6. Conclusão 72
7. Considerações Finais 72
8. Referências Bibliográficas 73

1. Introdução

O mundo contemporâneo enfrenta um intenso debate sobre os aspectos e impactos da era do Antropoceno. Previsões relacionadas ao aumento da temperatura global e à frequência de eventos extremos, como mudanças na intensidade e na distribuição das precipitações, vêm se confirmando (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2023b). Ademais, ao longo das últimas décadas, processos como a urbanização, a agricultura intensiva, as mudanças climáticas e a crescente demanda por desenvolvimento socioeconômico têm reduzido de maneira expressiva os recursos de água doce em todo o mundo, tornando-nos cada vez mais vulneráveis ao estresse hídrico (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2023a). Desta forma, é evidente que a humanidade já deixou expressivas impressões na atmosfera, assim como no uso e na disponibilidade de recursos naturais.

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas (AR6-WGI) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, espera-se um aumento de aproximadamente 1,5 °C na temperatura média global até o ano de 2030. Essa elevação na temperatura tem potencial de provocar mudanças nos regimes hidrológicos em escalas locais e globais. Diante desse cenário de mudanças climáticas, e o aumento de eventos extremos, como secas prolongadas e inundações, deverá acarretar alterações adicionais na segurança hídrica e alimentar, afetando a qualidade de vida de comunidades ao redor do mundo (FISCH; SANTOS; SILVA, 2017; GOMES et al., 2021).

Nesse contexto, é notório que entidades ambientais, científicas e sociais alertem sobre o consumo acima do limite que a solo é capaz de suprir a longo prazo para seus habitantes (KRENAK, 2019; FUNDAJ, 2021; WWF, 2022). Caracterizando e definindo o ciclo de superexploração dos recursos naturais.

Quando ecossistemas são submetidos a pressões antropogênicas e/ou a eventos climáticos extremos que, por sua vez, ultrapassam determinados limiares do sistema, torna-se progressivamente mais desafiador retornar ao estado anterior (SCHEFFER et al., 2001). Em outras palavras, os ecossistemas podem experimentar mudanças abruptas entre diferentes configurações de equilíbrio em decorrência de perturbações intensas ou prolongadas (SCHEFFER et al., 2001, 2009).

Embora haja inferências de que a o meio responda a essas flutuações e mudanças graduais de maneira contínua e equilibrada (SCHEFFER et al., 2001), evidências apontam que alterações graduais podem culminar em colapsos abruptos, fragilizando

serviços ecossistêmicos de provisão essenciais (FOLKE et al., 2004). Essas transformações frequentemente advêm de variáveis e parâmetros sujeitos a alterações graduais, como o clima, fluxo de nutrientes, degradação espacial dos habitats - fragmentação - ou (super)exploração de recursos bióticos.

A restauração de um estado desejado - caracterizado por um ecossistema funcional e regenerado - geralmente requer intervenções drásticas e de alto custo (MÄLER, 2000). No entanto, a olhar tende a concentrar-se em eventos desencadeadores, enquanto a perda gradual de resiliência que mantem o sistema é frequentemente subestimada (SCHEFFER et al., 2001). Essa negligência, agravada pela inércia sistêmica e pela invisibilidade da perda gradual de resiliência, pode levar a ao declínio substancial de recursos ecológicos e econômicos, além de elevados custos sociais (SCHEFFER et al., 2001, 2009).

Incêndios florestais intensificados por pelas mudanças climáticas e o desmatamento constituem fatores intrínsecos que comprometem funcionalidade ecossistêmica das florestas tropicais (JONES et al., 2024; PAUSAS; KEELEY, 2021; VANCUTSEM et al., 2021).

Atualmente, as paisagens tropicais caracterizam-se como um mosaico de usos do solo entre ocupações não florestais, florestas secundárias em processo de regeneração e florestas primárias degradadas de maneira variável (MALHI et al., 2014). Essas transformações, por sua vez, comprometem e ameaçam a provisão de serviços ecossistêmicos e a biodiversidade (GOMES et al., 2021; SETO; GÜNERALP; HUTYRA, 2012).

As florestas tropicais abrigam dois terços de toda a biodiversidade terrestre (BARLOW et al., 2018) e são responsáveis por armazenar cerca de metade do carbono terrestre (BACCINI et al., 2012; ERB et al., 2018). Não obstante sua importância e relevância global, as florestas tropicais vêm sendo gravemente impactadas por atividades humanas (FRANÇA et al., 2020).

A Mata Atlântica é um dos 35 *hotspots* remanescentes mais megabiodiversos e ameaçados do mundo e de extrema relevância para conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000). O bioma Mata Atlântica abriga cerca de 60% da população brasileira e é responsável por quase dois terços da economia industrial do país (JOLY; METZGER; TABARELLI, 2014; MARTINELLI; MORAES, 2013; SCARANO; CEOTTO, 2015). Contudo, a crescente e acelerada dinâmica de supressão desse bioma resultou em severas modificações em seus serviços ecossistêmicos (HIROTA; OTHERS,

2003; TABARELLI; PINTO; COSTA, 2003). É estimado que entre 11% e 16% do bioma original da Mata Atlântica ainda permanece preservado (REZENDE et al., 2015).

A troca da vegetação natural por áreas urbanas, agrícolas ou de pastagem intensifica a transferência de materiais nas bacias hidrográficas, incluindo matéria orgânica, como fonte de carbono, a mobilização de outros nutrientes e materiais particulados, em comparação com bacias em condições menos alteradas (ARBUCKLE; DOWNING, 2001). As alterações no uso do solo o com o objetivo de atender às demandas humanas nas bacias hidrográficas podem refletir em impactos substanciais na qualidade dos ecossistemas aquáticos (HUANG et al., 2013; KNOLL; VANNI; RENWICK, 2003; TURNER; MEYER; SKOLE, 1994, p. 2003; WINKLER et al., 2021) e provocam alterações intensas nos ciclos biogeoquímicos ambientais (GRIMM et al., 2000).

Entre os anos de 1960 e 2019, o uso do solo impactou aproximadamente 32% das áreas terrestres globais (WINKLER et al., 2021). As regiões tropicais com grandes variações no uso do solo, em sua maioria relacionadas a expansão agrícola, apresentam altas taxas de desmatamento (FARIAS et al., 2024; SONG et al., 2018). Em 2021, as regiões tropicais perderam cerca de 11,1 milhões de hectares de cobertura arbórea (GOLDMAN; WEISSE, 2022). Essas mudanças foram amplamente impulsionadas pelo crescimento demográfico e socioeconômico (GASHAW et al., 2018). Entre as causas predominantes dessas alterações, ressalta-se os modelos de produção agrícola intensiva adotados, que exerceram uma pressão significativa ao decorrer do último século (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011).

A água é fonte de vida. Todavia, em decorrência do alarmante cenário atual de degradação e desequilíbrio dos ecossistemas, em alguns casos, a água pode ser considerada um dos principais e mais importantes agentes causadores de processos erosivos (GUERRA et al., 2014; GUERRA; BOTELHO, 2012), tanto na esfera que tange a origem desses processos, como em seus desdobramentos e consequências deletérias para os ecossistemas em sua interdependência.

Quando o volume de precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo o escoamento superficial se inicia, iniciando transporte e arraste de massas e, consequentemente, processos erosivos (FULLEN; CATT, 2004). O regime das águas e a intensidade do escoamento superficial ocorrem em função do conjunto de fatores e condições naturais (características topográficas, físicas e químicas do solo) somadas ao histórico de manejo e do uso do solo (FULLEN; CATT, 2004; GOUDIE; BOARDMAN, 2010; GUERRA; BOTELHO, 2012).

O efeito de salpicamento, comumente conhecido como efeito *splash* (**Figura 1**), ocorre pelo ao impacto das gotas de chuva no solo exposto. Este impacto promove a desagregação das partículas e o rompimento dos agregados do solo, que por sua vez potencializam as etapas subsequentes da erosão (ROCHA et al., 2020). A intensidade da desagregação do solo está relacionada diretamente ao impacto da energia cinética das gotas, em combinação com as propriedades específicas de cada solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

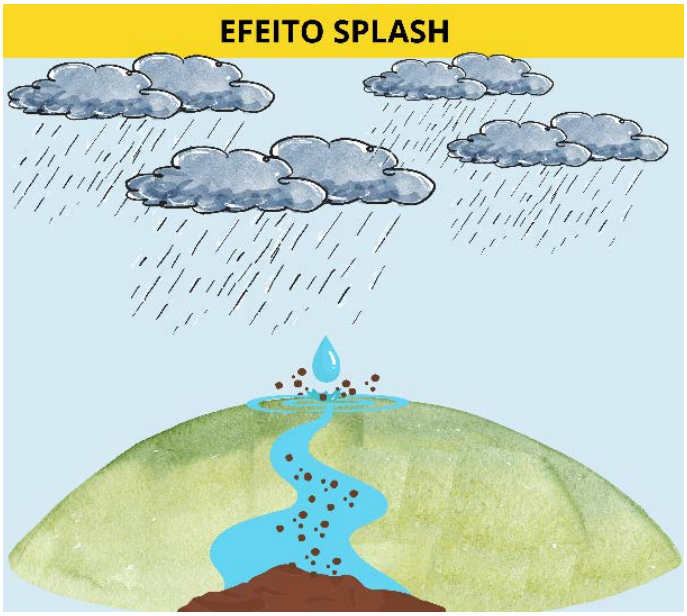


Figura 1 - Ilustração do efeito "splash" na erosão do solo em áreas de encosta, causado pelo impacto das gotas de chuva, demonstrando o transporte de partículas de solo e formação de sulcos. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2024).

Solos cobertos por vegetação são menos suscetíveis a esse efeito (**Figura 2**), uma vez que a cobertura vegetal intercepta as gotas de chuva, reduz a energia cinética do impacto e, consequentemente, a desagregação das partículas do solo. Ao diminuir a velocidade do escoamento superficial, aumenta-se a infiltração e a retenção da umidade do solo, o que contribui para a agregação da matéria orgânica no ambiente edáfico (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; DIAS JUNIOR, 2000)

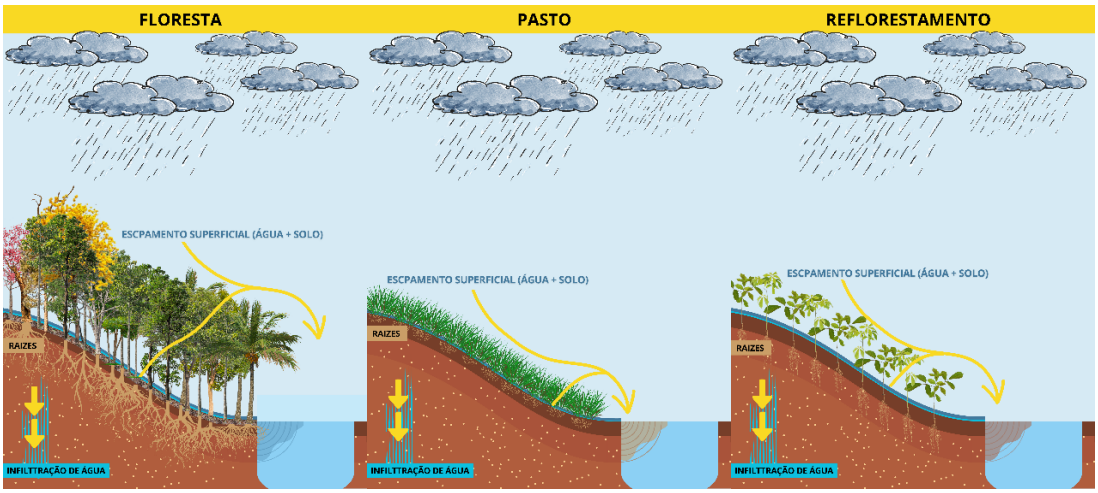


Figura 2 - Representação esquemática dos processos de escoamento superficial e infiltração de água em três distintos tipos de uso e cobertura do solo - floresta, pastagem e reflorestamento - evidencia a influência das raízes na dinâmica hidrológica. A ilustração ressalta o papel fundamental da vegetação na mitigação da erosão hídrica e na promoção da infiltração de água no solo, variando de acordo com o tipo de cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2024).

Embora os processos de erosão sejam um fenômenos naturais influenciados por agentes distintos perante a gênese dos solos, os movimentos de massas oferecem uma importante perspectiva para entender respostas da natureza em relação às perturbações antrópicas decorrentes à gestão inadequada do uso do solo (NUNES; ALMEIDA; COELHO, 2011). Esses processos erosivos levam à degradação do solo, que por sua vez tem sua fertilidade e produtividade comprometida. Além de intensificar a transferência de nutrientes, sedimentos e poluentes para os corpos hídricos.

Essas variações nos processos hidrológicos contribuem para a alteração da morfologia dos canais fluviais, por meio de processos de erosão e deposição de solo em suas respectivas extensões (CHUENCHUM et al.,2020; MAAß et al., 2021). Como consequência, o assoreamento, caracterizado pelo acúmulo de material particulado, compromete e reduz de forma significativa a vida útil dos reservatórios de água (VAN OOST et al., 1999). Dessa forma, as abrangentes mudanças no UCT, impactam os sistemas hidrológicos das bacias hidrográficas por meio da modificação nos processos de precipitação, escoamento superficial entre outros (BRIDGEWATER et. al., 2018; GEBREMICAEL et al., 2019)

Com frequência, o movimento de massas é atribuído à supressão da vegetação, embora possam, em alguns casos, ocorrer eventos em áreas com florestas (TRUDGILL, 1988). Por outro lado, áreas com vegetação preservadas ou restauradas tendem a manter temperaturas mais amenas nos solos e são menos propensas a intensificação de eventos pluviométricos e consequentes deslizamentos (GRIMM et al., 2000; TRUDGILL, 1977).

Nesse contexto, a conservação, restauração, proteção e melhor manejo das florestas do mundo representam promissoras soluções na manutenção e mitigação de questões atreladas às emergências climáticas e desastres ambientais (GRIMM; JONES; MONTANARELLA, 2002; GRIMM et al., 2000; GRISCOM et al., 2017; ROE et al., 2019).

Embora existam revisões abrangentes sobre os impactos das mudanças climáticas em ecossistemas aquáticos, a investigação acerca dos feedbacks morfológicos e hidrológicos em regiões tropicais ainda é limitada (KAYITESI; GUZHA; MARIETHOZ, 2022). Nesse contexto, a compreensão das inter-relações entre o uso e a cobertura do solo (UCT) e a qualidade da água é fundamental para o aprimoramento de estratégias de gestão das bacias hidrográficas (UUEMAA; ROOSAARE; MANDER, 2005; WAN et al., 2014). Portanto, prevenir e mitigar a contaminação e poluição em ambientes como rios, lagos, reservatórios (PACHECO et al., 2015; SOARES et al., 2008) e baías costeiras (HOWARTH; MARINO, 2006), constituem uma prioridade.

O presente estudo, desenvolvido no Núcleo de Integração Acadêmica para Sustentabilidade Socioambiental (Niassa) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), situado às margens do reservatório de Chapéu D'Uvas, município de Ewbank da Câmara, Minas Gerais, tem como objetivo avaliar as respostas limnológicas ao arrasto horizontal solo-água em diferentes usos do solo.

O presente estudo ressalta a necessidade de implementar estratégias integradas e sustentáveis de gestão ambiental, que priorizem a resiliência dos ecossistemas, em face dos desafios climáticos globais. O estudo também visa oferecer diretrizes valiosas para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas emergências ambientais, enfatizando a necessidade de soluções que integrem práticas sustentáveis e que assegurem a resiliência continuada dos ecossistemas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Avaliar as características da água do transporte superficial de sedimentos em diferentes usos do solo.

2.2. Objetivos Específicos

a. Medir o volume de água, material particulado, fluxo horizontal de nutrientes e matéria orgânica e; usos do solo e;

b. Medir o potencial do escoamento superficial na atividade biológica.

3. Materiais e métodos

3.1. Área de Estudo

O presente estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora, vinculada ao Núcleo de Integração para a Sustentabilidade Socioambiental (Niassa-UFJF), situada às margens do reservatório Chapéu D'Uvas, no município de Ewbank da Câmara, Minas Gerais, Brasil. A fazenda encontra-se dentro do bioma Mata Atlântica, Zona da Mata Mineira, localizada no estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil (coordenadas geográficas -21.5839° de latitude sul e -43.5571° de longitude oeste). Localizada dentro dos limites da sub-bacia do rio Paraibuna, importante afluente do Rio Paraíba do Sul. A represa Chapéu D'Uvas percorre os municípios de Ewbank da Câmara e Santos Dumont (Machado, 2012; Lima et al., 2013; ANA, 2017; IBGE, 2020).

O Niassa-UFJF (**Figura 3**) possui aproximadamente 228 hectares, divido em um mosaico de áreas de pastagem abandonada, remanescentes florestais e áreas em estágio inicial de restauração florestal. Historicamente a região foi degradada por ciclos de café e gado leiteiro. Os dados de uso do solo revelam que ao longo de 30 anos cerca de 27,53% da área total da sub-bacia do reservatório Chapéu D'uvas passaram por modificações. Dentro desta perspectiva, cerca de 13,85% do total de área florestal foi suprimido, enquanto a área de agropecuária aumentou em cerca de 7,88% de sua área total (VALE, 2021).

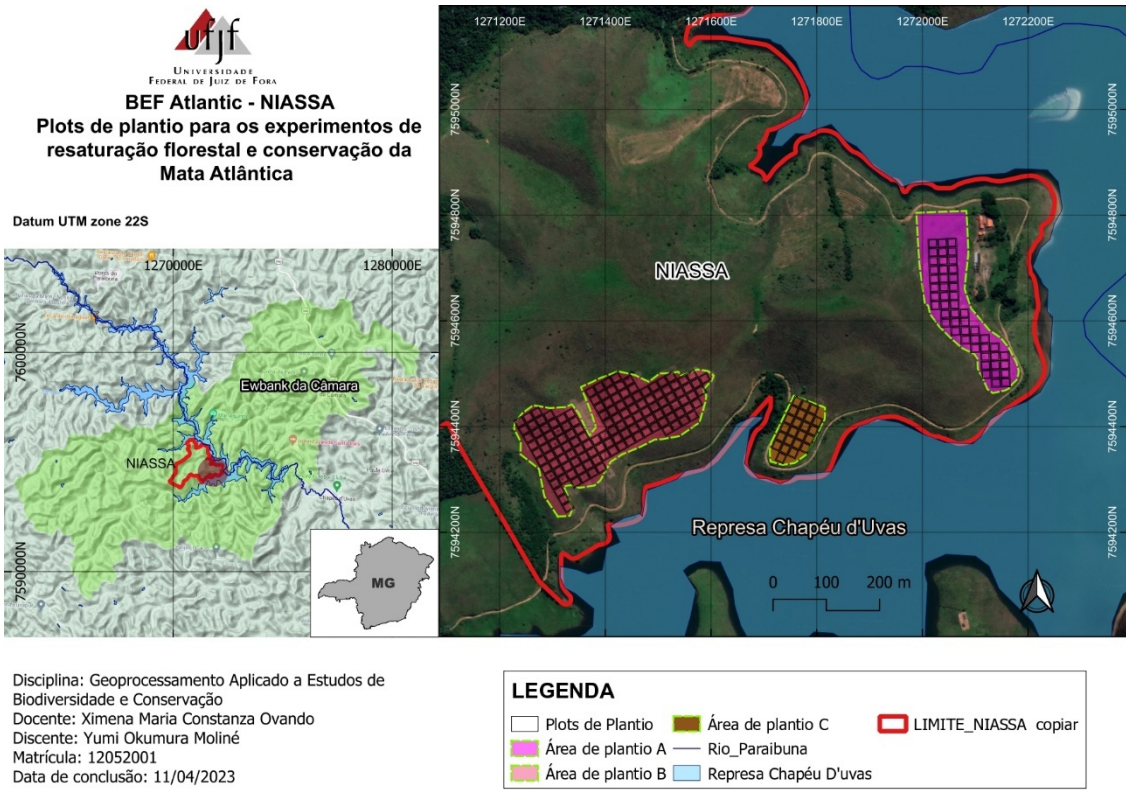


Figura 3 - A área de estudo, delimitada pelo limite NIASSA (linha vermelha), inclui três categorias de áreas de plantio: área de plantio A (representada em verde), área de plantio B (em amarelo) e área de plantio C (em roxo). A imagem também destaca o Rio Paraibuna e a Represa Chapéu d'Uvas. O mapa foi elaborado utilizando base cartográfica georreferenciada no Datum UTM Zone 22S

A Represa Chapéu D'Uvas está localizada no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, aproximadamente 50 km de sua nascente, nas coordenadas UTM 641400, 652600E; 7622000, 7610000S (FRAUCHES, 2020). Com um espelho d'água de 12 km², capacidade de armazenamento de 146 milhões de metros cúbicos e profundidade máxima de 41 metros, a represa é essencial para a região (CESAMA - COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL, 2025). Sua construção teve como principais objetivos a proteção da cidade de Juiz de Fora contra inundações, a regularização do fluxo do Rio Paraibuna em períodos de seca, a prevenção do acúmulo de sedimentos e a garantia do abastecimento hídrico (FRAUCHES, 2020).

O clima da região é classificado como Subtropical Úmido (Cwa), conforme a classificação de Köppen-Geiger. Apresenta duas estações bem definidas: um quente e chuvosa, de outubro a março, e outra seca e fria, de abril a setembro (**Figura 4**). O verão, que ocorre entre dezembro e março, é historicamente o período mais úmido, com destaque para o mês de dezembro, que registra volumes de precipitação de até 344 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2025; FERREIRA, 2023). Em contraste, o mês de julho é o mais seco, com

apenas 28 mm de chuva. A precipitação média anual na região é de 1.536 mm (OLIVEIRA; PIMENTEL; DE ASSIS, 2016).

As características geomorfológicas da região impactam tanto o clima regional quanto o local, influenciando a disponibilidade de recursos hídricos e os padrões de escoamento fluvial (FRAUCHES, 2020). A área é classificada como "Mares de Morros Florestados", com predominância de latossolos, cambissolos e neossolos em ocorrências localizadas (AB'SABER, 1970). O uso do solo na Bacia do Rio Paraibuna é majoritariamente composto por áreas agrícolas e solos expostos, que correspondem a 68% de sua extensão. Já a vegetação nativa encontra-se cada vez mais fragmentada ao longo da bacia (OLIVEIRA; PIMENTEL; DE ASSIS, 2016).

3.2. Parcelas experimentais de escoamento superficial

As parcelas experimentais (**Figura 5**) foram instaladas em três tipos de uso e cobertura do solo distintos: pastagem abandonada, fragmento florestal e área em processo inicial de restauração florestal. As parcelas localizadas em área de restauração florestal foram instaladas em uma área de restauração florestal pertencente ao experimento *BEF-Atlantic Project*.

O *BEF-Atlantic* foi implementado em outubro de 2021 em uma área degradada dominada por pastagens abandonadas na Fazenda Experimental NIASSA-UFJF. O experimento busca compreender como a diversidade de árvores influencia a colonização de múltiplos grupos taxonômicos, redes de interação, processos ecossistêmicos, entre os sistemas planta-solo, solo-atmosfera e terrestre-aquático (*BEF-ATLANTIC PROJECT*, 2021). O experimento *BEF-Atlantic* consiste em 232 parcelas experimentais, que abrange 13 hectares e com cerca de 22.000 árvores nativas da Mata Atlântica plantadas (*BEF-ATLANTIC PROJECT*, 2021)

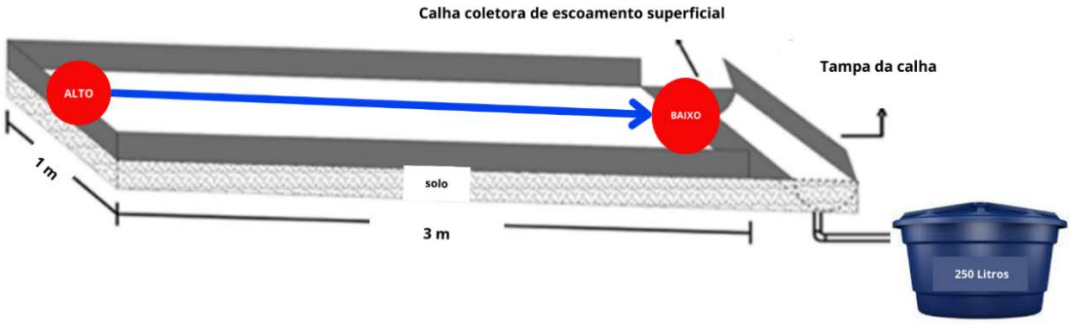


Figura 4 **-** Sistema de coleta de escoamento superficial: o esquema ilustrativo no topo representa as calhas coletoras instaladas em parcelas experimentais com dimensões de 1 m de largura por 3 m de comprimento. O escoamento é direcionado para um caixa de água de 250 litros.

Nas áreas de restauração florestal, em estágio inicial de recuperação (aproximadamente 2 anos), as parcelas foram dispostas de forma linear, seguindo uma toposequência. Essa disposição possibilitou a divisão do relevo em três partes: a parte superior (topo), o terço médio e o terço inferior (base) (**Tabela 1**).

Para o estudo, foram selecionadas cinco áreas distintas, em cada uma das quais foram instaladas parcelas experimentais. Cada tratamento conta com três réplicas, totalizando quinze parcelas no experimento (**Figura 6**). A seguir, são listados os cinco tratamentos, cada um composto por três réplicas.

(a) 3 parcelas na área de pastagem abandonada;
(b) 3 parcelas Restauração altono terço superior;
(c) 3 parcelas de Restauração meio;
(d) 3 parcelas de Restauração baixo;
(e) 3 parcelas na área de fragmento florestal preservado, classificado como mata secundaria (CALDEIRA, 2023);

As parcelas apresentam um formato retangular, com dimensões de um metro de largura por três metros de comprimento (**Figura 5**). A instalação das parcelas foi realizada de acordo com o sentido de escoamento do relevo. Na extremidade inferior de cada retângulo, foi posicionada uma calha coletora com um metro de comprimento (**Figura 5, 6 e 7**). Esta calha é equipada com uma tampa que impede a entrada direta da água da chuva, permitindo apenas a captação da água que escoa superficialmente, a qual é armazenada. Cada calha está conectada a uma caixa d'água com capacidade de duzentos e cinquenta litros (250 L), destinada ao armazenamento de água e sedimentos escoados (GUERRA, 2005; MORGAN, 1985, 2009). Por meio dessa abordagem experimental,

busca-se identificar o potencial de aporte de materiais na transição solo-água em cinco diferentes condições de uso e cobertura do solo.

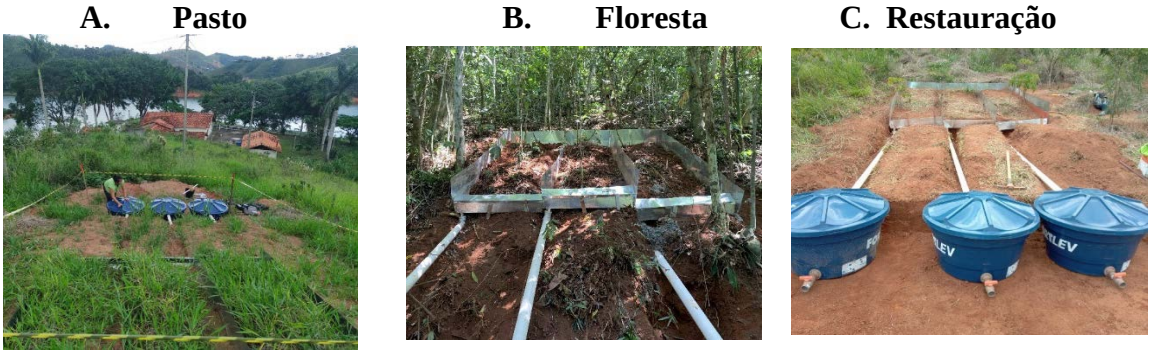


Figura 5 - Conjunto de imagens representando os sistemas experimentais instalados para coleta de escoamento superficial em diferentes tipos de uso do solo na área de estudo. A: área de pastagem; B: fragmento florestal; C: Restauração. As estruturas incluem calhas coletoras de escoamento superficial e reservatórios de 250 litros para armazenamento da água coletada. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*



Figura 6 - Registro das parcelas experimentais em campo, incluindo as estruturas de contenção e as calhas instaladas em áreas preparadas com diferentes usos do solo do solo. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 1 - características topográficas dos tratamentos em diferentes áreas da bacia de estudo. São descritas a elevação média (em metros), a declividade média (em porcentagem) e a classificação do relevo segundo a Embrapa. Todos os tratamentos estão classificados como "Forte Ondulado", com elevações variando de 768 m (Restauração 3 - base) a 789 m (Floresta), e declividades entre 22,627% (Pasto) e 38,626% (Restauração 1 - alto).

Tratamentos	Elevação (m)	Declividade (%)	Classe Embrapa
Floresta	789	35.468	Forte Ondulado
Pasto	782	22.627	Forte Ondulado
Restauração 1 (alto)	772	38.626	Forte Ondulado
Restauração 2 (meio)	770	32.311	Forte Ondulado
Restauração 3 (base)	768	27.785	Forte Ondulado

Para determinar uma equação do volume de água em relação a altura da lâmina de água dentro das caixas de água de 250 litros, utilizou-se um balde de 10 litros como

unidade de medida. A caixa foi preenchida até o limite logo abaixo do ladrão. O procedimento consistiu em adicionar progressivamente o volume de 10 litros água no recipiente, registrando, a cada acréscimo, a altura correspondente da lâmina de água. Os valores foram anotados em uma tabela contendo duas variáveis principais: o volume acumulado em litros e a altura da lâmina de água em centímetros. A partir dos pontos plotados, uma equação de ajuste linear foi obtida, descrevendo a relação entre o X (volume em litros) e Y (altura em centímetros) (**Figura 8**).

3.3. Frequência de coleta

Para a avaliação da qualidade e da quantidade do escoamento superficial, foram conduzidas quatro campanhas de coleta entre os meses de dezembro de 2023 a março de 2024. Durante o intervalo de dezembro de 2023 a fevereiro de 2024, os intervalos entre as coletas foram de 29 dias. A coleta referente ao mês de março foi realizada com um intervalo de 27 dias.

Para o monitoramento dos eventos climáticos, foi colocada uma estação meteorológica HOBO U-30na sede da Fazenda Experimental Niassa-UFJF, Coordenadas: 21° 35'3" S 43° 33' 25" O; 156° SE (**Figura 9**). Esta estação realiza registros diários de diversos parâmetros, incluindo o volume de precipitação em milímetros, a pressão atmosférica, a temperatura, a direção do vento, as rajadas de vento e a velocidade do vento.



Figura 7 - Estação meteorológica HOBO-U-30 instalada nas proximidades da sede da Fazenda Experimental Niassa-UFJF (21°35'3"S, 43°33'25"O; 156°SE). *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

3.4. Características limnológicas

3.4.1. Coleta de água e filtragem

As amostras de água foram coletadas em garrafas de plástico de um litro. Essas garrafas foram higienizadas, secas e etiquetadas previamente. Antes de coletar uma alíquota de cada uma das quinze parcelas o conteúdo das caixas de água foi homogeneizado vigorosamente. No momento da coleta foram registradas as seguintes variáveis ambientais: temperatura, pressão, oxigênio dissolvido, condutividade, salinidade, pH e a turbidez foram mensurados *in situ* com auxílio da sonda multiparâmetros (modelo U50 – Horiba) **(Figura 10**). O volume encontrado em cada caixa de água também foi registrado. Amostras de água de 1 litro foram armazenadas sob refrigeração até o início das análises.

A filtragem das amostras (**Figura 11**) foi realizada utilizando filtros de fibra de vidro com porosidade de 0,7 µm (Whatman GF/F), os quais foram previamente incinerados em mufla a 450 ºC por um período de 2 horas e pesados para a determinação do peso inicial, (THEY; AMADO; COTNER, 2017). Após a filtração, os filtros foram submetidos a um processo de secagem em estufa a 60 graus celsius (ºC) por 2 horas ou até que estivessem completamente secos, sendo, em seguida, pesados novamente para a determinação do peso final. Os filtros secos foram armazenados individualmente em envelopes de papel alumínio e analisados para quantificação dos nutrientes presentes no

material particulado (sedimento) carreado. A água que passou pelos filtros foi analisada com o objetivo de mensurar as concentrações de nutrientes dissolvidos transportados ao longo do intervalo de coleta.

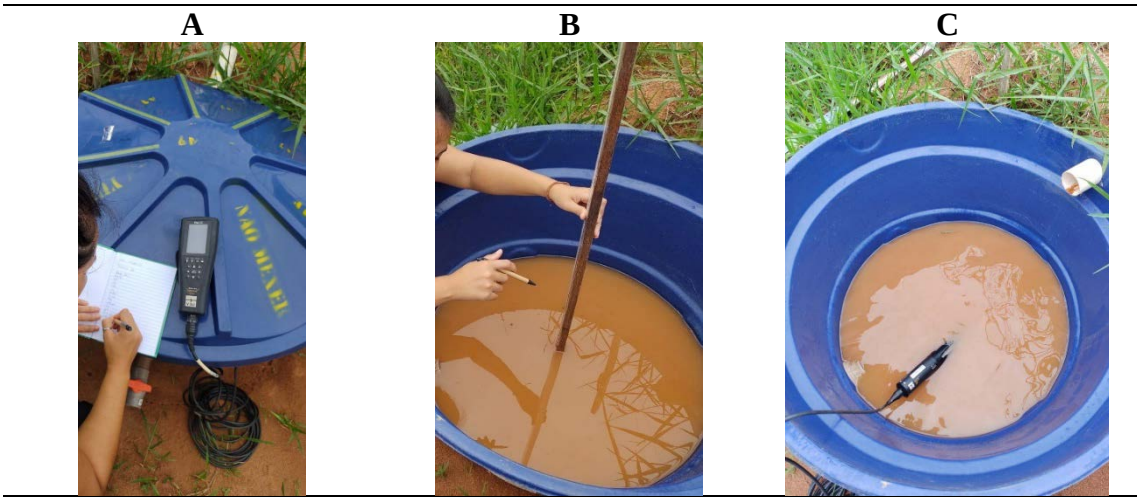


Figura 8 - Procedimentos de coleta de amostras de água realizadas em campo. (A) Registro dos dados ambientais utilizando uma sonda multiparâmetros (modelo U50 - Horiba); (B) Ilustra a medição da altura da lâmina de água para o cálculo do volume total armazenado em cada caixa; e (C) Coleta das variáveis ambientais - temperatura, pressão, oxigênio dissolvido, condutividade, salinidade, pH e turbidez. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

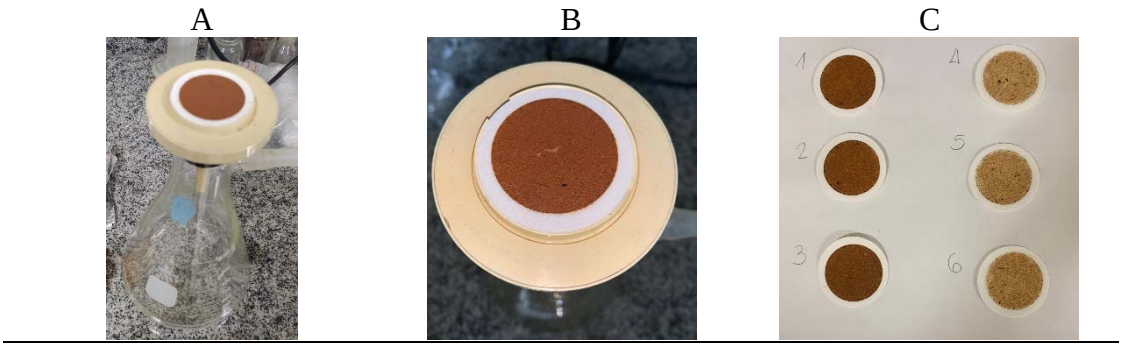


Figura 9 - A e B :Procedimento de filtração com filtros de fibra de vidro com porosidade de 0,7 µm (Whatman GF/F). C: A imagem demonstra a diferença na quantidade de material particulado retido nos filtros, associada aos diferentes usos do solo. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

3.4.2. Nutrientes - Carbono, Nitrogênio, Fósforo (C, N, P)

Entre as características limnológicas avaliadas neste estudo destacam-se: sólidos totais (material particulado retido nos filtros), concentrações de carbono orgânico dissolvido, particulado e total, nitrogênio dissolvido, particulado e total, e fósforo dissolvido, particulado e total. A soma das porções dissolvidas e particuladas de cada amostra reflete a quantidade total de nutrientes presentes.

Após a filtração da água bruta, foram obtidas amostras contendo nutrientes dissolvidos. As amostras foram analisadas pelo equipamento *TOC-L Total Organic*

Carbon Analyzer Unit Shimadzu para determinar as concentrações de carbono orgânico dissolvido e nitrogênio dissolvido. Para obter as quantidades de fósforo dissolvido foi usado o método de azul de molibdênio, com a adição de reagente misto, as quantidades foram determinadas por espectrofotometria (Lambda 365 UV/Vis, Perkin Elmer) (MACKERETH, 1978).

O carbono orgânico particulado retido nos filtros de microfibra de vidro com porosidade de 0,7 µm foi analisado no módulo sólido do TOC-L SSM-5000A *Solid Sample Combustion Unit Shimadzu*. Já a quantidade de fósforo (P) e nitrogênio (N) particulados retidos nos filtros foi determinada por meio de digestão alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) (CARMOUZE, 1994). Após a digestão, o nitrogênio particulado foi quantificado por quimioluminescência utilizando o *TOC-L Total Organic Carbon Analyzer Unit Shimadzu*. O fósforo particulado, por sua vez, foi analisado por espectrofotometria (Lambda 365 UV/Vis, Perkin Elmer), aplicando o método do reagente misto (MACKERETH, 1978).

O Material Particulado (MP) refere-se a qualquer partícula sólida em suspensão, incluindo solo, sedimentos, minerais, matéria orgânica, entre outros. Para determinar a massa do Material Particulado (MP) retido no filtro, realiza-se o cálculo da diferença entre o peso inicial e o peso final do filtro após o processo de filtração. A concentração absoluta de MP, expressa em gramas por litro (g/L), é obtida ao dividir a massa do MP retido no filtro pelo volume da amostra filtrada, representando assim a quantidade de material particulado presente no volume filtrado.

O cálculo da quantidade estimada de material particulado (MP) total na caixa d'água foi realizado por meio da multiplicação do valor absoluto da concentração (g/L) pelo volume total armazenado na caixa d'água durante o intervalo de coleta. Esse procedimento possibilita a estimativa da massa total de material particulado presente no sistema.

A relação entre a massa de partículas (MP) total depositada e a quantidade de precipitação ocorrida durante o intervalo de coleta foi estabelecida por meio da divisão do valor total de MP pelo acumulado de precipitação (mm) correspondente ao referido intervalo. Para extrapolar os resultados obtidos ao longo de um ano, foi utilizada a média histórica de precipitação da região. Assim, a estimativa da MP anual é calculada a partir do produto da MP total (em milímetros) pelo acumulado histórico médio de precipitação anual da localidade.

3.4.3. Respiração bacteriana

Após retornar da campanha de coleta, imediatamente foram utilizados frascos de 120 ml previamente higienizados, secos e identificados. A amostra foi vigorosamente homogeneizada e, com uma proveta, foram alocados 100 ml de cada tratamento (água bruta) em frascos individuais, restando 20 ml de espaço livre no frasco (*headspace*). Em seguida, os frascos foram vedados e aguardou-se cerca de 1 hora para a estabilizar o sistema. A primeira coleta de medição, foi denominada como tempo zero horas. Nos dias seguintes, foram realizadas medições nos intervalos tempo de 24 horas e 48 horas para a determinação da concentração de CO_2 (**Figura 12**). Com o auxílio de uma seringa plástica equipada com válvula de triway, agulha foram extraídos 2 ml de gás do headspace. O conteúdo amostrado foi injetado em um Ultraportable Greenhouse Gas Analyzer (UGGA; Los Gatos Research) por tubos plásticos personalizados hermético e selados conectados a um absorvedor de CO2 (soda lime) para a quantificação do dióxido de carbono (**Figura 13**) (GONZALEZ-VALENCIA et al., 2014). Em seguida foram rejeitados 2 ml de ar atmosférico em cada frasco. Testes prévios demonstraram que a quantidade de CO_2 presente no ar atmosférico é insignificante para interferir nos resultados. Esse procedimento foi adotado para evitar a redução da pressão no sistema, o que poderia causar vácuo e, consequentemente, comprometer o equilíbrio dos gases e a precisão dos resultados (GRASSET et al., 2018, 2019)

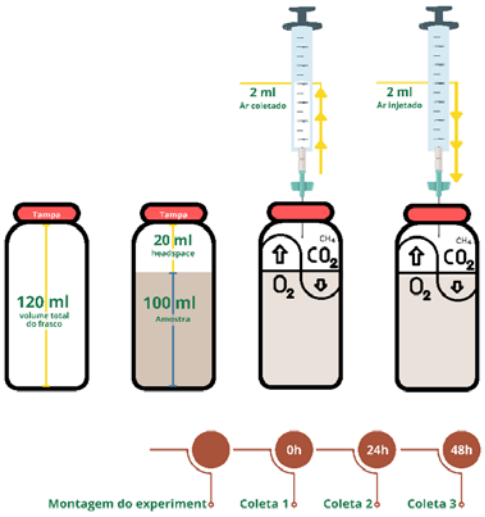


Figura 10 - Esquema representativo do experimento de incubação para quantificação da taxa de produção de gases (CO_2) em amostras de escoamento superficial em diferentes usos do solo do solo. Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025)

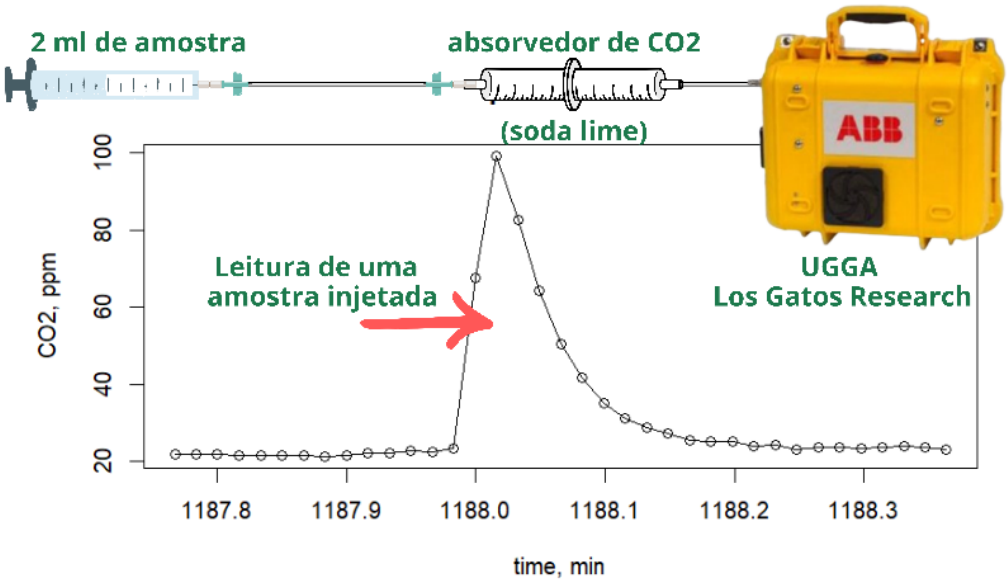


Figura 11 – Esquema do processo de análise de CO_2 no equipamento UGGA (Los Gatos Research). Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025)

3.5. Análise e classificação de perfis de solos

3.5.1. Coleta perfis de solo

A coleta de amostras de perfis de solo foi realizada em duas toposequências distintas: uma situada na interseção entre áreas de pastagem e Restauração, e a outra em um fragmento florestal (**Figura 14**).

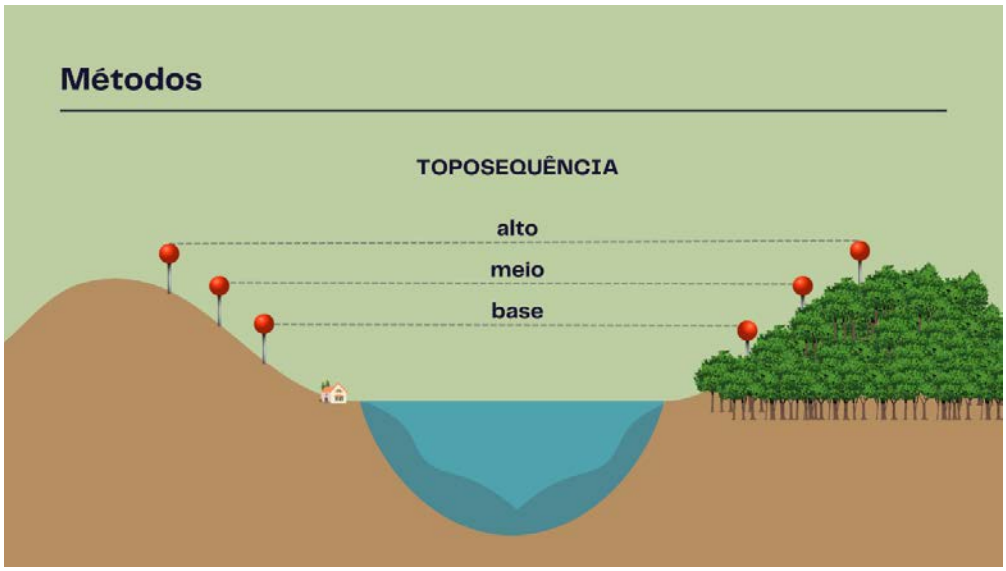


Figura 12 - Representação esquemática de uma **toposequência**, destacando os pontos de amostragem distribuídos em diferentes posições do relevo: **alto**, **meio** e **base.** Fonte: Elaborado pelo autor no Canva (2025)

No total, foram analisados seis perfis com o objetivo de classificação pedológica. Cada perfil apresentava uma profundidade mínima de 1,5 metros, garantindo a representatividade das características dos solos ao longo do perfil vertical (**Figura 15 e 16**). A delimitação das áreas de estudo fundamentou-se na segmentação da encosta em três porções: topo, meio e a base. Após essa divisão, foram selecionados pontos de amostragem representativos em cada uma das porções, utilizando critérios técnicos que garantissem a abrangência das condições ambientais. Durante o processo, foram coletadas, observadas e registradas características essenciais do solo, como textura, cor e identificação de horizontes diagnósticos. A utilização de ferramentas especializadas, como GPS, marcadores de campo e instrumentos pedológicos, foi crucial para a precisão dos registros.

Essas etapas são fundamentais para a compreensão das propriedades pedológicas locais e sua inter-relação com os diversos usos do solo do solo. As metodologias adotadas foram rigorosamente alinhadas às diretrizes estabelecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos (SANTOS et al., 2018).



Figura 13 - Fotos representativas da coleta de dados para classificação de perfis de solo em uma área localizada a 1,5 km após a sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

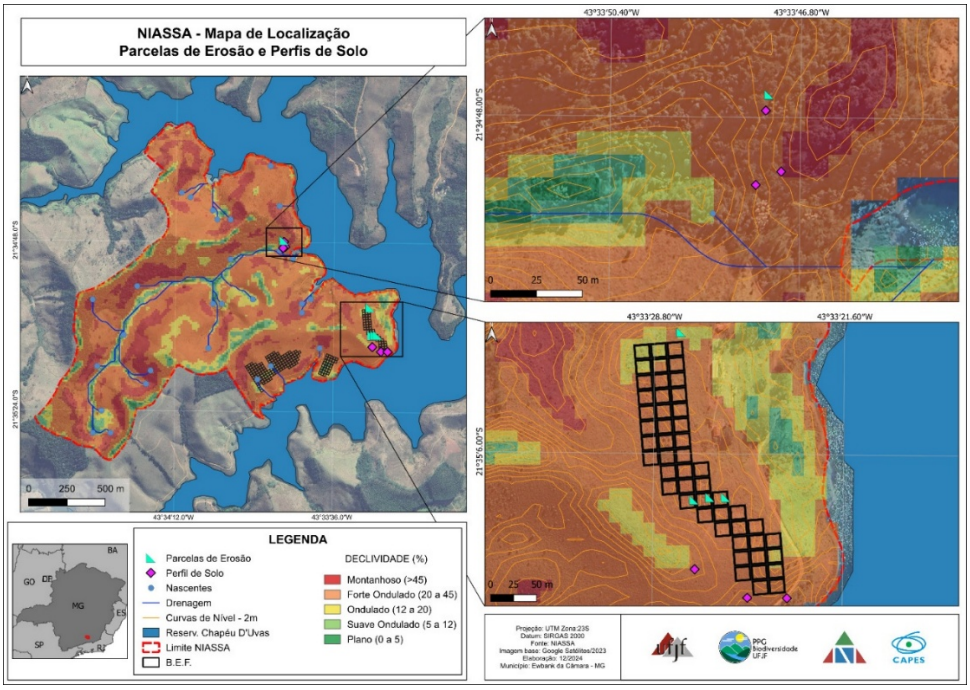


Figura 14 - O mapa apresenta a localização da Fazenda Experimental da UFJF-Niassa, incluindo as parcelas de erosão e perfis de solo. Também estão representadas as nascentes, drenagem, curvas de nível (intervalo de 2 m) e categorias de declividade classificadas como: montanhoso (>45%), forte ondulado (20–45%), ondulado (12–20%), suave ondulado (5–12%) e plano (0–5%). O mapa foi produzido utilizando imagens do Google Satélite (2023) e está projetado no sistema UTM, Zona 23S. Autor: Thiago Lobão.

3.6. Análise de dados

A análise de dados realizada neste projeto fundamentou-se em métodos estatísticos não paramétricos, adequando-se às limitações impostas pela ausência de normalidade dos dados. Nesse contexto, o teste de Kruskal-Wallis foi adotado por

permitir a avaliação de diferenças entre medianas de três ou mais grupos sem exigir pressupostos de normalidade. Após identificar se há ou não diferenças significativas, utilizou-se o teste de Wilcoxon para comparações pares a par, o que conferiu maior sensibilidade à análise em relação ao contraste entre grupos específicos. Para evitar falso positivo, erro tipo I, foi adotado o teste a posteriori de Dunn.

Adicionalmente, a representação gráfica por meio de histogramas e boxplots proporcionou subsídios visuais para a verificação da dispersão dos dados, a identificação de valores atípicos e a análise do comportamento geral das distribuições. Todas as análises foram conduzidas com o suporte do *JMP Statistical Software* e *R: A language and environment for statistical computing*, utilizando uma margem de erro de 5% ($p < 0,05$) (R CORE TEAM, 2024; SAS INSTITUTE INC., 2024).

4. Resultados

4.1. Classificação do solo

Os solos analisados nas áreas de estudo apresentaram diferentes classificações pedológicas, cada uma com características específicas que influenciam sua fertilidade, drenagem e uso potencial (SANTOS et al., 2018). O resultado das análises de classificação de solo apontou que o local de pesquisa apresenta três tipos distintos de solo: Latossolo Vermelho Distrófico Típico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico e Cambissolo Háplico Tb Distrófico Típico.

A **Tabela 2** apresenta a declividade média (%) e classificação de relevo segundo a Embrapa. Todos os tratamentos foram classificados como 'Forte Ondulado'. As características geomorfológicas e pedológicas das áreas de estudo foram analisadas por meio de investigações detalhadas de perfis de solo coletados em duas toposequências representativas: uma situada na transição entre áreas de pastagem e Restauração (**Tabela 3, Figura 17**), e outra em um fragmento florestal (**Tabela 4, Figura 18**). Os perfis de solo foram categorizados em um gradiente atitudinal (alto, médio e baixo), refletindo a variabilidade ambiental ao longo das rampas. As **Tabelas 3, 4 e as Figuras 17, 18** apresentam uma síntese das informações relacionadas à classificação dos solos.

Tabela 2 - características geomorfológicas dos perfis de solo coletados em diferentes posições ao longo de duas toposequências: Restauração-Pasto e Floresta.

Toposequência	Posição	Perfil	Declividade	Classe Embrapa	Intervalo
Restauração-Pasto	Topo	1	24.21%	Forte Ondulado	20-45
Restauração-Pasto	Meio	2	38.6%	Forte Ondulado	20-45
Restauração-Pasto	Base	3	39.6%	Forte Ondulado	20-45
Floresta	Topo	1	35.78%	Forte Ondulado	20-45
Floresta	Meio	2	40%	Forte Ondulado	20-45
Floresta	Base	3	29.73%	Forte Ondulado	20-45

Tabela 3 - Detalhamento do perfil de solo coletado em 04/09/2023, na área de transição da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, localizada a 1,2 km da sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), no município de Ewbank da Câmara – MG. Inclui informações sobre classificação, localização geográfica, características geomorfológicas e morfológicas, além de dados sobre uso atual e contexto geológico. Este trabalho foi realizado em parceria entre a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por meio do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. Descrição realizada por Antonino José Jacques Gambôa Fernandez de Oliveira Netto e Hugo de Souza Fagundes.

	Características da Toposequência na Interseção entre Áreas de Pasto e Restauração		
	Perfil 1 (Alto)	**Perfil 2 (Meio)**	**Perfil 3 (Baixo)**
Classificação	Latossolo vermelho distrófico típico	-	Latossolo vermelho amarelo distrófico típico
Coordenadas	21°35'11.11" S; 43°33'46.63" W	21°35'14,.55" S; 43°33'45.31" W	21°35'15.91" S; 43°33'44.85" W.
Situação, Declividade e Cobertura Vegetal	Perfil localizado em transição de topo e terço superior da encosta com aproximadamente 25 % de declive sob área em processo inicial de restauração.	Perfil localizado no terço médio da encosta com aproximadamente 40 %de declive sob área em processo inicial de restauração.	Perfil localizado no terço inferior da encosta, corte de estrada de acesso à cede da fazenda, com aproximadamente 38 % de declive sob área em processo inicial de restauração.
Altitude	805 metros	778 metros	757 metros
Formação Geológica e Litologia	Gnaisses do Complexo Mantiqueira	Gnaisses do Complexo Mantiqueira	Gnaisses do Complexo Mantiqueira
Cronologia	Pré-Cambriano	Pré-Cambriano	Pré-Cambriano
Material Originário	Sedimentos coluviais da rocha supracitada	Sedimentos coluviais da rocha supracitada	Sedimentos coluviais da rocha supracitada
Pedregosidade	Não pedregosa	Não pedregosa	Não pedregosa
Rochosidade	Não rochosa	Não rochosa	Não rochosa
Relevo Local	Forte ondulado	Forte ondulado	Forte ondulado
Relevo Regional	Ondulado a montanhoso	Ondulado a montanhoso	Ondulado a montanhoso
Erosão	Não aparente	Não aparente	Não aparente
Drenagem	Bem drenado	Bem drenado	Bem drenado
Vegetação Primária	Floresta tropical subcaducifólia	Floresta tropical subcaducifólia	Floresta tropical subcaducifólia
Clima	Tropical úmido – Aw	Tropical úmido – Aw	Tropical úmido – Aw
Uso Atual	Transição de pastagem de braquiária para floresta	Transição de pastagem de braquiária para floresta	Transição de pastagem de braquiária para floresta
Descrição Morfológica	A - 0-18 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco); moderada à forte, pequena à média, granular; dura, muito firme, não	A1 – 0-9 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco); moderada, pequena à média e granular; dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.	A – 0-12 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco); fraca, muito pequena à pequena, granular; ligeiramente dura, friável,

	plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara		plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
	AB - 18-25 cm; vermelho-acinzentado (2,5YR 4/2, úmido); vermelho-acinzentado (2,5YR 5/2, seco); moderada, pequena à média, granular e moderada, muito pequena, blocos subangulares; dura, firme, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.	A2 – 9-19 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco); moderada, muito pequena à pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.	BA – 12-27 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); fraca, muito pequena à pequena, granular e fraca, muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
	B1 - 25-42 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido); moderada, muito pequena, blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.	BA – 19-34 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4, seco); fraca, muito pequena, granular e fraca, muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara	B1 – 27-57 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); fraca, muito pequena a pequena, blocos subangulares; macio, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
	B2 - 42-77 cm; vermelho-escuro (2,5YR 4/4, úmida); moderada, muito pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.	B1 – 34-55 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); fraca, muito pequena, blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara	B2 – 57-125 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/8, úmido); fraca, muito pequena à pequena, blocos subangulares; macio, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta
	B3 - 77-97 cm; vermelho-escuro (2,5YR 4/4, úmida); fraca, muito pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.	B2 – 55-107 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, úmido); fraca, muito pequena, blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara	B3 – 125-160 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, úmido); fraca, muito pequena à pequena, blocos subangulares; macio, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

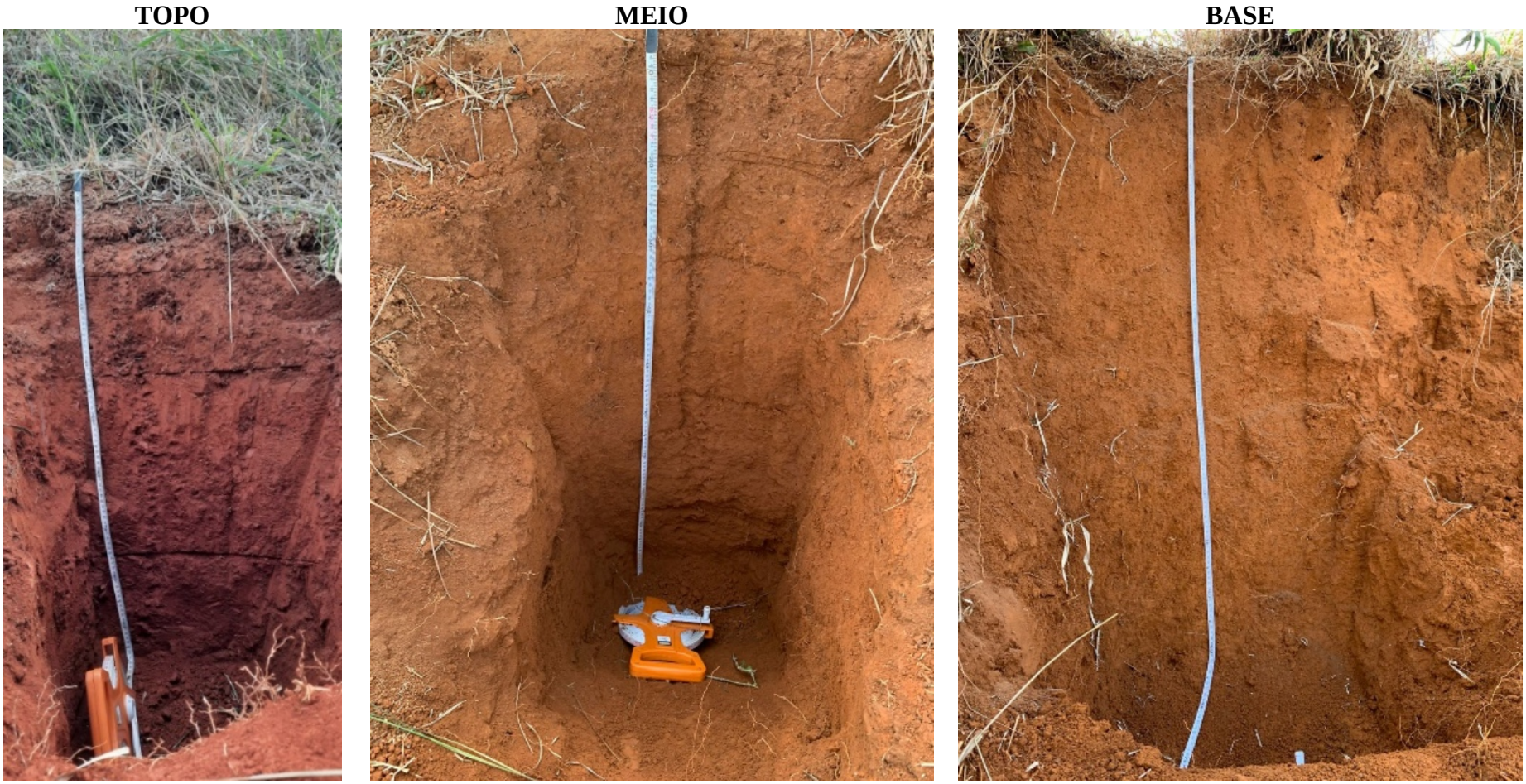


Figura 15 - Perfis de solo representando a toposequência em áreas de transição entre pasto e Restauração. Os perfis ilustram as características morfológicas e texturais dos solos em três posições distintas (Perfil 1 - alto, Perfil 2 - médio e Perfil 3 - baixo), evidenciando diferenças nos horizontes diagnósticos e sua relação com o uso do soloe cobertura vegetal na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG

Tabela 4 - Detalhamento do perfil de solo coletado em 05/09/2023, na área de transição da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, localizada a 1,5 km depois da sede da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), a margem esquerda da Bacia de contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG. Inclui informações sobre classificação, localização geográfica, características geomorfológicas e morfológicas, além de dados sobre uso atual e contexto geológico. Este trabalho foi realizado em parceria entre a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por meio do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. Descrição realizada por Antonino José Jacques Gambôa Fernandez de Oliveira Netto e Hugo de Souza Fagundes.

	Características da Toposequência em Fragmento Florestal		
	Perfil 1 (alto)	**Perfil 2 (meio)**	**Perfil 3 (baixo)**
Classificação	Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico	Latossolo vermelho distrófico típico	Cambissolo háplico tb distrófico típico
Coordenadas	21°34'48.57" S; 43°33'47.61" W	21°34'49,47" S; 43°33'47.28" W	21°34'49,64" S; 43°33'47,20" W
Situação, Declividade e Cobertura Vegetal	Perfil localizado em transição de terço superior para terço médio da encosta com aproximadamente 36 % de declive sob área de vegetação nativa.	Perfil localizado em transição do terço médio para o terço inferior da encosta com aproximadamente 42 % de declive sob área de vegetação nativa.	Perfil localizado em terço inferior da encosta com aproximadamente 30 % de declive sob área de vegetação nativa, próximo do curso hídrico, aluvial.
Altitude	781 metros	764 metros.	758 metros
Formação Geológica e Litologia	Gnaisses do Complexo Mantiqueira	Gnaisses do Complexo Mantiqueira	Gnaisses do Complexo Mantiqueira
Cronologia	Pré-Cambriano	Pré-Cambriano	Pré-Cambriano
Material Originário	Sedimentos coluviais da rocha supracitada	Sedimentos coluviais da rocha supracitada	Sedimentos coluviais da rocha supracitada
Pedregosidade	Não pedregosa	Não pedregosa	Não pedregosa
Rochosidade	Não rochosa	Não rochosa	Não rochosa
Relevo Local	Forte ondulado	Forte ondulado	Forte ondulado
Relevo Regional	Ondulado a montanhoso	Ondulado a montanhoso	Ondulado a montanhoso
Erosão	Não aparente	Não aparente	Não aparente
Drenagem	Bem drenado	Bem drenado	Bem drenado
Vegetação Primária	Floresta tropical subcaducifólia	Floresta tropical subcaducifólia	Floresta tropical subcaducifólia
Clima	Tropical úmido – Aw	Tropical úmido – Aw	Tropical úmido – Aw
Uso Atual	Vegetação nativa	Vegetação nativa	Vegetação nativa
Descrição Morfológica	**A1 –** 0-10 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido); bruno-avermelhado (5YR 4/3, seco); moderada, muito pequena, granular; ligeiramente dura, firme, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.	**A –** 0-12 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno (7,5YR 5/4, seco); moderada à forte, muito pequena à pequena, granular; dura, firme, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.	**A –** 0-8 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (10YR 5/3, seco); forte, muito pequena à pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e abrupta.
	A2 – 10-19 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco);	**AB –** 12-17 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 5/4, seco);	**AB –** 8-14 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (10YR 5/3, seco); moderada,

	muito pequena à pequena, moderada, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara	moderada, muito pequena à pequena, granular e moderada, muito pequena, blocos angulares; dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.	muito pequena, granular e forte, pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
	AB – 19-32 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 5/4, seco); pequena, moderada, granular e muito pequena, moderada, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.	**BA –** 17-27 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); moderada, muito pequena, granular e moderada, muito pequena à pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.	**B –** 14-31 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); fraca, muito pequena, blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
	BA – 32-57 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); pequena, moderada, granular e muito pequena, moderada, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.	**B1 –** 27-45 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); moderada, muito pequena à pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.	**BC –** 31-53 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); fraca, muito pequena, blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa. **Observações: Presença de raízes ao longo do perfil; fragmento de rocha no horizonte BC**
	B1 – 57-94 cm; vermelho-escuro (5YR 3/6, úmido); fraca à moderada, muito pequena, blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta	**B2 –** 45-62 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); moderada, muito pequena à pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.	-
	B2 – 94-139 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido); fraca à moderada, muito pequena, blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta	**B3 –** 62-140 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, úmido); moderada, muito pequena à pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.	-
	B3 – 139-157 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); fraca, muito pequena, blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e abrupta. **Observações: Presença de raízes ao longo do perfil**.	**BC –** 140-170 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, úmido, úmido); moderada, muito pequena à pequena, blocos subangulares; firme, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa. **Observações: Presença de fragmentos de rocha no horizonte BC.**	-

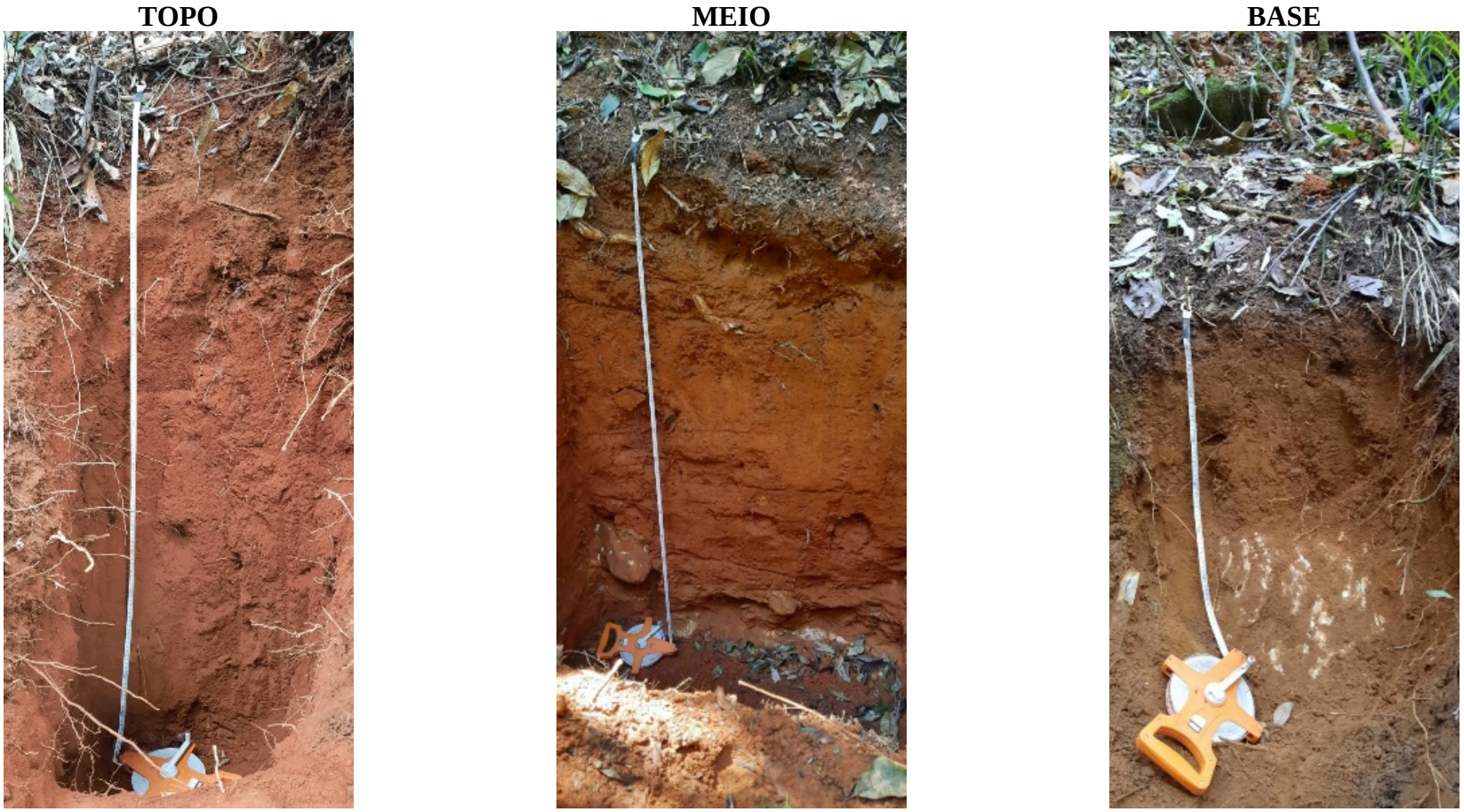


Figura 16 - Perfis de solo representando a toposequência em Fragmento Florestal, com variações atitudinais e geomorfológicas. Os perfis ilustram as características morfológicas e texturais dos solos em três posições distintas (Perfil 1 - alto, Perfil 2 - médio e Perfil 3 - baixo), evidenciando diferenças nos horizontes diagnósticos e sua relação com o uso do solo e cobertura vegetal na Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'uvas, Ewbank da Câmara – MG. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

4.2. Precipitação

A precipitação foi registrada por meio da estação meteorológica instalada na sede da fazenda experimental, em meados do mês de novembro de 2023. O acumulado de chuva (mm) por mês, desde a data da instalação até outubro (**Figura 19**).

Os valores correspondentes aos intervalos de coleta entre os meses de dezembro de 2023 e março de 2024 estão representados na **Figura 20** Durante o período de dezembro de 2023 a fevereiro de 2024, os intervalos de coleta mantiveram um padrão de 29 dias. A coleta referente ao mês de março foi realizada com um intervalo de 27 dias. O valor máximo registrado nos intervalos de coleta foi de 258,80 mm, enquanto o valor mínimo foi de 131,20 mm.

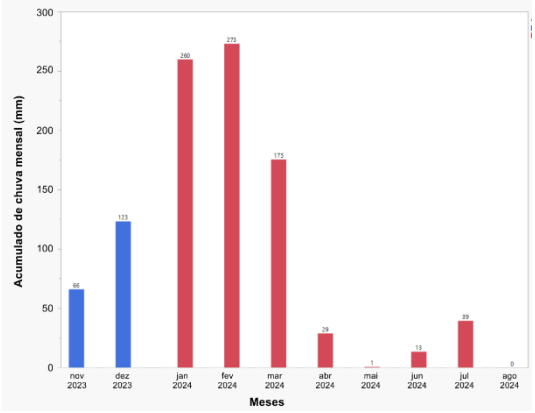


Figura 17 - Gráfico de barras representa o acumulado de chuva mensal (mm) entres novembro de 2023 a agosto de 2024.Dados foram obtidos da estação meteorológica instalada na Fazenda Experimental da UFJF-Niassa. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

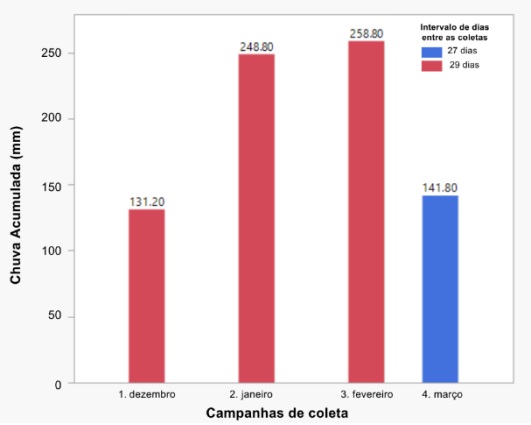


Figura 18 - Gráfico de barras representando a total de chuva acumulada (mm) somados nos intervalos entre as campanhas de coleta. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

4.3. Volume de água

Os resultados obtidos indicaram diferenças estatisticamente significativas entre pelo menos dois dos grupos analisados em relação a variável volume de água armazenado por caixa. A **Restauração 1** e **Restauração 2** se destacaram com os maiores volumes de água captados em relação aos outros grupos. O **Restauração 1** foi o grupo com os maiores valores em relação à **Floresta**, ao **Pasto** e ao **Restauração 3**. O **Restauração 3** apresentou os menores volumes, diferenciando-se negativamente de outros grupos de restauração. A **Floresta** e o **Pasto** apresentaram volumes semelhantes.

Para melhor visualização dos resultados as **Tabelas 5, 6 e 7** a presentam os valores obtidos pelos testes estativos aplicados e a **Figura 21 e 22** ilustram os resultados obtidos.

Tabela 5 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 23,1478, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001 (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05.

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	2826	78.50	-2.386
Pasto	3377.50	91.28	-0.912
Restauração2	5605	112.67	1.698
Restauração1	4507	127.38	3.747
Restauração3	3187.50	79.68	-2.399
ChiSquare	**DF**	**Prob>ChiSq**	
23.1478	4	0.0001*	

Tabela 6 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Restauração1	- Floresta	3.71370	0.0002*
Restauração1	- Pasto	2.96739	0.0030*
Restauração2	- Floresta	2.52692	0.0115*
Restauração2	- Pasto	1.77773	0.0754
Pasto	- Floresta	1.08803	0.2766
Restauração3	- Floresta	0.11974	0.9047
Restauração3	- Pasto	-1.04714	0.2950
Restauração2	- Restauração1	-1.20687	0.2275
Restauração3	- Restauração2	-2.54678	0.0109*
Restauração3	- Restauração1	-3.73583	0.0002*

Tabela 7 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades.

Nível			
Floresta	**A**		
Pasto	**A**	**B**	
Restauração 1			**C**
Restauração 2		**B**	**C**
Restauração 3	**A**		

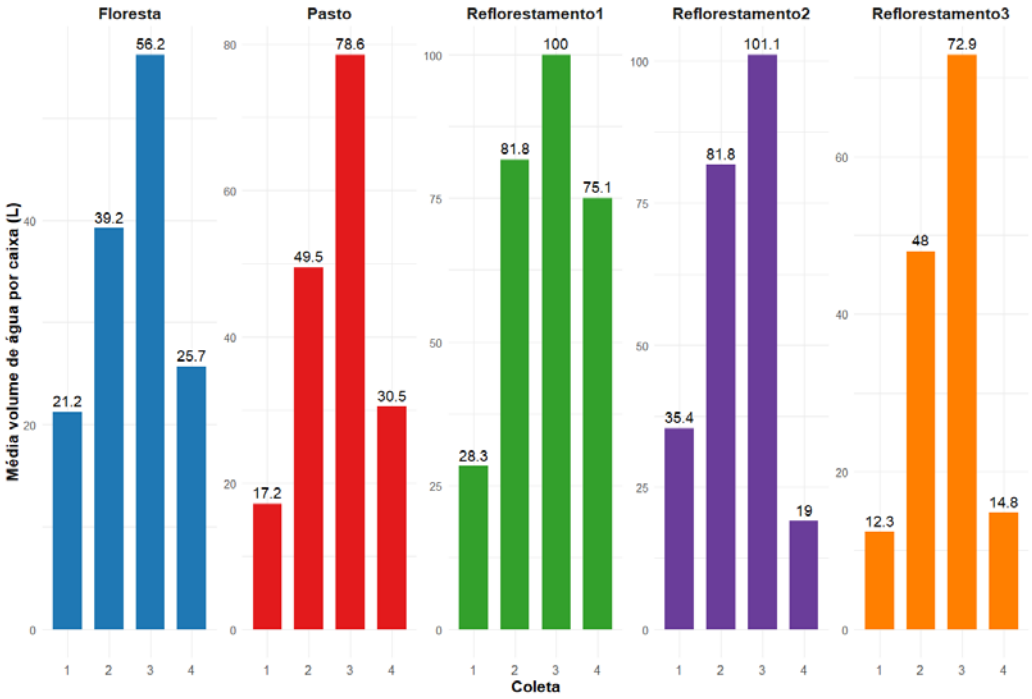


Figura 19 - Média do volume de água coletado por caixa (em litros) para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

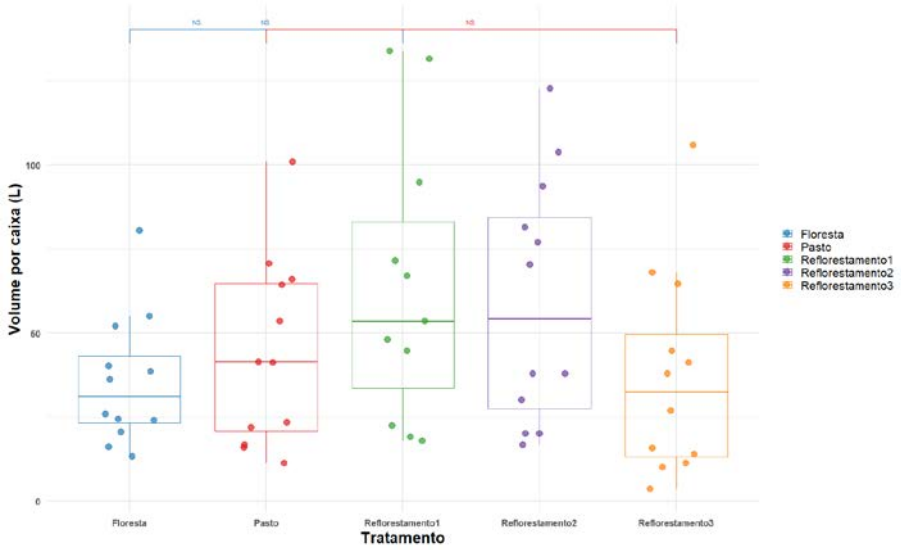


Figura 20 – O Gráfico de boxplot apresenta o volume da água de escoamento superficial armazenada nas caixas de água em litros nos diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

4.4. Taxa de respiração bacteriana

As **Figuras 23 e 24** indicam que o tratamento da Floresta possui as maiores concentrações e taxas de produção de CO_2, com alta variabilidade. O pasto apresentou

valores intermediários, com alta variabilidade e instabilidade. O Restauração 1 apresenta valores crescentes. O Restauração 2 e 3 possuem valores menores e mais estáveis, indicando progressão nos processos de restauração e estabilização do solo. A relação temporal destaca que a taxa de produção de CO_2 aumenta de forma mais consistente na Floresta e no Restauração 1, enquanto no Pasto e na Restauração 2 e 3 o tempo tem menor influência.

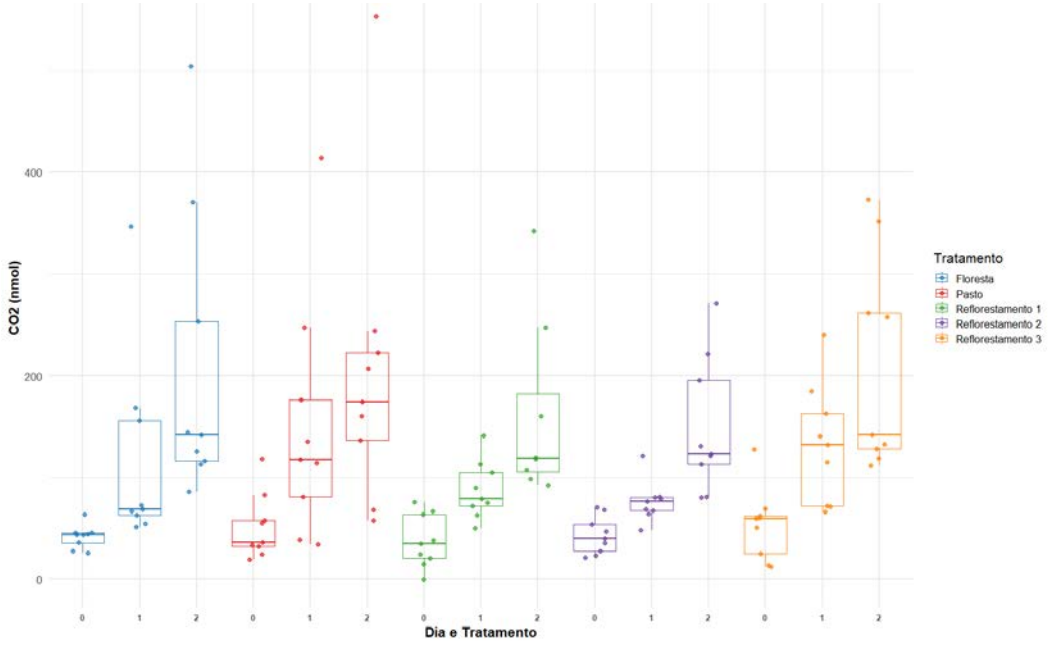


Figura 21 – Boxplot das concentrações de dióxido de carbono (CO_2 nmol) nos diferentes tratamentos amostrais por dia de incubação. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

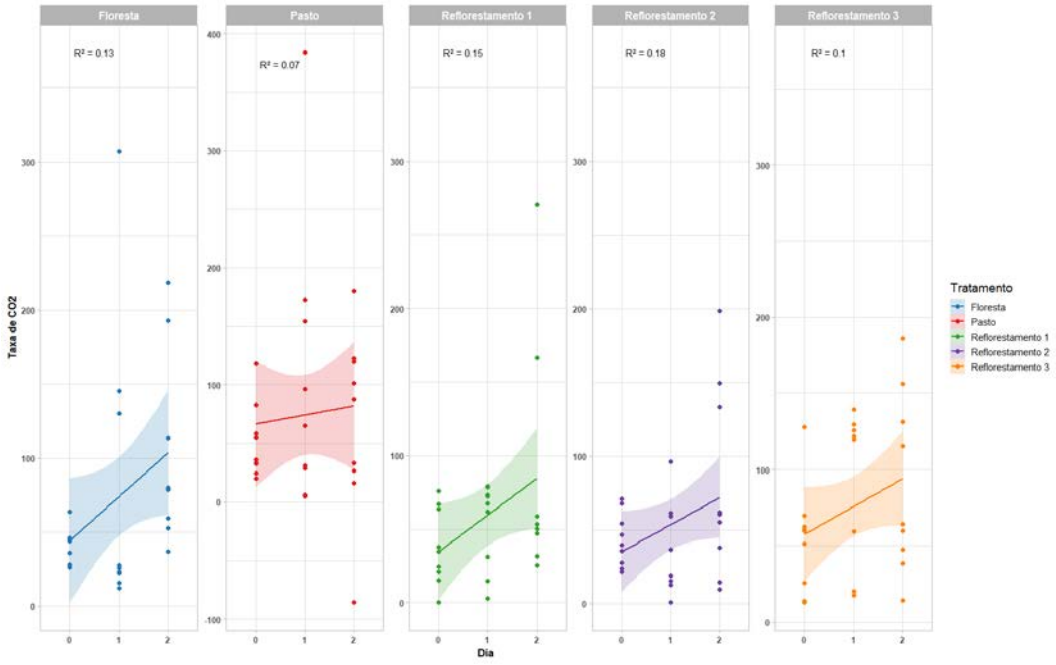


Figura 22 – Boxplot das taxas de produção de dióxido de carbono (CO_2 nmol) nos diferentes tratamentos amostrais por dia de incubação. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

4.5. Material Particulado

4.5.1. Estimativa de Escoamento superficial

Os resultados da estimativa do escoamento superficial entre os tratamentos mostraram diferenças estatisticamente significativas entre pelo menos dois dos grupos

analisados. Os tratamentos de **Restauração 1** e **Restauração 2** apresentaram os maiores valores de escoamento superficial em relação aos demais tratamentos. A **Floresta** e o **Restauração 3** exibiram os menores valores. O **Pasto**, por sua vez, apresentou valores intermediários, sem diferenças significativas em relação à Floresta, mas distinguindo-se do Restauração 1.

Para melhor visualização dos resultados as **Tabelas 8, 9 e 10** a presentam os valores obtidos pelos testes estativos aplicados e a **Figura 25** ilustra os resultados de escoamento superficial obtidos.

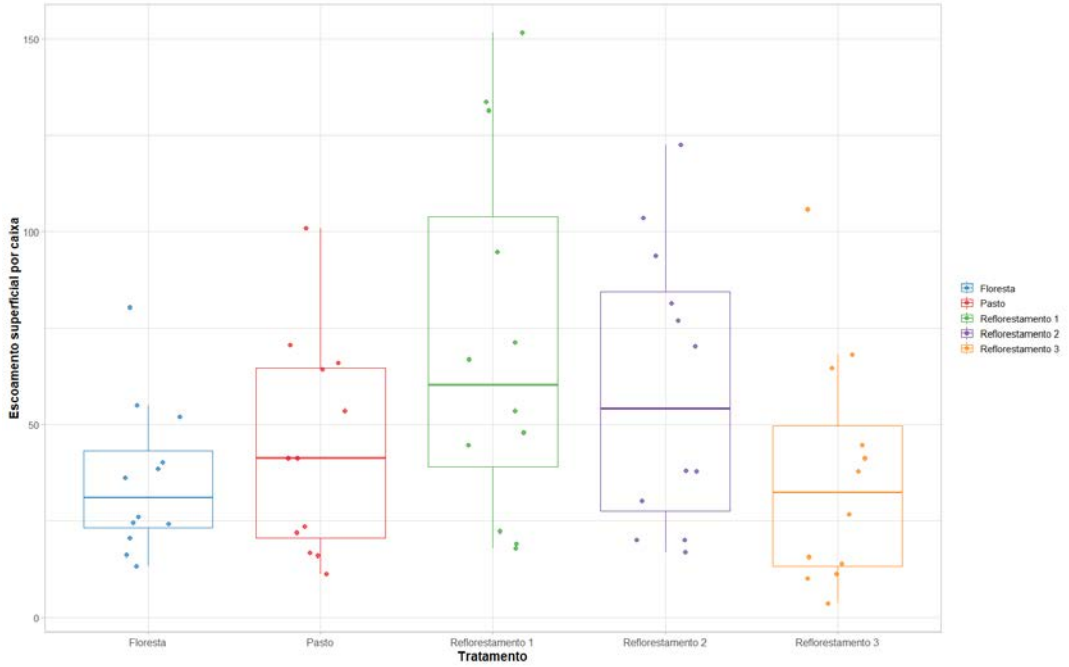


Figura 23 - Distribuição do escoamento superficial entre os tratamentos amostrais. O gráfico apresenta a variabilidade do escoamento em Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O Restauração 1 apresenta maior variabilidade, enquanto a Floresta exibe menor amplitude e valores reduzidos de escoamento superficial. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 8 - A tabela apresenta os resultados do escoamento superficial. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os grupos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 23,1478, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001 (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05.

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	3377	91.28	-0.912
Pasto	5605	127.38	3.747
Restauração 2	4507	112.67	1.698
Restauração 1	3187.	79.68	-2.399
Restauração 3	2826	78.5	-2.386

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
23.1478	4	0.0001*

Tabela 9 - A tabela apresenta os resultados do escoamento superficial das comparações não paramétricas entre pares de grupos Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Restauração1	- Floresta	3.71	0.0002*
Restauração1	- Pasto	2.96	0.0030*
Restauração2	- Floresta	2.52	0.0115*
Restauração2	- Pasto	1.77	0.0754
Pasto	- Floresta	1.08	0.2766
Restauração3	- Floresta	0.11	0.9047
Restauração3	- Pasto	-1.04	0.2950
Restauração2	- Restauração1	-1.20	0.2275
Restauração3	- Restauração2	-2.54	0.0109*
Restauração3	- Restauração1	-3.73	0.0002*

Tabela 10 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados do escoamento superficial.

Nível			
Floresta	A		
Pasto	A	B	
Restauração 1			C
Restauração 2		B	C
Restauração 3	A		

4.5.2. Material Particulado Total

A análise da variável Material Particulado Total (MPT) encontrado por caixa revelou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. As comparações entre pares realizadas pelo método de Wilcoxon demonstraram que os grupos de Restauração (Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) apresentaram valores significativamente maiores do que os grupos Floresta e que do Pasto. Entre os grupos de restauração o **Restauração 1** apresentou os maiores valores médios, seguido de **Restauração 2** e, por fim, **Restauração 3**. A **Floresta** exibiu os menores valores médios. O Pasto apresentando valores intermediários, ou seja, resultados significativamente maiores que a Floresta, mas menores que os grupos de Restauração. As **Figuras 26 e 27** e **Tabelas 11, 12 e 13** abaixo ilustram as diferenças de MPT entre os tratamentos avaliados.

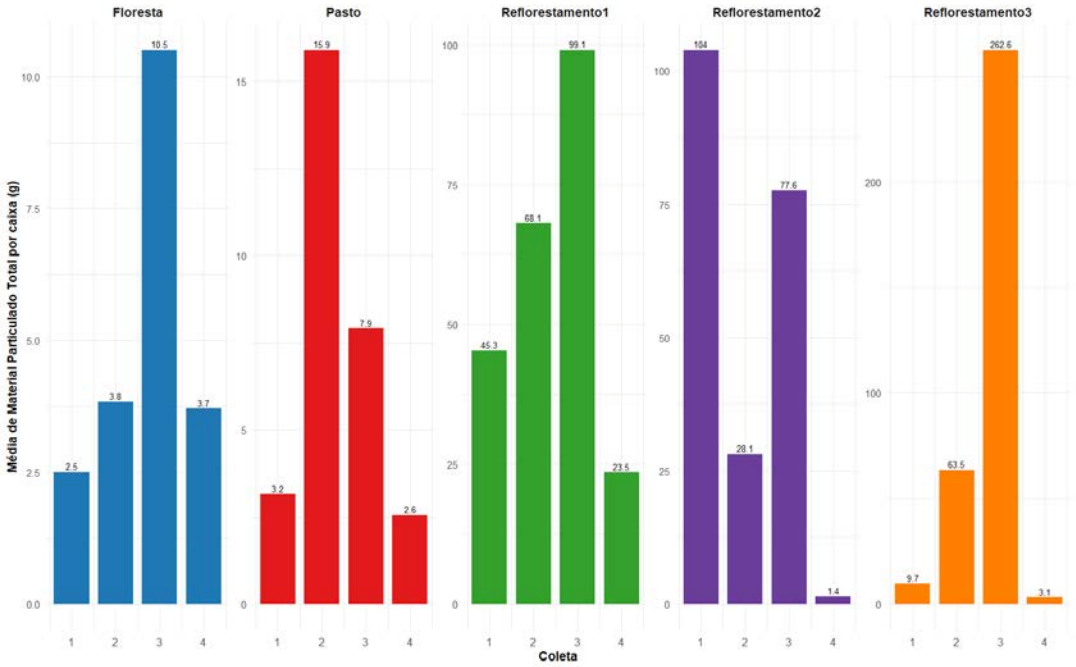


Figura 24 - Média do Material Particulado Total encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

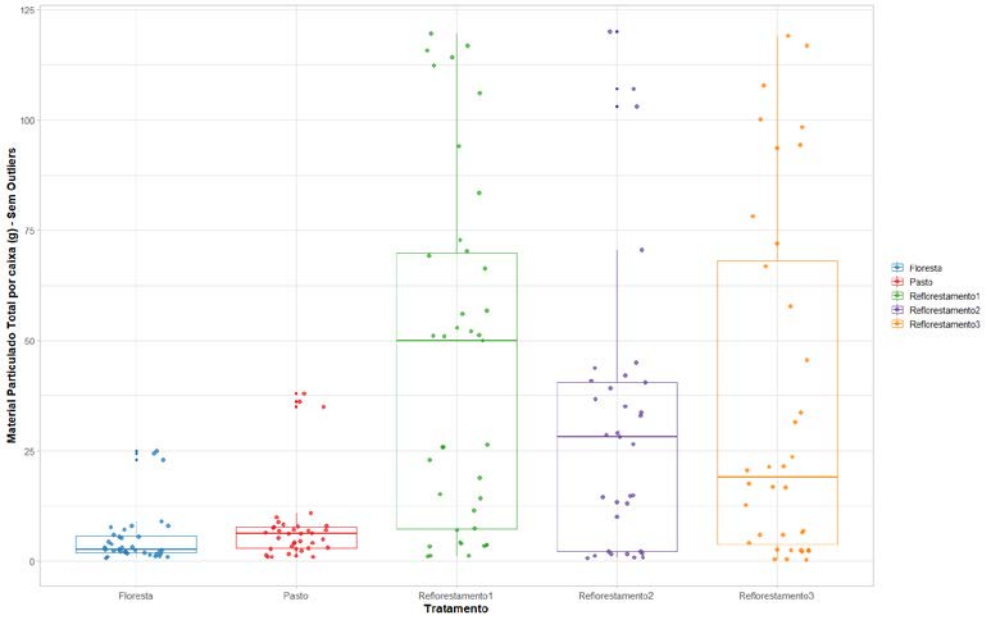


Figura 25 - Boxplot do material particulado total entre os tratamentos amostrais. Os tratamentos avaliados incluem Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. A Floresta e o Pasto apresentam os menores valores de material particulado total, indicando menor transporte de sedimentos. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 11 - A tabela apresenta os resultados de MPT. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 51.5309, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0001* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	2610	70.541	-3.368

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Pasto	5662	128.682	3.917
Restauração2	4740	118.500	2.422
Restauração1	4564	114.100	1.875
Restauração3	1927	53.528	-5.292

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
51.5309	4	0.0001*

Tabela 12 - A tabela apresenta os resultados de MPT das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Restauração1	- Floresta	5.68	<.0001*
Restauração1	- Pasto	4.91	<.0001*
Restauração2	- Floresta	4.50	<.0001*
Restauração2	- Pasto	4.37	<.0001*
Pasto	- Floresta	4.07	<.0001*
Restauração3	- Floresta	3.33	0.0008*
Restauração3	- Pasto	2.13	0.0328*
Restauração2	- Restauração1	-0.29	0.7691
Restauração3	- Restauração2	-0.75	0.4492
Restauração3	- Restauração1	-1.01	0.3094

Tabela 13 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados de MPT.

Nível	
Floresta	A
Pasto	B
Restauração 1	C
Restauração 2	C
Restauração 3	C

4.6. Nutrientes

4.6.1. Carbono orgânico Total (COT)

As análises de COT indicaram diferenças estatisticamente significativas entre pelo menos dois tratamentos analisados. As comparações pareadas e relatório de letras indicam que o **Pasto** apresentou concentrações médias de COT significativamente menores que a **Floresta** e os tratamentos de **Restauração.** A **Floresta**, por outro lado, destacou-se como o grupo com as maiores concentrações médias de COT. A **Restauração 3**, embora no Grupo C, apresentou semelhanças com o pasto e devido aos valores inferiores a Floresta. Entres os tratamentos de restauração não foi observada diferenças significativas. Os tratamentos de **Restauração** apresentam um leve gradiente, onde a **Restauração 1** apresenta os maiores valores médios, a **Restauração 2** ocupa uma posição intermediária

e a **Restauração 3** tem os menores valores médios. A diferença entre o tratamento de **Restauração 1 e Restauração 3** foi estatisticamente significativa.

Os **Figuras 28 e 29** e **Tabelas 14, 15 e 16** abaixo ilustram os resultados de COT entre os tratamentos avaliados.

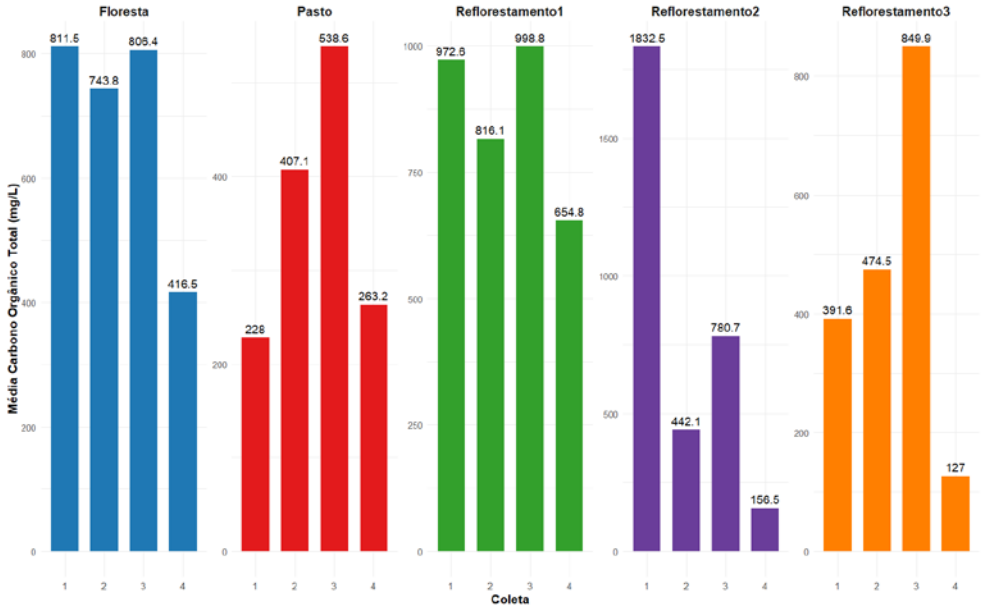


Figura 26 - Média do Carbono Orgânico Total (COT) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

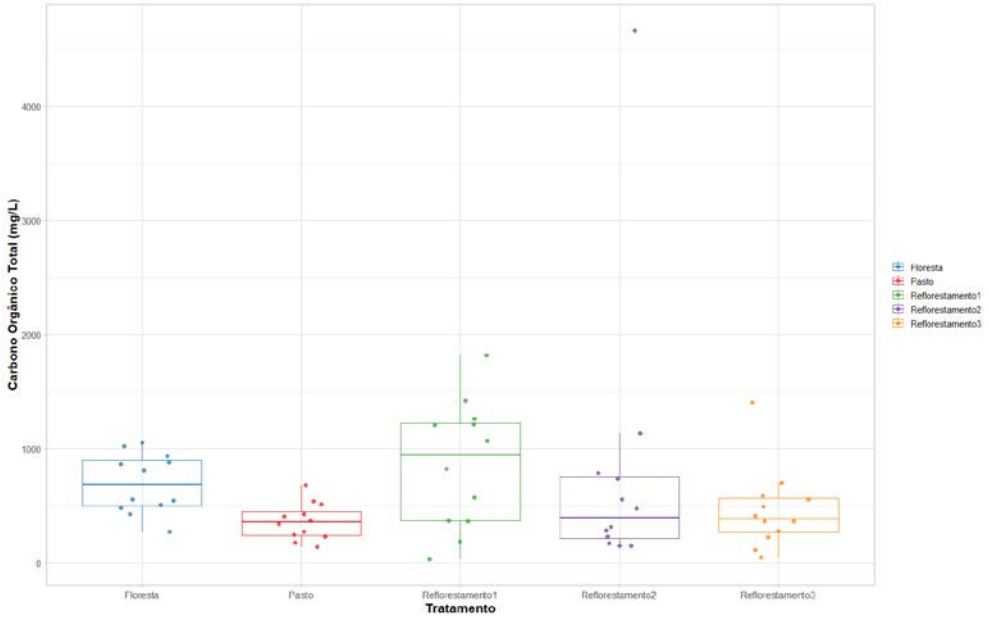


Figura 27 **-** Concentração de carbono orgânico total (COT) entre os diferentes tratamentos amostrais (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3)**.** *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 14 - A tabela apresenta os resultados de COT. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	254	21.1667	-2.061
Pasto	474	39.5000	1.987
Restauração 2	331	27.5833	-0.638
Restauração 1	306	25.5000	-1.100
Restauração 3	465	38.7500	1.820
ChiSquare	**DF**	**Prob>ChiSq**	
10.6104	4	0.0313*	

Tabela 15 - A tabela apresenta os resultados de COT das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Restauração1	- Floresta	2.16	0.03*
Restauração1	- Pasto	0.83	0.40
Restauração2	- Floresta	0.60	0.54
Restauração2	- Pasto	0.54	0.58
Pasto	- Floresta	-0.31	0.75
Restauração3	- Floresta	-1.47	0.14
Restauração3	- Pasto	-1.47	0.14
Restauração2	- Restauração1	-1.64	0.09
Restauração3	- Restauração2	-1.99	0.04*
Restauração3	- Restauração1	-3.03	0.002*

Tabela 16 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resultados de COT.

Nível			
Floresta	A		
Pasto		B	
Restauração 1	A		C
Restauração 2	A	B	C
Restauração 3		B	C

4.6.2. Carbono Orgânico Particulado (COP)

Os resultados de COP indicaram que há diferenças significativa entre os grupos. As comparações entre pares indicaram que o Pasto teve os menores níveis de COP. A floresta apresentou níveis intermediários. No entanto, sem diferenças significativas em relação ao Pasto. Restauração 1 se destacou como o grupo com os maiores níveis de COP, a Restauração 2 teve níveis de COP superiores à Floresta, mas não diferiu do Pasto ou dos outros tratamentos de Restauração e a Restauração 3, apesar de estar no Grupo C, não apresentou diferenças significativas em relação ao Pasto ou à Floresta. As **Figuras 30 e**

31 e as **Tabelas 17, 18 e 19** abaixo ilustram os resultados de COP entre os tratamentos avaliados.

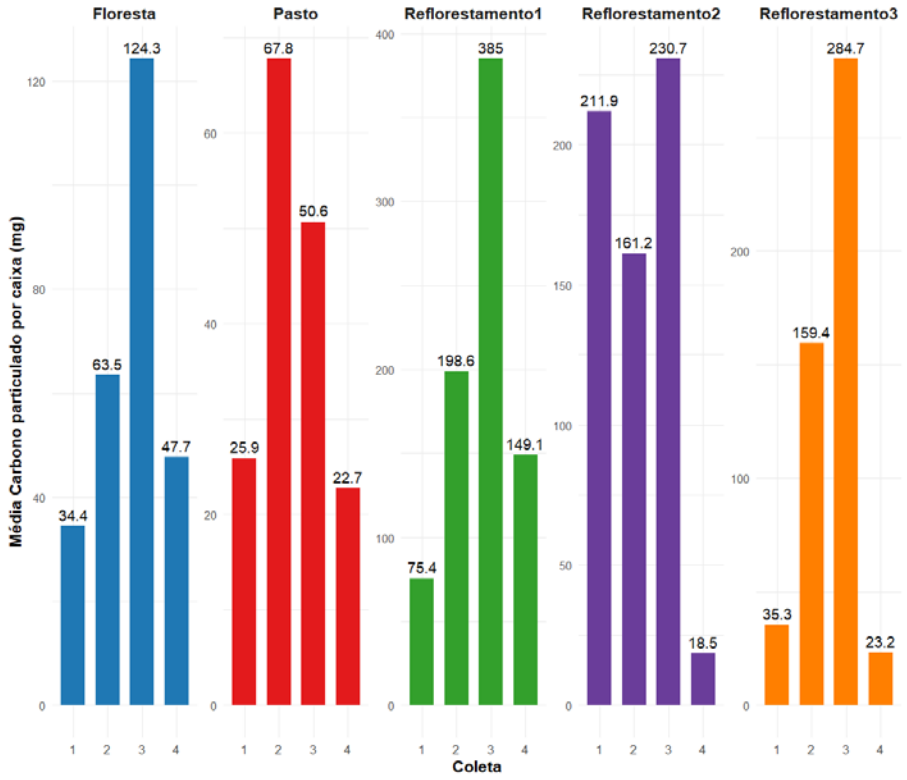


Figura 28 - Média do Carbono Orgânico Particulado (COP) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

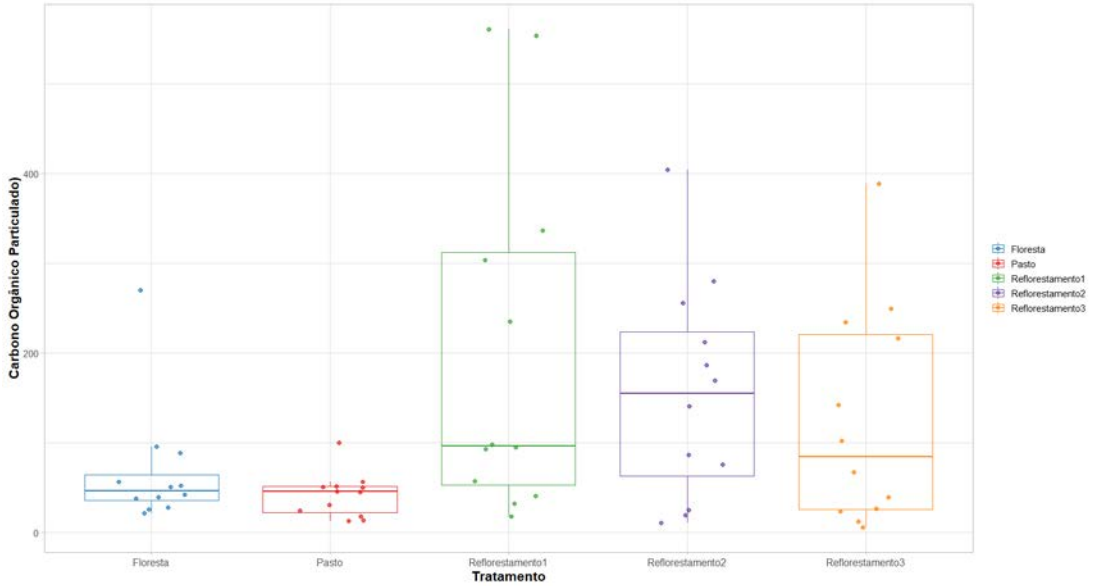


Figura 29 - Distribuição das concentrações de COP nos tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O Restauração 1 apresenta a maior variabilidade nas concentrações, enquanto o Pasto exibe valores médios mais baixos e menor amplitude. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 17 - A tabela apresenta os resultados de COP. O teste estatístico de Kruskal-Wallis comparou os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	242.000	20.1667	-2.282
Pasto	471.000	39.2500	1.931
Restauração 2	436.000	36.3333	1.284
Restauração 1	372.000	31.0000	0.102
Restauração 3	309.000	25.7500	-1.044

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
9.4497	4	0.0508

Tabela 18 - A tabela apresenta os resultados de COP das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Restauração1	- Floresta	2.511	0.0120*
Restauração1	- Pasto	2.33	0.0194*
Restauração2	- Floresta	1.99	0.0464*
Restauração2	- Pasto	1.47	0.1410
Pasto	- Floresta	1.29	0.1939
Restauração3	- Floresta	0.66	0.5067
Restauração3	- Pasto	-0.43	0.6650
Restauração2	- Restauração1	-0.60	0.5444
Restauração3	- Restauração2	-0.89	0.3708
Restauração3	- Restauração1	-1.01	0.3123

Tabela 19 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades nos resultados de COP.

Nível			
Floresta	A	B	
Pasto	A		
Restauração 1			C
Restauração 2		B	C
Restauração 3	A	B	C

4.6.3. Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

Os resultados indicam diferenças significativas de concentrações de COD entre os tratamentos analisados. As comparações pareadas apresentam o tratamento da Floresta teve os maiores níveis de COD. O Pasto por sua apresentou os menores valores para COD, no entanto seus valores deram similares os tratamentos de Restauração 2 e 3. Dentre os tratamentos de restauração, a Restauração 1 Apresentou os maiores níveis de COD, a Restauração 2 ficou em uma posição intermediária e a Restauração 3 apresentou os

menores níveis de COD. As **Figuras 31 e 32** e as **Tabelas 20, 21 e 22** apresentam os resultados de Carbono Orgânico Particulado (COP) entre os tratamentos avaliados.

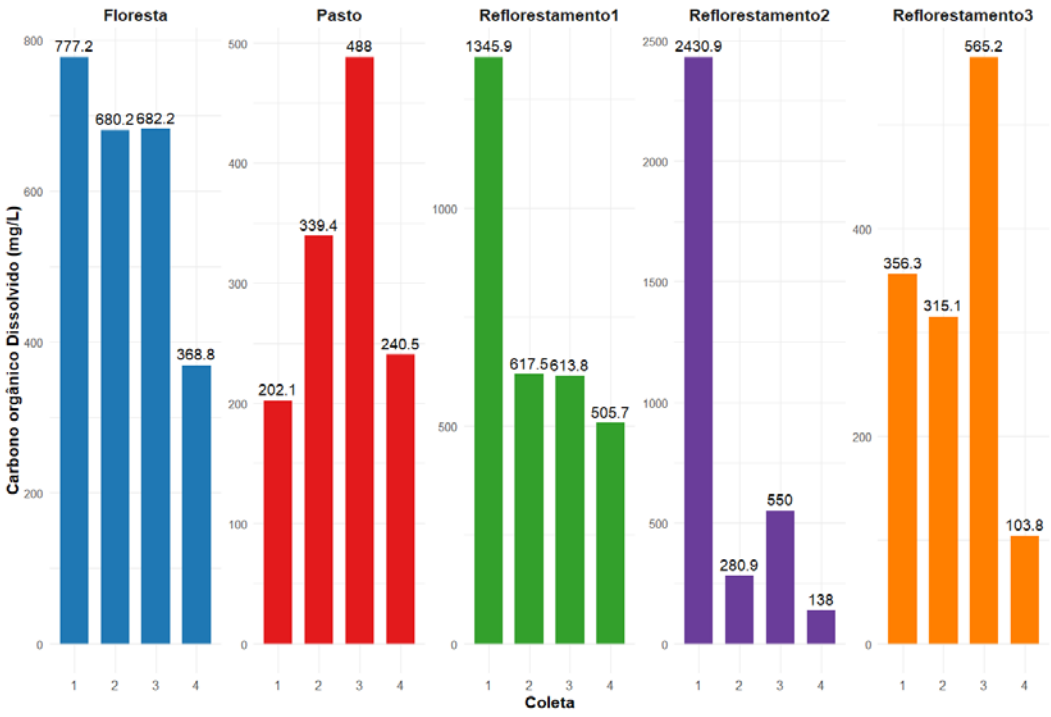


Figura 30 - Média do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

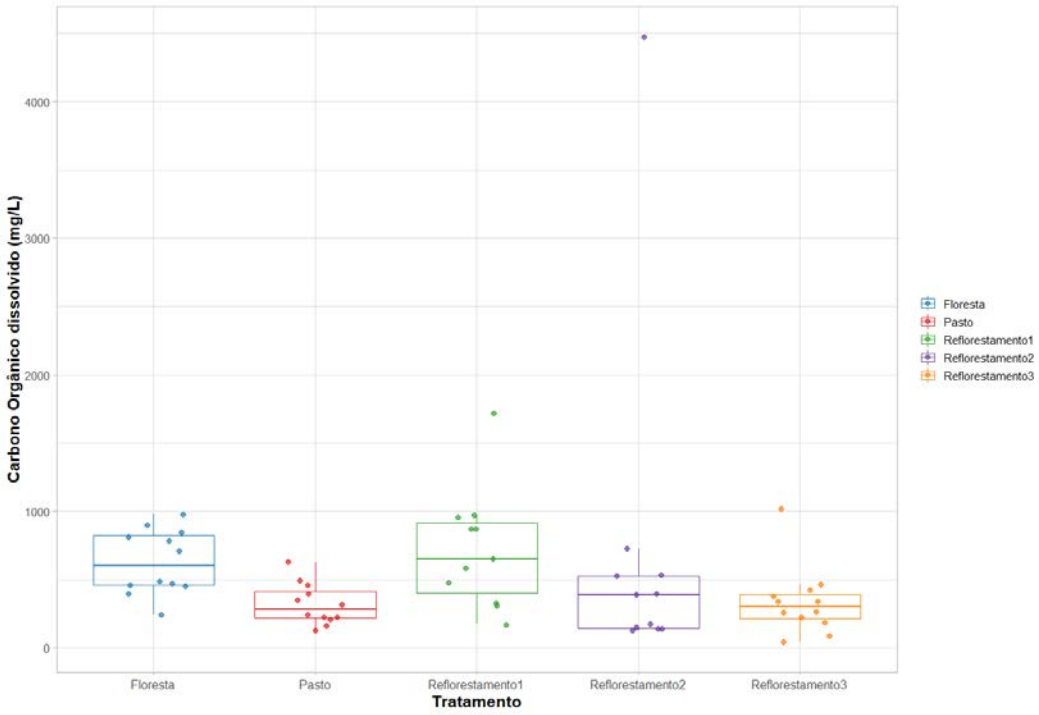


Figura 31 - Concentração de carbono orgânico dissolvido (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 20 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 15.0130, com 4 graus de liberdade (DF), p = <0.00047* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Soma Esperada dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Restauração 3	481.000	354.000	40.0833	2.428
Floresta	259.000	354.000	21.5833	-1.814
Pasto	439.000	324.500	39.9091	2.261
Restauração 2	273.000	324.500	24.8182	-1.012
Restauração 1	259.000	354.000	21.5833	-1.814

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
15.0130	4	0.00047*

Tabela 21 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

q*	Alpha
1.95996	0.05

Nível	- Nível	Diferença Média das Posiçõess	Erro Padrão da Diferença	Z Value	p Value	H-L
Restauração1	- Floresta	7.23106	2.831104	2.55415	0.0106*	361.787
Restauração1	- Pasto	1.13258	2.831104	0.40005	0.6891	58.374
Restauração2	- Floresta	0.43561	2.831104	0.15386	0.8777	14.227
Restauração2	- Pasto	-0.25000	2.886751	-0.08660	0.9310	-4.751
Pasto	- Floresta	-1.13258	2.831104	-0.40005	0.6891	-55.561
Restauração3	- Floresta	-5.09091	2.768875	-1.83862	0.0660	-304.155
Restauração3	- Pasto	-5.66288	2.831104	-2.00024	0.0455*	-291.321

q*	Alpha					
Restauração2	- Restauração1	-6.35985	2.831104	-2.24642	0.0247*	-387.337
Restauração3	- Restauração2	-8.08333	2.886751	-2.80015	0.0051*	-323.306
Restauração3	- Restauração1	-8.58333	2.886751	-2.97335	0.0029*	-292.159

Tabela 22 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades.

Nível			
Floresta	A		
Pasto		B	
Restauração 1	A		C
Restauração 2		B	C
Restauração 3		B	

4.6.4. Nitrogênio total (TN)

Os resultados apresentados para os dados de TN revelaram que não há diferenças significativas entre os grupos (p = 0,2439). O relatório de letras conectadas corrobora que **nenhum grupo se diferencia estatisticamente dos demais**. Portanto, todos os tratamentos (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) foram agrupados sob letra "A". As comparações realizadas pelo método de Dunn corroboraram os resultados gerais, não identificando diferenças significativas entre os grupos.

Embora as diferenças não tiveram resultados estatisticamente significativos, algumas tendências marginais foram percebidas. De modo geral, o Pasto apresentou as menores concentrações médias de TN, já a Floresta apresentou os maiores e mais constantes valores de TN. A Restauração 1 e Restauração 2 apresentaram concentrações de TN maiores que o Pasto. A **Figura 34 e 35** e as **Tabelas 23, 24 e 25** apresentam os resultados de TN entre os tratamentos avaliados.

Tabela 23 - A tabela apresenta os resultados de TN. Os testes estatísticos de Kruskal-Wallis comparou os grupos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	430	35.83	1.174
Pasto	267	22.25	-1.820
Reflorestamento1	435	36.25	1.266
Reflorestamento2	368	30.66	0.028
Reflorestamento3	330	27.50	-0.656

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
5.4530	4	0.2439

Tabela 24 - A tabela apresenta os resultados de TN das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Reflorestamento1	Pasto	1.76	0.07
Reflorestamento2	Pasto	1.41	0.15
Reflorestamento3	Pasto	0.60	0.54
Reflorestamento1	Floresta	0.43	0.66
Reflorestamento3	Reflorestamento2	-0.37	0.70
Reflorestamento2	Reflorestamento1	-0.49	0.62
Reflorestamento3	Floresta	-1.06	0.28
Reflorestamento2	Floresta	-1.18	0.23
Reflorestamento3	Reflorestamento1	-1.18	0.23
Pasto	Floresta	-1.81	0.06

Tabela 25 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades dos resulrados de TN.

Nível	
Floresta	A
Pasto	A
Restauração 1	A
Restauração 2	A
Restauração 3	A

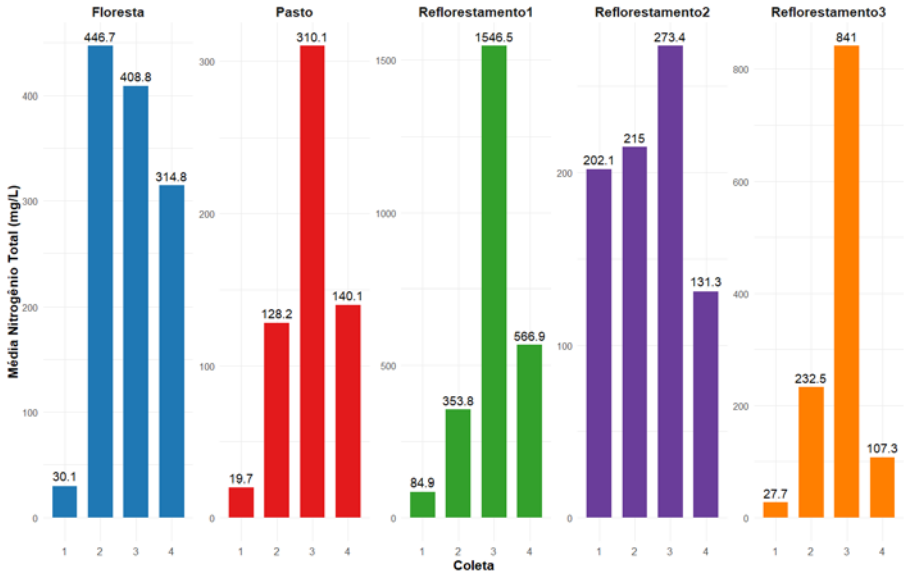


Figura 32 - Média do TN encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

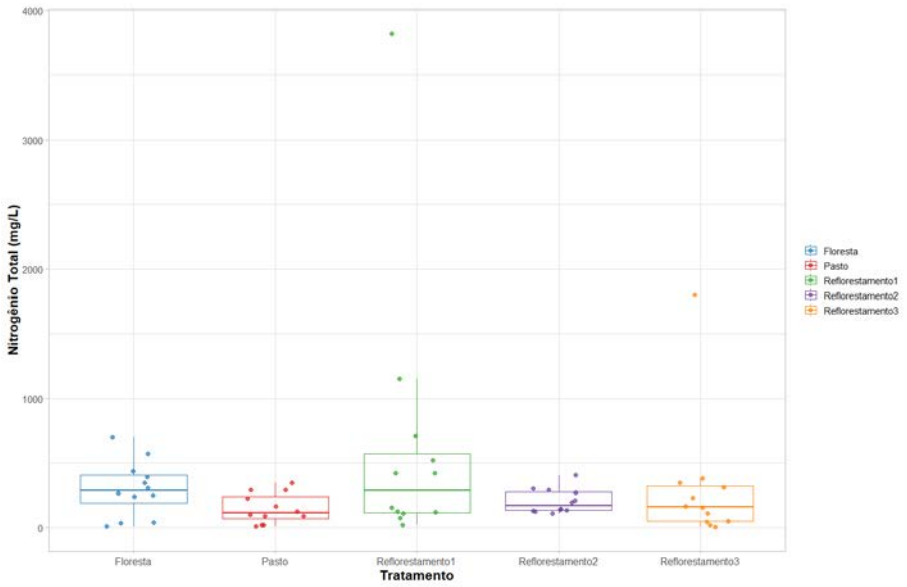


Figura 33 **-** Concentração de TN (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

4.6.5. Fósforo Total (TP)

Os resultados da análise TP indicam que, de acordo com o teste de Kruskal-Wallis, há uma diferença marginalmente significativa entre os grupos (p = 0,0539). O relatório de letras conectadas reflete essas diferenças. O **Reflorestamento 1** é o único grupo diferenciado estatisticamente, sendo classificado como "B", enquanto os demais tratamentos (Floresta, Pasto, Reflorestamento 2 e Reflorestamento 3) compartilham a letra "A". Isso significa que o **Reflorestamento 1** teve as concentrações de TP mais altas

entre os grupos analisados. Embora algumas comparações mostrem diferenças, não há uma separação global clara entre os tratamentos, sugerindo que as diferenças observadas podem ser sutis. A **Figura 36 e 37** e as **Tabelas 26, 27 e 28** apresentam os resultados de TP entre os tratamentos avaliados.

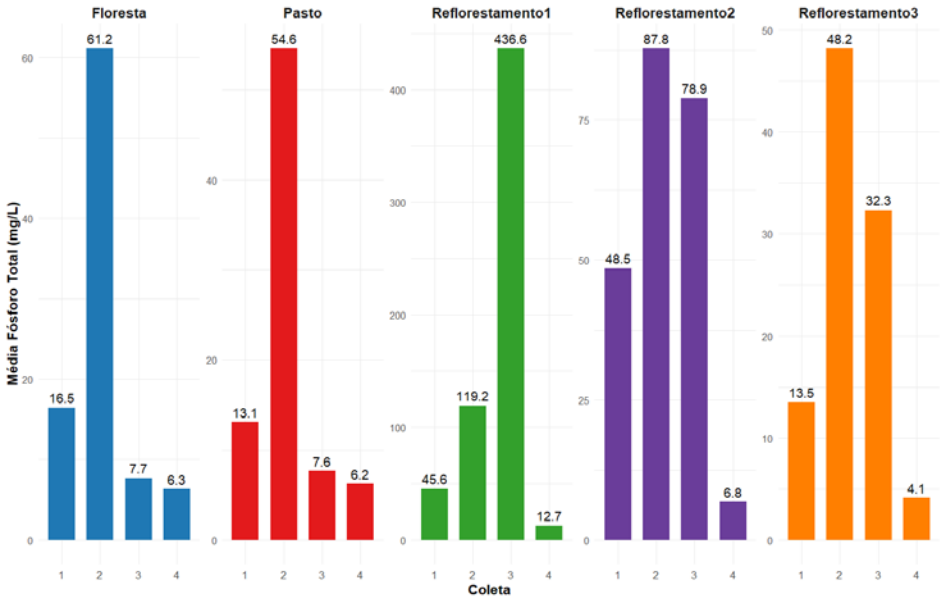


Figura 34 - Média TP encontrado por caixa para diferentes tratamentos: **Floresta**, **Pasto**, **Reflorestamento 1**, **Reflorestamento 2** e **Reflorestamento 3**, ao longo de quatro coletas. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

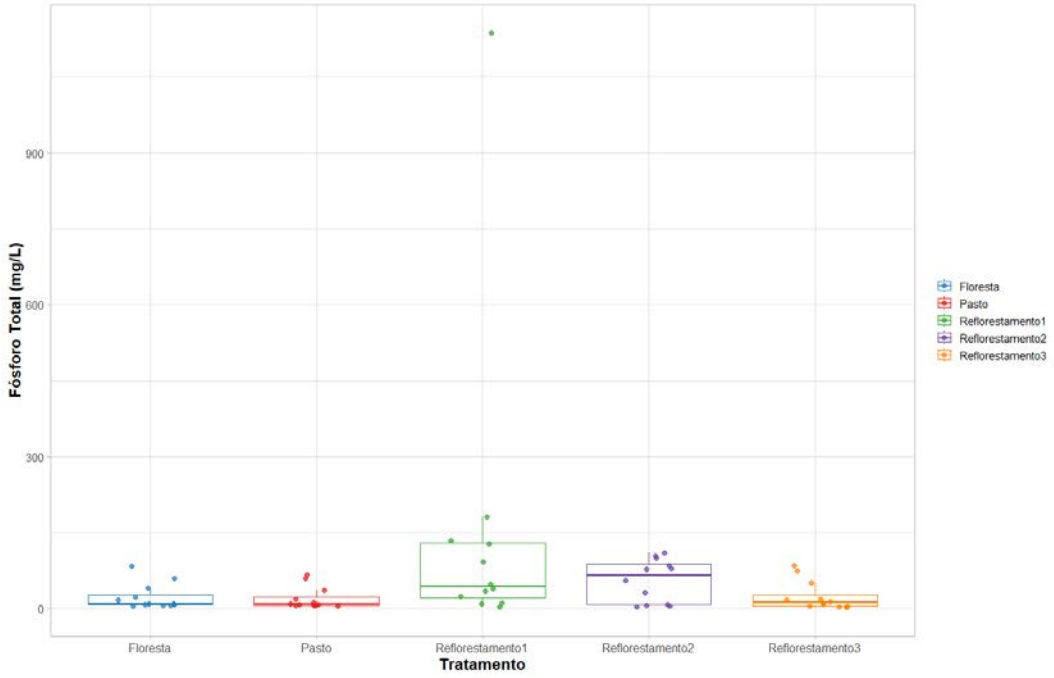


Figura 35 - Concentração TP (mg/L) em diferentes tratamentos amostrais: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. *Fonte: Elaborado pelo autor (2024).*

Tabela 26 - A tabela apresenta os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis para comparar os tratamentos: Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3. O valor de ChiSquare foi de 10.6104, com 4 graus de liberdade (DF), p = 0.0313* (Prob>ChiSq). O nível de significância adotado de p < 0.05

Nível	Soma dos Ranks	Média dos Ranks	Desvio Padrão
Floresta	308.	25.66	-1.063
Pasto	295	24.58	-1.303
Reflorestamento1	493	41.08	2.338
Reflorestamento2	436	36.33	1.284
Reflorestamento3	298	24.83	-1.247

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
9.3055	4	0.0539

Tabela 27 - A tabela apresenta os resultados das comparações não paramétricas entre pares de grupos, utilizando o método de Wilcoxon.

Nível	- Nível	Z - Value	P - Value
Reflorestamento1	Floresta	2.22	0.02*
Reflorestamento1	Pasto	2.22	0.02*
Reflorestamento2	Pasto	1.58	0.11
Reflorestamento2	Floresta	1.41	0.15
Reflorestamento3	Pasto	0.028	0.97
Pasto	Floresta	-0.14	0.88
Reflorestamento3	Floresta	-0.14	0.88
Reflorestamento2	Reflorestamento1	-0.72	0.47
Reflorestamento3	Reflorestamento2	-1.70	0.08
Reflorestamento3	Reflorestamento1	-2.04	0.04*

Tabela 28 - A tabela apresenta o relatório de letras conectadas, que agrupa os níveis analisados (Floresta, Pasto, Restauração 1, Restauração 2 e Restauração 3) em categorias estatísticas baseadas em similaridades.

Nível		
Floresta	A	
Pasto	A	
Restauração 1		B
Restauração 2		B
Restauração 3	A	

5. Discussão

Os resultados deste estudo mostram que o uso e a cobertura do solo impactam significativamente os fluxos de nutrientes, com destaque para carbono e fósforo, além de influenciar o transporte de matéria e energia. A modulação dos ciclos e fluxos têm implicações diretas para a conservação, restauração ecológica e manejo sustentável dos ecossistemas.

Os tratamentos de Restauração 1 e Restauração 2 apresentaram os maiores valores de transporte de sedimentos (MP) e escoamento superficial quando comparado ao tratamento da Floresta e Pasto. Esse resultado corrobora a Hipótese A, pois o revolvimento do solo, ou seja, manejo para implementação das áreas de restauração, podem, ao primeiro momento, intensificar a erosão e o fluxo de nutrientes, ainda mais considerando áreas com declive acentuado, como as áreas desse trabalho (citar os dados de declividade e a referência sobre declividade). O aumento na perda de sedimentos está associado ao uso de práticas de aragem e sulcagem, que, embora necessárias para a implantação inicial da restauração pelo plantio de mudas, aumentam temporariamente a vulnerabilidade do solo à erosão. Estudos indicam que os estágios iniciais de restauração florestal podem apresentar efeitos adversos na hidrologia local, como o aumento do escoamento superficial e do transporte de sedimentos, especialmente em áreas manejadas com práticas de revolvimento intensivo do solo (BONNESOEUR et al., 2019; LOZANO-BAEZ et al., 2019).

Nos estágios iniciais de restauração ativa, como o modelo implementado pelo projeto *BEF-Atlantic*, práticas de manejo intensivo, como aragem e sulcagem do solo, podem gerar efeitos colaterais, incluindo aumento no carreamento de sedimentos e no escoamento superficial. Embora temporários, esses impactos são compensados com os benefícios provisionados pela restauração florestal ao longo do tempo. Portanto, se torna destaque a necessidade a realização e mais estudos e a adoção de estratégias adaptativas para mitigar os efeitos adversos nas fases iniciais da restauração florestal (JONES et al., 2022; ZHANG; WEI, 2021).

A Floresta e o tratamento Restauração 1 apresentaram maior retenção de carbono, enquanto o Pasto demonstrou menor capacidade de retenção. Embora diferenças tenham sido identificadas entre os tratamentos de restauração, como no caso do Restauração 1, os dados indicam que práticas de manejo adequadas podem acelerar a estabilização e o restabelecimento da funcionalidade dos ecossistemas restaurados. No entanto, o

transporte de sedimentos e nutrientes em áreas de restauração ativa permanece como um desafio a ser enfrentado.

As análises de carbono orgânico total (COT) mostraram que a camada superficial do solo da Floresta apresenta maiores concentrações de carbono total. Além disso, a Floresta também apresentou maiores valores de carbono orgânico dissolvido (COD) e particulado (COP), advindo dos detritos da floresta. A literatura destaca que as florestas nativas maduras e antigas apresentam elevada interceptação, evaporação e transpiração relevantes, alta capacidade de infiltração e percolação de água no solo (JONES et al., 2022) . Esses atributos fornecidos pela manutenção da floresta em pé contribuem para moderar e modular os picos de fluxo do escoamento superficial durante eventos extremos de precipitação e para a manutenção de fluxos reduzidos em períodos de estiagem (GROPPO et al., 2015; JONES et al., 2022).

Ademais, serrapilheira nas áreas de florestas, rica em matéria orgânica, contribui com maior quantidade de material particulado de origem orgânica no escoamento superficial, minimizando o fluxo de sedimentos inorgânicos para os corpos aquáticos adjacentes (CHAPIN III et. al., 2011), em acordo com nossos resultados .

O uso de práticas como plantio direto, cobertura vegetal temporária e manejo adaptativo das áreas em restauração pode minimizar os impactos adversos e acelerar a recuperação funcional dos ecossistemas (BONNESOEUR et al., 2019). Portanto, considerando as atuais condições climatológicas, que resultam em precipitação de elevados volumes de água em curto espaço de tempo, faz-se necessário buscar técnicas de reflorestamento e restauração que minimizem a intensidade de intervenções no solo, para prevenir o efeito negativo inicial no carreamento de sedimentos. Essas medidas podem prevenir o empobrecimento dos solos e a degradação dos corpos aquáticos adjacentes.

Esses impactos temporários do manejo do solo, contrastam com os benefícios hidrológicos observados em florestas maduras, que apresentam maior capacidade de interceptação de dossel, evapotranspiração e armazenamento de água em solos profundos, contribuindo para a moderação dos fluxos durante eventos extremos de precipitação (JONES et al., 2022; ZHANG; WEI, 2021). A capacidade das florestas em recuperação de melhorar a infiltração em solos degradados também está relacionada a fatores como a camada de serapilheira, o tipo de solo e as características geológicas da área (BATHURST et al., 2018; BRUIJNZEEL, 2004; MURPHY et al., 2021).

A restauração florestal tem sido implementada com o objetivo de melhorar os serviços ecossistêmicos regulatórios, incluindo o controle de erosão e o fornecimento de água (DE JONG; LIU; LONG, 2021; PEI et al., 2022). Em bacias hidrográficas, os fragmentos florestais gerenciados desempenham um papel crucial na regulação da quantidade e qualidade da água, especialmente em regiões onde a degradação do solo compromete os serviços hídricos (JONES et al., 2022; ZHANG; WEI, 2021). Apesar disso, a influência da restauração florestal na hidrologia ainda é pouco compreendida, particularmente no que se refere aos impactos de longo prazo das práticas de manejo sobre os serviços ecossistêmicos relacionados à água (LIU et al., 2021, 2020).

As florestas desempenham um papel fundamental na segurança alimentar e hídrica, além de impulsionarem o emprego rural e protegerem a biodiversidade (FAO, 2024). O desmatamento e a degradação florestal prejudicam a prestação de serviços ecossistêmicos oriundos dos sistemas florestais, ou serviços ecossistêmicos florestais, e essas são as principais causas da perda de biodiversidade (CHAZDON et al., 2024). Dada a sua importância na provisão desses serviços e na preservação da biodiversidade, a restauração florestal é reconhecida como uma estratégia chave para atingir as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas por organizações internacionais, governos e pela sociedade civil.

Estudos realizados em diferentes tipos de florestas e climas mostram que, nos estágios iniciais da restauração florestal, há menor interceptação, transpiração e evapotranspiração, mas a capacidade de infiltração e armazenamento de água em solos superficiais é maior. Esse padrão, entretanto, aumenta os fluxos de água durante tempestades extremas. Por outro lado, plantações florestais manejadas apresentaram maior evapotranspiração, devido à maior interceptação e transpiração, além de menor infiltração, percolação e armazenamento de água tanto em solos superficiais quanto profundos (HOU et al., 2022).

Em síntese, a restauração florestal exerce diversos impactos na hidrologia (JONES et al., 2022). As áreas de plantação para fins de restauração florestal, embora capazes de fornecer serviços ecossistêmicos importantes em médio e longo prazo, apresentam desempenho hidrológico inferior ao das florestas nativas (CREED et al., 2011; MURPHY et al., 2021). Contudo, o desempenho das áreas de restauração é superior ao das áreas agrícolas, especialmente em relação às funções hidrológicas (ELLISON et al., 2017). Vale ressaltar que, por se tratar de um sistema em transição a provisão de serviços ecossistêmicos nos estágios iniciais nas áreas de restauração florestal dependem

significativamente das escolhas relacionadas aos sistemas de manejo adotados (CHAZDON et al., 2024; JONES et al., 2023).

Os fluxos de escoamento superficial e no material particulado analisados entre os tratamentos revelou que, as florestas maduras proporcionam maior estabilidade, as áreas de reflorestamento ainda em recuperação apresentam maior variabilidade, característica de sistemas em transição. Esses achados corroboram as hipóteses do estudo, confirmando que as florestas oferecem maior estabilidade na lixiviação de nutrientes, enquanto as áreas de restauração ativa, como as de reflorestamento, enfrentam desafios iniciais mais significativos devido à estruturação do solo que ainda está em processo.

A crescente pressão antropogênica sobre os ecossistemas exige uma gestão sustentável do solo e de seus recursos. A restauração florestal tem o potencial de proporcionar benefícios ambientais duradouros, como a melhoria da infiltração de água e a retenção de nutrientes no solo, promovendo a recuperação e resiliência dos serviços ecossistêmicos. Esses processos são essenciais não apenas para restaurar a função ecológica das áreas degradadas, mas também para mitigar os impactos das mudanças climáticas e a perda de biodiversidade. Dessa forma, a expansão de áreas reflorestadas pode desempenhar um papel fundamental na conservação da segurança hídrica, no combate à erosão e na recuperação da biodiversidade, especialmente em regiões tropicais que enfrentam desafios significativos relacionados ao uso do solo e às mudanças climáticas.

Embora existam revisões abrangentes sobre os impactos das mudanças climáticas em ecossistemas aquáticos, a investigação acerca dos feedbacks morfológicos e hidrológicos em regiões tropicais ainda é limitada (KAYITESI; GUZHA; MARIETHOZ, 2022). Nesse contexto, a compreensão das inter-relações entre o uso e a cobertura do Solo (UCT) e a qualidade da água é fundamental para o aprimoramento de estratégias de gestão das bacias hidrográficas (UUEMAA; ROOSAARE; MANDER, 2005; WAN et al., 2014). Portanto, a conservação, restauração e o manejo sustentável de áreas florestais e bacias hidrográficas são essenciais para mitigar os impactos negativos sobre os serviços ecossistêmicos, além de garantir a segurança hídrica e alimentar das populações. Essas ações são fundamentais para promover a recuperação funcional e a conservação dos serviços ecossistêmicos em ecossistemas tropicais.

Relação entre Biodiversidade e Atividade Biológica

Os resultados do experimento de respiração bacteriana revelaram que áreas com de floresta, apresentaram taxas mais elevadas de produção de dióxido de carbono (CO_2), corroborando a Hipótese B. Observou-se também que a restauração ativa resultou em um aumento gradual na respiração bacteriana, evidenciando o restabelecimento da dinâmica biológica e da funcionalidade ecossistêmica do solo, que havia sido anteriormente degradado pelo histórico de uso e manejo. Os resultados ressaltam a importância da biodiversidade do solo para a manutenção das funções ecossistêmicas, incluindo a ciclagem de nutrientes, um ponto crucial para o sucesso das iniciativas de restauração ecológica.

Eventos naturais, como secas e ondas de calor, juntamente com atividades humanas, exercem impactos profundos na biodiversidade e nas funções do solo. Mudanças no uso do solo, como o desmatamento e a transformação de pastagens em áreas agrícolas, podem diminuir a biodiversidade e alterar as emissões de gases de efeito estufa (PEDRINHO et al., 2023, 2024). Por exemplo, agricultura convencional e intensiva, por muitas vezes, adota práticas insustentáveis que levam à perda e erosão da camada superficial do solo, rica em matéria organiza e comunidades microbianas, conduzindo o mesmo a um declínio funcional do ecossistêmico e redução da biodiversidade (PEREIRA et al., 2022).

Portanto, promover e preservar a vegetação e a biodiversidade acima do solo é fundamental para enfrentar os desafios globais relacionados à degradação ambiental e às mudanças climáticas. Solos globalmente biodiversos garantem as funções e ciclos essenciais dos ecossistemas, como o armazenamento de carbono e a regulação hídrica (GUERRA et al., 2022), além de sustentar, garantir e fortalecer a saúde dos ecossistemas acima do solo.

6. Conclusão

Concluímos que o manejo para plantio de mudas provoca alterações na estrutura do solo causando grande liberação de solo e deslocamento superficial no período de chuvas. Os ambientes florestados e de pastagem apresentaram maior estabilidade do solo e menor perda pelo escoamento superficial devido à cobertura vegetal presente e a ausência de intervenções nos mesmos.

A biodiversidade acima do solo está intrinsecamente relacionada e depende da biodiversidade abaixo do solo. O solo não apenas fornece suporte físico, mas também fortalece os processos biogeoquímicos que sustentam os organismos terrestres. Assim, para preservar e promover a biodiversidade acima do solo, é fundamental manter a diversidade e funcionalidade de todo o sistema, que atua como a base dos ciclos ecológicos e da vida no ecossistema como um todo.

7. Considerações Finais

Os resultados deste estudo reforçam a importância do manejo adequado do solo e da vegetação no controle da erosão, na regulação hidrológica e na promoção da resiliência ambiental. Embora o reflorestamento apresente maior variabilidade e instabilidade nos estágios iniciais devido ao manejo recente, ele se revela uma estratégia promissora para a recuperação dos ecossistemas e a melhoria da qualidade do solo, especialmente quando comparado a áreas de pastagem, que apresentam um maior risco de degradação e impacto negativo sobre os recursos hídricos. Portanto, o estudo reforça a complexidade da restauração ecológica, evidenciando que, embora seus benefícios a longo prazo sejam inegáveis. Os resultados apontam a imperativa necessidade de adoção de práticas de restauração que minimizem efeitos adversos.

8. Referências Bibliográficas

ARBUCKLE, K. E.; DOWNING, J. A. The influence of watershed land use on lake N: P in a predominantly agricultural landscape. **Limnology and Oceanography**, v. 46, n. 4, p. 970–975, 2001.

BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182–185, 1 mar. 2012.

BARLOW, J. et al. The future of hyperdiverse tropical ecosystems. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 517–526, 1 jul. 2018.

BATHURST, J. et al. Runoff, flood peaks and proportional response in a combined nested and paired forest plantation/peat grassland catchment. **Journal of Hydrology**, v. 564, p. 916–927, 1 set. 2018.

BEF-ATLANTIC PROJECT. ***BEF-Atlantic Project***. ***BEF-Atlantic Project***, 2021. Disponível em: <https://bef-atlantic.netlify.app/>. Acesso em: 9 jan. 2025

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. **São Paulo: Ícone Editora**, 1990.

BONNESOEUR, V. et al. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 569–584, 15 fev. 2019.

BRIDGEWATER, P.; GUARINO, E.; THOMPSON, R. M. Hydrology in the Anthropocene. Em: **Encyclopedia of the Anthropocene**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 87–92.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Environmental Services and Land Use Change: Bridging the Gap between Policy and Research in Southeast Asia**, v. 104, n. 1, p. 185–228, 1 set. 2004.

CALDEIRA, N. **Estrutura, diversidade e quantificação de carbono da comunidade arbórea de um fragmento de Mata Atlântica no NIASSA-UFJF**. [s.l.] Universidade Federal de Juiz de Fora, 30 maio 2023.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. [s.l.] Editora Edgard Blücher Ltda., 1994.

CESAMA - COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL. **Barragem de Chapéu d'Uvas**. Disponível em: <https://www.cesama.com.br/mananciais/barragem-de-chapeu-d-uvas-2>.

CHAPIN III; MATSON, P.; VITOUSEK, P. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 2nd. ed. New York: Springer, 2011.

CHAZDON, R. L. Towards more effective integration of tropical forest restoration and conservation. **Biotropica**, v. 51, n. 4, p. 463–472, jul. 2019.

CHAZDON, R. L. et al. The intervention continuum in restoration ecology: rethinking the active–passive dichotomy. **Restoration Ecology**, v. 32, n. 8, p. e13535, 1 nov. 2024.

CHUENCHUM, P.; XU, M.; TANG, W. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 8, n. 3, p. 213–227, set. 2020.

CLIMATE-DATA.ORG. **Juiz de Fora Climate**. , 2025. Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/minas-gerais/juiz-de-fora-5957/>

CREED, I. F. et al. Hydrological principles for sustainable management of forest ecosystems. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 13, p. 2152–2160, 30 jun. 2011.

CREED, I. F. et al. Managing Forests for Water in the Anthropocene—The Best Kept Secret Services of Forest Ecosystems. **Forests**, v. 7, n. 3, 2016.

DE JONG, W.; LIU, J.; LONG, H. The forest restoration frontier. **Ambio**, v. 50, n. 12, p. 2224–2237, 1 dez. 2021.

DIAS JUNIOR, M. Compactação do solo. Em: **Tópicos de ciência do solo/ publicação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. [s.l: s.n.]. v. 1p. 55–94.

ELLISON, D. et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 51–61, 1 mar. 2017.

ERB, K.-H. et al. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. **Nature**, v. 553, n. 7686, p. 73–76, 1 jan. 2018.

FAO. **The State of the World's Forests 2024**. Rome, Italy ; [s.n.].

FARIAS, R. N. DE et al. Effects of recent urbanization on carbon and nitrogen burial rates of sedimentary records in a tropical coastal lagoon (Brazil). **Environmental Research**, v. 263, p. 120161, 2024.

FERREIRA, C. DE C. M. **Clima de Juiz de Fora: 50 anos de dados meteorológicos**. Juiz de Fora, MG: Editora UFJF, 2023.

FISCH, G.; SANTOS, T. A. D.; SILVA, R. C. D. Water security in the Vale do Paraiba´s basin: future scenarios. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 6, p. 881, 23 nov. 2017.

FOLKE, C. et al. **Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management**. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**Annual Reviews, , 2004.

FRANÇA, F. M. et al. Climatic and local stressor interactions threaten tropical forests and coral reefs. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190116, 2020.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil management: problems and solutions**. [s.l.] Hodder Arnold, 2004.

GASHAW, T. et al. Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Science of The Total Environment**, v. 619–620, p. 1394–1408, 2018.

GEBREMICAEL, T. G.; MOHAMED, Y. A.; VAN DER ZAAG, P. Attributing the hydrological impact of different land use types and their long-term dynamics through combining parsimonious hydrological modelling, alteration analysis and PLSR analysis. **Science of The Total Environment**, v. 660, p. 1155–1167, abr. 2019.

GOMES, D. C. et al. Impactos Climáticos na Erosão hídrica do solo para a Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, 6 abr. 2021.

GONZALEZ-VALENCIA, R. et al. In Situ Measurement of Dissolved Methane and Carbon Dioxide in Freshwater Ecosystems by Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 19, p. 11421–11428, 7 out. 2014.

GORDON, L. J.; FINLAYSON, C. M.; FALKENMARK, M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. **Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture**, v. 97, n. 4, p. 512–519, 1 abr. 2010.

GOUDIE, A. S.; BOARDMAN, J. 14 Soil erosion. **Geomorphological hazards and disaster prevention**, p. 177, 2010.

GRASSET, C. et al. Large but variable methane production in anoxic freshwater sediment upon addition of allochthonous and autochthonous organic matter. **Limnology and Oceanography**, v. 63, n. 4, p. 1488–1501, jul. 2018.

GRASSET, C. et al. The transformation of macrophyte-derived organic matter to methane relates to plant water and nutrient contents. **Limnology and Oceanography**, v. 64, n. 4, p. 1737–1749, jul. 2019.

GRIMM, M.; JONES, R.; MONTANARELLA, L. Soil Erosion Risk in Europe. n. 2002, 2002.

GRIMM, N. B. et al. Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems: Urban ecological systems present multiple challenges to ecologists—pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and theory. **BioScience**, v. 50, n. 7, p. 571–584, jul. 2000.

GRISCOM, B. W. et al. Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 44, p. 11645–11650, 31 out. 2017.

GROPPO, J. D. et al. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeosciences**, v. 12, n. 15, p. 4765–4780, 2015.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 32–37, 2005.

GUERRA, A. J. T. et al. Erosão e Conservação de Solos no Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 37_1, n. 1, p. 81–91, 9 abr. 2014.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. Em: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Eds.). **Geomorfologia do Brasil**. 8th. ed. [s.l.] Bertrand Brasil, 2012. p. 181–227.

GUERRA, C. A. et al. Global hotspots for soil nature conservation. **Nature**, v. 610, n. 7933, p. 693–698, 1 out. 2022.

HIROTA, M. M.; OTHERS. Monitoring the Brazilian Atlantic Forest cover. **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats and outlook**, p. 60–65, 2003.

HOU, Y. et al. A global synthesis of hydrological sensitivities to deforestation and forestation. **Forest Ecology and Management**, v. 529, p. 120718, 2022.

HOWARTH, R. W.; MARINO, R. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. **Limnology and Oceanography**, v. 51, n. 1part2, p. 364–376, jan. 2006.

HUANG, J. et al. Watershed-scale evaluation for land-based nonpoint source nutrients management in the Bohai Sea Bay, China. **Ocean & Coastal Management**, v. 71, p. 314–325, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2023a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2023b.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the B razilian A tlantic F orest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459–473, nov. 2014.

JONES, A. G. et al. Transitional forestry in New Zealand: re-evaluating the design and management of forest systems through the lens of forest purpose. **Biological Reviews**, v. 98, n. 4, p. 1003–1015, 1 ago. 2023.

JONES, J. et al. Forest restoration and hydrology. **Forest Ecology and Management**, v. 520, p. 120342, 15 set. 2022.

JONES, M. W. et al. Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. **Science**, v. 386, n. 6719, p. eadl5889, 18 out. 2024.

KAYITESI, N. M.; GUZHA, A. C.; MARIETHOZ, G. Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology- a review of research studies in tropical regions. **Journal of Hydrology**, v. 615, p. 128702, dez. 2022.

KNOLL, L. B.; VANNI, M. J.; RENWICK, W. H. Phytoplankton primary production and photosynthetic parameters in reservoirs along a gradient of watershed land use. **Limnology and Oceanography**, v. 48, n. 2, p. 608–617, 2003.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465–3472, 2011.

LIU, H. et al. Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. **Global Change Biology**, v. 28, n. 7, p. 2202–2220, 2021.

LIU, Y. F. et al. **Trade-off between surface runoff and soil erosion during the implementation of ecological restoration programs in semiarid regions: A meta-analysis**. **Science of the Total …**Elsevier, , 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719364733>

LOZANO-BAEZ, S. E. et al. Land restoration by tree planting in the tropics and subtropics improves soil infiltration, but some critical gaps still hinder conclusive results. **Forest Ecology and Management**, v. 444, p. 89–95, 15 jul. 2019.

MAASS, A.-L.; SCHÜTTRUMPF, H.; LEHMKUHL, F. Human impact on fluvial systems in Europe with special regard to today's river restorations. **Environmental Sciences Europe**, v. 33, n. 1, p. 119, dez. 2021.

MACKERETH, F. J. H. **Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists**. [s.l: s.n.].

MAGLIANO, P. N.; WHITWORTH-HULSE, J. I.; BALDI, G. Interception, throughfall and stemflow partition in drylands: Global synthesis and meta-analysis. **Journal of Hydrology**, v. 568, p. 638–645, 1 jan. 2019.

MÄLER, K.-G. Development, ecological resources and their management: A study of complex dynamic systems. **European Economic Review**, v. 44, n. 4, p. 645–665, 2000.

MALHI, Y. et al. **Tropical Forests in the Anthropocene**. **Annual Review of Environment and Resources**Annual Reviews, , 2014.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: CNCFlora, Centro Nacional de Conservação da Flora : Jardim Botânico do Rio de Janeiro : Andrea Jakobsson Estúdio, 2013.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion measurement and soil conservation research in cultivated areas of the UK. **Geographical journal**, 1985.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. books.google.com, , 2009. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en\&lr=\&id=j8C8fFiPNOkC\&oi=fnd\&pg=PR7\&dq=soil+conservation+erosion\&ots=wpRbIYU7Md\&sig=jdaalof6-v9nDOj3lTuyNVrJTD0>

MURPHY, T. R. et al. Native woodland establishment improves soil hydrological functioning in UK upland pastoral catchments. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 1034–1045, 30 jan. 2021.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. D.; COELHO, C. O. A. **Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal**. **Applied Geography**Elsevier, , 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014362281000175X>

OLIVEIRA, D. E.; PIMENTEL, F. DE O.; DE ASSIS, D. C. Produção do espaço, padrões de cobertura do solo e alterações climáticas regionais, um estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Paraibuna – MG/RJ. v. v. 5 (2015): Número Especial, 2 maio 2016.

PACHECO, F. S. et al. The effects of river inflow and retention time on the spatial heterogeneity of chlorophyll and water–air CO₂ fluxes in a tropical hydropower reservoir. **Biogeosciences**, v. 12, n. 1, p. 147–162, 9 jan. 2015.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. Wildfires and global change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 7, p. 387–395, 1 set. 2021.

PEDRINHO, A. et al. Impacts of deforestation and forest regeneration on soil bacterial communities associated with phosphorus transformation processes in the Brazilian Amazon region. **Ecological Indicators**, v. 146, p. 109779, 1 fev. 2023.

PEDRINHO, A. et al. Soil microbial diversity plays an important role in resisting and restoring degraded ecosystems. **Plant and Soil**, v. 500, n. 1–2, p. 325–349, jul. 2024.

PEI, H. et al. Quantifying impacts of climate dynamics and land-use changes on water yield service in the agro-pastoral ecotone of northern China. **Science of The Total Environment**, v. 809, p. 151153, 25 fev. 2022.

PEREIRA, A. P. DE A. et al. Land degradation affects the microbial communities in the Brazilian Caatinga biome. **CATENA**, v. 211, p. 105961, 1 abr. 2022.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, AustriaR Foundation for Statistical Computing, , 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 dez. 2024

REZENDE, V. L. et al. Humidity, low temperature extremes, and space influence floristic variation across an insightful gradient in the Subtropical Atlantic Forest. **Plant Ecology**, v. 216, n. 6, p. 759–774, 1 jun. 2015.

ROCHA, N. et al. CONCIENTIZAÇÃO SOBRE A EROSÃO DO SOLO CAUSADA PELOEFEITO SPLASH. Em: OLIVEIRA, R. J. D. (Ed.). **Agricultura em Foco: Tópicos Em Manejo, Fertilidade do Solo e Impactos Ambientais - Volume 1**. 1. ed. [s.l.] Editora Científica Digital, 2020. p. 113–117.

ROE, S. et al. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 11, p. 817–828, nov. 2019.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DFEmbrapa, , 2018.

SAS INSTITUTE INC. **JMP Statistical Software**. Cary, NCSAS Institute Inc., , 2024. Disponível em: <https://www.jmp.com/>

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319–2331, set. 2015.

SCHEFFER, M. et al. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, v. 413, n. 6856, p. 591–596, 1 out. 2001.

SCHEFFER, M. et al. Early-warning signals for critical transitions. **Nature**, v. 461, n. 7260, p. 53–59, 1 set. 2009.

SETO, K. C.; GÜNERALP, B.; HUTYRA, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 40, p. 16083–16088, 2 out. 2012.

SOARES, M. C. S. et al. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use**, v. 13, n. 4, p. 257–269, dez. 2008.

SONG, X.-P. et al. Global land change from 1982 to 2016. **Nature**, v. 560, n. 7720, p. 639–643, ago. 2018.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; COSTA, C. M. R. **Endangered Species and Conservation Planning**. [s.l: s.n.].

THEY, N. H.; AMADO, A. M.; COTNER, J. B. Redfield Ratios in Inland Waters: Higher Biological Control of C:N:P Ratios in Tropical Semi-arid High Water Residence Time Lakes. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1505, 8 ago. 2017.

TRUDGILL, S. T. **Soil and Vegetation Systems, Clarendon**. **… method for determining soil organic matter and a …**, 1977.

TRUDGILL, S. T. **Soil and Vegetation Systems**. New York, US: Oxford University Press, 1988.

TURNER, B. L.; MEYER, W. B.; SKOLE, D. L. Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study. **Ambio**, v. 23, n. 1, p. 91–95, 1994.

UUEMAA, E.; ROOSAARE, J.; MANDER, Ü. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments. **Ecological Indicators**, v. 5, n. 4, p. 350–369, 2005.

VAN OOST, K.; GOVERS, G.; DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. 1999.

VANCUTSEM, C. et al. Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. **Science Advances**, v. 7, n. 10, p. eabe1603, 2021.

WAN, R. et al. Inferring land use and land cover impact on stream water quality using a Bayesian hierarchical modeling approach in the Xitiaoxi River Watershed, China. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 1–11, 2014.

WINKLER, K. et al. Global land use changes are four times greater than previously estimated. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2501, 11 maio 2021.

ZHANG, M.; WEI, X. Deforestation, forestation, and water supply. **Science**, v. 371, n. 6533, p. 990–991, 5 mar. 2021.