



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Ayrton Durães Manso

Avaliação das perdas de solo e água por erosão hídrica laminar em área com pastagem degradada submetida a restauração da Floresta Atlântica, com plantio de mudas e adubação verde, Mendes - RJ

Rio de Janeiro

2023

Ayrton Durães Manso

Avaliação das perdas de solo e água por erosão hídrica laminar em área com pastagem degradada submetida a restauração da Floresta Atlântica, com plantio de mudas e adubação verde, Mendes - RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Conservação dos solos e recursos hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Portocarrero

Coorientador: Aluísio Granato de Andrade

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

M289 Manso, Ayrton Durães.
Avaliação das perdas de solo e água por erosão hídrica laminar em área com pastagem degradada submetida a restauração da Floresta Atlântica, com plantio de mudas e adubação verde, Mendes - RJ / Ayrton Durães Manso. – 2023.
192 f. : il.

Orientador: Hugo Portocarrero.
Coorientador: Aluísio Granato de Andrade
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Recursos hídricos – Mendes (RJ) – Teses. 2. Solos – Propriedade física - Teses. 3. Floresta - Restauração – Teses. 4. Análise ambiental – Teses. I. Portocarrero, Hugo. II. Andrade, Aluísio Granato de. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. IV. Título.

CDU: 911.2:556(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 6390

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ayrton Durães Manso

Avaliação das perdas de solo e água por erosão hídrica laminar em área com pastagem degradada submetida a restauração da Floresta Atlântica, com plantio de mudas e adubação verde, Mendes - RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Conservação dos solos e recursos hídricos.

Aprovada em 03 de julho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hugo Portocarrero (Orientador)

Instituto de Geografia - UERJ

Prof. Dr. Aluísio Granato de Andrade (Coorientador)

Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária — EMBRAPA Solos

Prof. Dr. Antônio Soares da Silva

Instituto de Geografia - UERJ

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Instituto de Geografia - UFRJ

Rio de Janeiro

2023

DEDICATÓRIA

Em memória de meus avós, por me ensinaram um pouco de tudo sobre o mundo.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais, Amauri Rodrigues Manso Filho e Magaly da Silva Durães Manso, por todo o suporte ao longo desse trajeto, sem vocês, chegar aqui não seria possível.

Aos meus avós (em memória), por serem as primeiras pessoas que penso no quanto gostaria de compartilhar todas essas experiências, todos esses “novos lugares”, que vocês tanto lutaram para que eu e meu irmão Arthur Durães Manso pudéssemos alcançar, a nossa vitória também é a de vocês.

À minha namorada, Alexandra de Souza Rodrigues, pelo apoio incondicional, por sempre revisar algum trecho quando solicitada, ajudar em alguma análise em laboratório e ouvir sobre erosão dos solos mais do que gostaria.

Ao meu orientador, Hugo Portocarrero, que se mostrou um grande amigo e incentivador, não só no âmbito acadêmico, mas também profissional, através de todas as conversas, discussões e conselhos que me fizeram evoluir e refletir sobre o meu papel como geógrafo e pesquisador frente à sociedade.

Agradeço ao meu coorientador, Aluísio Granato de Andrade pela oportunidade de estagiar na Embrapa Solos durante o período de execução da pesquisa, uma experiência sem dúvidas muito importante, por toda a preocupação e conhecimento compartilhado até aqui.

Ao professor Antonio Soares da Silva pelas importantes contribuições durante o exame de qualificação, as quais me fizeram refletir sobre a abordagem da pesquisa a partir de um novo olhar.

Ao professor Antonio Jose Teixeira Guerra, pelas correções durante o exame de qualificação e indicação de melhorias que poderiam ser feitas no trabalho. Agradeço ainda pelo importante incentivo ao final da graduação que me fez buscar o mestrado como caminho para continuidade dos meus estudos e carreira, sobretudo na Geografia Física.

Aos amigos que fiz nessa nova etapa, Caio Gabriel Bacelar, Josimar Mendes da Silva e Vanderson Justino Batista, pelas discussões a respeito da pesquisa e do cotidiano, pelos trabalhos apresentados em “sala de aula” ou em congressos, as eventuais idas a campo e tantas outras coisas que fizeram o mestrado ser um pouco menos solitário, principalmente nesse período pós pandêmico em que vivemos.

Ao Raphael Brizzi, pelas dicas valiosas durante uma das idas a campo, as quais levei em consideração e com certeza me ajudaram a estruturar este trabalho.

Ao André dos Santos Barros, técnico de campo, que se tornou um amigo, por todos os trabalhos que fizemos em conjunto, por todos os ensinamentos e lições sobre coleta de amostras, dados em campo e voos de drone.

À proprietária do Sítio do Vô Lisse, Marilisse Navarro Fornaciari, e também ao senhor Danillo Galvão Peixoto Filho, pela compreensão da importância da pesquisa e por toda a colaboração durante o monitoramento que foi feito nas parcelas e nos pluviômetros.

Aos laboratoristas do LAGEFIS, Daniele, Isabela Teixeira R. de Oliveira e Rafael Amorim, pela amizade, companhia e a ajuda de vocês durante as análises das amostras.

Agradeço à Embrapa Solos pelos materiais e laboratórios disponibilizados para a condução dos ensaios laboratoriais referentes a esta dissertação e aos seus pesquisadores e funcionários por todo suporte e auxílio durante minha estadia.

À Crescente Fértil, em especial ao Matheus Vinicius Ambrósio da Silva e ao Renato de Souza Fernandes Jr, pela disponibilização de material e informações referentes ao projeto, pelo suporte logístico e operacional.

À UERJ e a todos seus funcionários, certamente me senti acolhido pela instituição nesses dois anos, embora parte das aulas tenham sido remotas, o dia a dia nos laboratórios, o contato e conversas com os outros professores do PPGEIO e principalmente o trabalho de monitor durante o XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada me fizeram criar um grande e importante sentimento de pertencimento. Obrigado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES) pelo fomento à pesquisa realizada.

À FAPERJ pelo financiamento do projeto “Monitoramento da erosão e da qualidade do solo no âmbito do Projeto: Produtores de Águas e Floresta (PAF) - Sub Bacia do Rio Sacra Família”.

Tanto o solo quanto a água pertencem à biosfera, à ordem da natureza, e - como uma espécie entre muitas, como uma geração entre muitas que estão por vir - não temos o direito de destruí-los.

Daniel Hillel

RESUMO

MANSO, Ayrton Durães. *Avaliação das perdas de solo e água por erosão hídrica laminar em área com pastagem degradada submetida a restauração da Floresta Atlântica, com plantio de mudas e adubação verde, Mendes - RJ. 2023. 192f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.*

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) hídricos têm se estabelecido como instrumento político e econômico no decorrer das últimas duas décadas no Brasil, com a premissa de garantir ou recuperar os Serviços Ecosistêmicos (SEs) providos pela natureza. Embora a expansão de programas de PSA hídricos pelo território nacional seja uma realidade, o seu monitoramento e emprego de metodologias capazes de avaliar os reais resultados gerados ainda é pouco abrangente e eficiente. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes estratégias de restauro florestal sob indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos e parâmetros hidrossedimentológicos, tais como o escoamento superficial (ES), a taxa de perda do solo e a sucção matricial em uma propriedade contemplada pelo Projeto: Produtores de Águas e Floresta (PAF) Sub-Bacia do Rio Sacra Família, no município de Mendes no estado do Rio de Janeiro. A metodologia consistiu na instalação de parcelas de controle de erosão modelo Wischmeier nas dimensões 22mx4m conectadas a caixas d'água de 1000L, junto a pluviômetros e sensores GMS, onde quatro tratamentos distintos foram adotados afim de comparação: plantio total, plantio total com adubação verde, pousio e solo exposto. Para obtenção dos volumes de ES gerados, um ensaio de calibração das caixas utilizadas foi realizado, gerando uma regressão linear aplicável ao valor das medidas obtidas em campo. A determinação da perda do solo e de suas propriedades, foi obtida através de análises em laboratório para: textura, densidade do solo e de partículas, porosidade, estabilidade de agregados e matéria orgânica, adotando a análise de variância (ANOVA) e Teste Tukey para interpretação de parte destes. O resultado das análises de solo em (T0) indicaram que na área de estudo os solos possuem granulometria predominantemente argilosa e argilo-arenosa, a média da densidade do solo que antecede ao plantio foi de (1,64 g/cm³), assim como a densidade de partículas (2,67 cm³), porosidade (38,56%), índice de matéria orgânica (18,09 g/kg⁻¹) e seu índice de agregação (83,12%). Os parâmetros monitorados nas parcelas referentes ao ES, a taxa de perda de solo e a sucção matricial demonstraram contribuição das diferentes estratégias adotadas ao longo do experimento, apontando que a alteração do tipo de uso do solo tem grande influência no comportamento destes parâmetros. Um ano após o início do restauro florestal, com o resultado de novas análises, concluiu-se que de modo geral houve redução da densidade do solo, bem como o aumento da porosidade total, entretanto, foi observada redução no índice de estabilidade dos agregados e na matéria orgânica de todas as parcelas analisadas. Portanto, a potencialidade deste estudo está ligada a oferta de subsídios referentes ao monitoramento em projetos de PSA hídricos, de tal forma que seja possível traçar metodologias mais abrangentes que auxiliem na valoração dos serviços ambientais.

Palavras-chave: parcelas de controle de erosão; PSA hídrico; propriedades dos solos; erosão dos solos; escoamento superficial.

ABSTRACT

MANSO, Ayrton Durães. *Evaluation of soil and water losses by laminar erosion in an area with degraded pasture submitted to restoration of the Atlantic Forest, with planting of seedlings and green manure, Mendes - RJ. 2023. 192 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.*

The Payment for Environmental Services (PES) for water has been established as a political and economic instrument over the last two decades in Brazil, with the premise of guaranteeing or recovering the Ecosystem Services (ES) provided by nature. Although the expansion of water PES programs throughout the national territory is a reality, their monitoring and use of methodologies capable of evaluating the real results generated are still not comprehensive and efficient. This research aimed to evaluate the effect of different forest restoration strategies on physical and chemical indicators of soil quality and hydro-sedimentological parameters, such as surface runoff, soil loss rate and matrix suction on a property covered by the Project: “Produtores de Água e Floresta” (PAF) Sub-Basin of the Sacra Família River, in the municipality of Mendes in the state of Rio de Janeiro. The methodology consisted of installing Wischmeier model erosion control plots in dimensions 22mx4m connected to 1000L water tanks, together with pluviometers and GMS sensors, where four different treatments were adopted in order to compare: total planting, total planting with green manure, fallow and exposed soil. To obtain the runoff volumes generated, a calibration test of the tanks used was carried out, generating a linear regression applicable to the value of the measurements obtained in the field. The determination of soil loss and its properties was obtained through laboratory analyzes for: texture, soil and particle density, porosity, stability of aggregates and organic matter, adopting the analysis of variance (ANOVA) and Tukey Test for interpretation of these. The result of the soil analysis in (T0) indicated that in the study area the soils have predominantly clayey and sandy-clay granulometry, the average density of the soil before planting was (1.64 g/cm³), as well as particle density (2.67 cm³), porosity (38.56%), organic matter content (18.09 g/kg-1) and its aggregation index (83.12%). The parameters monitored in the plots referring to the runoff, the rate of soil loss and the matrix suction showed the contribution of the different strategies adopted throughout the experiment, indicating that the change in the type of land use has a great influence on the behavior of these parameters. One year after the beginning of the forest restoration, with the result of new analyses, it was concluded that in general there was a reduction in the soil density, as well as an increase in the total porosity, however, a reduction in the stability index of the aggregates and in the organic matter of all plots analyzed. Therefore, the potential of this study is linked to the provision of subsidies related to monitoring in water PES projects, in such a way that it is possible to outline more comprehensive methodologies that help in the valuation of environmental services.

Keywords: erosion control plots; water PES; soil properties; soil erosion; runoff.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 –	Metodologia de Percentual de Abatimento da Erosão.....	29
Equação 2 –	Cálculo de valoração: Produtores de Água e Floresta.....	33
Equação 3 –	Potencial total da água dos solos.....	63
Equação 4 –	Equação Universal de Perda do Solo.....	67
Equação 5 –	Determinação da perda de solo.....	110
Equação 6 –	Densidade de partículas.....	113
Equação 7 –	Densidade do solo.....	114
Equação 8 –	Porosidade Total.....	115
Equação 9 –	Carbono orgânico.....	116
Equação 10	Matéria orgânica por titulação.....	116
Equação 11 –	Matéria orgânica por combustão.....	117
Equação 12 –	Diâmetro Médio Ponderado.....	119
Equação 13 –	Diâmetro Médio Geométrico.....	119
Equação 14 –	Índice de Estabilidade de Agregados.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema de funcionamento dos programas de PSA.....	19
Figura 2 –	Mapa de distribuição dos projetos de PSA no estado do Rio de Janeiro até 2019.....	23
Figura 3 –	Relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação.....	47
Figura 4 –	Aspectos hidrológicos da vegetação.....	58
Figura 5 –	Erosão por salpicamento e início do processo erosivo nas vertentes.....	59
Figura 6 –	Voçorocas adjacentes à área de estudo.....	61
Figura 7 –	Exemplo de curva de retenção de água no solo em diferentes texturas.....	64
Figura 8 –	As três hipóteses clássicas sobre a disponibilidade de água do solo para as plantas.....	65
Figura 9 –	Parcelas de controle de erosão de Dulley-Miller.....	67
Figura 10 –	Região central do município de Mendes.....	71
Figura 11 –	Mapa de localização da sub-bacia do Rio Sacra Família.....	72
Figura 12 –	Vista aérea da área de estudo e adjacências.....	73
Figura 13 –	Vista aérea da área de estudo e adjacências (2)	74
Figura 14 –	Sítio Vô Lisse.....	75
Figura 15 –	Mapa de localização da área de estudo.....	76
Figura 16 –	Mapa de distribuição das isoietas na sub-bacia do rio Sacra Família.....	78
Figura 17 –	Mapa geológico da sub-bacia do Rio Sacra Família.....	80
Figura 18 –	Paisagem típica no domínio dos mares de morro, Mendes-RJ.....	81
Figura 19 –	Mapa de distribuição dos tipos de solo na sub-bacia do rio Sacra Família.....	83

Figura 20 –	Mapa de distribuição da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Sacra Família.....	85
Figura 21 –	Esquema para disposição das parcelas de controle de erosão.....	86
Figura 22 –	Esquema de instalação dos sensores de matriz granular em campo.....	87
Figura 23 –	Chapas de zinco galvanizadas utilizadas para construção do corpo das parcelas.....	88
Figura 24 –	Abertura de valetas para fixação das chapas de zinco ao solo.....	88
Figura 25 –	Sistema de conexão entre o corpo das parcelas e as caixas d’água.....	89
Figura 26 –	Vista aérea da disposição das parcelas em campo.....	89
Figura 27 –	Ensaio de calibração das caixas d’água.....	94
Figura 28 –	Pluviômetros instalados nas proximidades das parcelas.....	96
Figura 29 –	Instalação dos sensores GMS.....	97
Figura 30 –	Seções definidas para orientação da coleta de amostras.....	98
Figura 31 –	Pontos de coleta das amostras em (T0) e em (T1).....	99
Figura 32 –	Torrão de solo sendo coletado no interior de uma das parcelas.....	100
Figura 33 –	Amostra coletada em anel volumétrico.....	100
Figura 34 –	Amostras de solo armazenadas no laboratório LAGEFIS/UERJ.....	101
Figura 35 –	Amostras secas ao ar livre em laboratório.....	101
Figura 36 –	Esquema de plantio adotado pela Crescente Fértil.....	103
Figura 37 –	Exemplo de espécies utilizadas nos tratamentos adotados pela Crescente Fértil.....	105
Figura 38 –	Recipientes utilizados para coleta das amostras em campo.....	110
Figura 39 –	Secagem em estufa das amostras dispostas em recipientes de massa conhecida.....	111

Figura 40 –	Provetas utilizadas para análise granulométrica por “método da pipeta”.....	112
Figura 41 –	Balão volumétrico utilizado para determinação da densidade de partículas.....	113
Figura 42 –	Anéis volumétricos utilizados para análise de densidade do solo.....	114
Figura 43 –	Ensaio de titulação do carbono orgânico.....	116
Figura 44 –	Ensaio de determinação da matéria orgânica por queima.....	117
Figura 45 –	Ensaio de estabilidade dos agregados.....	120
Figura 46 –	Triângulo textural resultado da análise granulométrica.....	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Comparação da precipitação anual acumulada, estação: Vassouras.....	77
Gráfico 2 –	Curva de calibração do latão de 20 litros.....	91
Gráfico 3 –	Curva de calibração da parcela 1 “Plantio Total” - Caixa 2.....	92
Gráfico 4 –	Curva de calibração da parcela 2 “Plantio Total + Adubação Verde” - Caixa 1.....	92
Gráfico 5 –	Curva de calibração da parcela 2 “Plantio Total + Adubação Verde” - Caixa 2.....	93
Gráfico 6 –	Curva de calibração da parcela 3 com pastagem em pousio - Caixa 2....	93
Gráfico 7 –	Densidade do solo na profundidade 0-10cm.....	136
Gráfico 8 –	Densidade do solo na profundidade 10-20cm.....	136
Gráfico 9 –	Diâmetro médio ponderado e geométrico na profundidade 0-10cm.....	142
Gráfico 10 –	Diâmetro médio ponderado e geométrico na profundidade 10-20cm.....	143
Gráfico 11 –	Índice de estabilidade de agregados na profundidade 0-10cm.....	143
Gráfico 12 –	Índice de estabilidade de agregados na profundidade 10-20cm.....	144
Gráfico 13 –	Precipitação total do período monitorado.....	150
Gráfico 14 –	Gráficos trimestrais do escoamento superficial.....	151
Gráfico 15 –	Gráfico completo do escoamento superficial.....	152
Gráfico 16 –	Gráficos trimestrais de perda do solo.....	155
Gráfico 17 –	Gráfico da perda de solo completo.....	156
Gráfico 18 –	Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 3 (novembro).....	159
Gráfico 19 –	Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 4 (novembro).....	160
Gráfico 20 –	Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 3 (dezembro).....	161
Gráfico 21 –	Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 4 (dezembro).....	161
Gráfico 22 –	Altura média total dos indivíduos vegetais.....	162
Gráfico 23 –	Diâmetro médio da base dos indivíduos vegetais.....	163
Gráfico 24 –	Diâmetro médio à primeira bifurcação dos indivíduos vegetais.....	164

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Referência para cálculo de PSA por ação implementada em R\$/ha/ano....	27
Quadro 2 –	Pontuação dos critérios de hierarquização.....	28
Quadro 3 –	Pontuações finais dos indicadores N1, N2 e N3 do PSA calculados em 2021 para o Sítio Vô Lisse – Mendes (RJ).....	31
Quadro 4 –	Pontuações finais dos indicadores N1, N2 e N3 do PSA calculados em 2022 para o Sítio Vô Lisse – Mendes (RJ).....	32
Quadro 5 –	Parâmetros adotados na “calculadora da restauração florestal”.....	43
Quadro 6 –	Indicadores utilizados para o monitoramento na metodologia DER.....	44
Quadro 7 –	Relação da textura no comportamento do solo.....	51
Quadro 8 –	Materiais utilizados para implementação das parcelas de controle de erosão.....	90
Quadro 9 –	Espécies utilizadas nas parcelas de controle de erosão para o plantio total e adubação verde.....	104
Quadro 10 –	Atividades implantadas para o restauro florestal pela Crescente Fértil.....	106
Quadro 11 –	Resultado da análise morfológica (T0).....	124
Quadro 12 –	Resultado da análise morfológica (T1).....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classes de participação do projeto com seus respectivos critérios de enquadramento e pesos para composição da variável Z.....	34
Tabela 2 –	Indicadores utilizados para composição de N1 – Conservação da vegetação nativa e suas respectivas descrições e pontuações.....	35
Tabela 3 –	Indicadores utilizados para composição de N2 – Práticas conservacionistas e suas respectivas descrições e pontuações.....	38
Tabela 4 –	Indicadores utilizados para composição de N3 – Gestão da propriedade e suas respectivas descrições e pontuações.....	39
Tabela 5 –	Distribuição das frações granulométricas por terços em (g/kg ⁻¹).....	132
Tabela 6 –	Densidade de partículas por profundidade e terço do solo.....	133
Tabela 7 –	Densidade do solo por profundidade e terço (T0).....	134
Tabela 8 –	Densidade do solo por profundidade e terço (T1).....	135
Tabela 9 –	Porosidade total do solo por terços na profundidade 0-10cm (T0).....	137
Tabela 10 –	Porosidade total do solo por terços na profundidade 0-10cm (T1).....	137
Tabela 11 –	Porosidade total do solo por terços na profundidade 10-20cm (T0).....	138
Tabela 12 –	Porosidade total do solo por terços na profundidade 10-20cm (T1).....	139
Tabela 13 –	DMP, DMG e IEA na profundidade 0-10cm.....	140
Tabela 14 –	DMP, DMG e IEA na profundidade 10-20cm.....	141
Tabela 15 –	Classes de macroagregados e microagregados na profundidade 0–10cm..	146
Tabela 16 –	Classes de macroagregados e microagregados na profundidade 10–20cm	147
Tabela 17 –	Valores de carbono orgânico e matéria orgânica.....	149
Tabela 18 –	Escoamento superficial do período total de monitoramento.....	153
Tabela 19 –	Escoamento superficial dos meses de ocorrência.....	154
Tabela 20 –	Perda de solo do período total de monitoramento.....	157
Tabela 21 –	Perda de solo dos meses de ocorrência.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CC	Capacidade de Campo
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CESBN	Cadastro Estadual de Soluções Baseadas na Natureza
CF	Crescente Fértil
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
DMP	Diâmetro Médio Ponderado
DER	Diagnóstico Ecológico Rápido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Índice de Estabilidade dos Agregados
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
LAGEFIS	Laboratório de Geografia Física
LGA	Laboratório de Geotecnia Ambiental
MVRPS	Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
ONG	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PAF	Produtores de Água e Floresta
PES	<i>Payment for Ecosystem Services</i> ou <i>Payments for Environmental Services</i>
PFPSA	Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais

PMP	Ponto de Murcha Permanente
PNPSA	Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
PRF	Projeto de Restauração Florestal
PRO-PSA	Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RAD	Recuperação de Áreas Degradadas
SAFs	Sistema Agroflorestal
SEMAR	Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração
SbN	Soluções Baseadas na Natureza
TNC	<i>The Nature Conservancy</i>
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	15
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	16
2.1	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	18
2.1.1	<u>PSA hídricos no estado do Rio de Janeiro</u>	22
2.1.2	<u>Produtores de Água e Floresta sub-bacia rio Sacra Família</u>	24
2.1.3	<u>Restauração florestal no estado do Rio de Janeiro</u>	41
2.2	Degradação das terras e propriedades físico hídricas	45
2.2.1	<u>Reabilitação, recuperação e restauração de áreas degradadas</u>	46
2.2.2	<u>Indicadores físicos e químicos para avaliação da qualidade do solo</u>	49
2.2.2.1	Textura.....	50
2.2.2.2	Estrutura do solo e estabilidade dos agregados.....	52
2.2.2.3	Densidade das partículas, densidade do solo e porosidade.....	54
2.2.2.4	Matéria orgânica.....	55
2.3	Monitoramento em campo de processos hidroerosivos	57
2.3.1	<u>Monitoramento da umidade dos solos</u>	62
2.3.2	<u>Parcelas de controle de erosão</u>	66
3	METODOLOGIA	70
3.1	Área de estudo	71
3.1.1	<u>Localização</u>	75
3.1.2	<u>Aspectos climáticos</u>	77
3.1.3	<u>Geologia e geomorfologia</u>	78
3.1.4	<u>Cobertura pedológica</u>	82
3.1.5	<u>Uso e cobertura vegetal</u>	84
3.2	Técnicas de monitoramento	86
3.2.1	<u>Implementação das parcelas de controle de erosão</u>	87
3.2.2	<u>Instrumentação para monitoramento hidrossedimentológico</u>	91
3.2.3	<u>Coleta de amostras de solo</u>	98
3.2.4	<u>Estratégias de restauração florestal adotadas</u>	102
3.2.5	<u>Análises laboratoriais</u>	110

4	RESULTADOS	121
4.1	Propriedades físico-químicas	122
4.1.1	<u>Morfologia do solo</u>	122
4.1.2	<u>Análise granulométrica</u>	130
4.1.3	<u>Densidade das partículas</u>	133
4.1.4	<u>Densidade do solo</u>	134
4.1.5	<u>Porosidade</u>	137
4.1.6	<u>Estabilidade dos agregados</u>	139
4.1.7	<u>Carbono orgânico e matéria orgânica</u>	148
4.2	Monitoramento hidrossedimentológico	150
4.2.1	<u>Escoamento superficial</u>	151
4.2.2	<u>Taxa de perda do solo</u>	155
4.2.3	<u>Sucção matricial</u>	159
4.3	Desempenho da evolução do restauro florestal	162
5	DISCUSSÃO	165
	CONCLUSÃO	168
	REFERÊNCIAS	172
	APÊNDICE A – Planilha de resultado dos indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos (T0).....	183
	APÊNDICE B – Planilha de resultado dos indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos (T1).....	184
	APÊNDICE C – Planilha de registro do escoamento superficial e perda do solo (Parcela 1).....	185
	APÊNDICE D – Planilha de registro do escoamento superficial e perda do solo (Parcela 2).....	186
	APÊNDICE E – Planilha de registro do escoamento superficial e perda do solo (Parcela 3).....	187
	APÊNDICE F – Planilha de registro do escoamento superficial e perda do solo (Parcela 4).....	188
	APÊNDICE G – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (novembro).....	189
	APÊNDICE H – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (dezembro).....	190
	APÊNDICE I – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (janeiro).....	191
	APÊNDICE J – Área de estudo antes e após o término das atividades do projeto Produtores de Água e Floresta.....	192

INTRODUÇÃO

O histórico de uso e ocupação dos solos nas áreas que compõem a região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (MVRPS), está intimamente ligado aos ciclos de intervenção antrópica atrelados às distintas atividades econômicas que ali foram executadas ao longo dos últimos séculos. Em um primeiro momento, sendo apenas rota de escoamento da extração de ouro e posteriormente, também, um dos maiores expoentes de produção cafeeira do mundo, alcançando o seu auge de desenvolvimento no decorrer dos séculos XVIII e XIX (Conceição, 2014).

Assim como a região da Serra da Bocaina, o Médio Vale do Rio Paraíba do Sul vivenciou os grandes fluxos de mercadorias e viajantes oriundos de diversas partes do Brasil, principalmente de Minas Gerais, que transitavam frequentemente por estas regiões pelo velho “Caminho do Ouro” em direção ao porto de Paraty com destino à Europa. Entretanto, foi a expansão da monocultura do café, produto este que seria responsável por propiciar o desenvolvimento e a reintegração da economia brasileira ao comércio mundial em largo crescimento no século XVIII (Costa, 2008).

Com o declínio da produção de ouro e a gradual ascensão do café, novas estradas foram abertas com o intuito de facilitar o deslocamento dos fluxos que se tornavam cada vez maiores, assim como o adensamento populacional da região, muito devido ao estabelecimento das fazendas de café pelas elites cafeeiras, que junto a elas traziam enormes contingentes de escravos destinados à trabalhar forçadamente nas lavouras. Em dado momento, os homens mais ricos do império ali se encontravam, convergindo investimentos para a região, principalmente ligados ao transporte e o escoamento da produção.

No entanto, no final do século XIX, o monopólio do café começou a colapsar devido à diversos acontecimentos, como: a abolição da escravidão, a abertura de novas ferrovias para o escoamento de produção das áreas do interior dos estados e o esgotamento dos solos. Por conta da condução de práticas muitas das vezes predatórias durante os diferentes ciclos econômicos, a vegetação nativa de Mata Atlântica foi quase que completamente suprimida da paisagem, permanecendo poucos remanescentes que hoje antagonizam com as extensas áreas de pasto degradados marcados por cicatrizes erosivas, muito por conta do abandono dessas terras em péssimas condições (Pereira *et al.*, 2017).

As extensas plantações de café de outrora, cederam espaço gradualmente para os campos de pastagens abandonados, o manejo intensivo baseado em colheitas sucessivas sem o

retorno dos resíduos orgânicos e dos nutrientes minerais corroborou para o quadro de depauperamento dos solos da região.

Com o fim da escravidão, houve um significativo aumento do custo de manutenção das atividades voltadas para a produção do café, uma vez que os altos lucros eram resultados da ausência do custo de mão de obra. A ausência do trabalho escravo em conjunto com o esgotamento dos solos (custo de recuperação), forçaram uma rápida migração para a pecuária leiteira, estabelecendo um novo ciclo econômico para a região. Ao longo do século XX, atividades extrativistas como a extração de madeira, a pecuária leiteira e a instalação de indústrias do ramo metalúrgico e alimentício incentivadas pelo governo federal, proporcionaram um novo momento de crescimento econômico no MVRPS atrelado a diversificação de atividades (Rodrigues, 2021).

Os impactos negativos relacionados às pressões ambientais somados às consequências atuais das mudanças climáticas, têm tornado o cenário de degradação da natureza cada vez mais severo, com o acúmulo de passivos ambientais, no tempo e no espaço, são maiores as chances do pleno funcionamento dos ecossistemas ser comprometido, maior também são o número de áreas degradadas por conta das perturbações causadas aos ecossistemas (IPCC, 2021).

A condução de más práticas de manejo, ainda presentes no âmbito rural da região, são responsáveis por diferentes quadros de degradação ambiental, destacando-se as recorrentes queimadas para limpeza dos campos, o superpastoreio, o desmatamento dos poucos remanescentes de mata nativa e o assoreamento dos corpos hídricos provocado pelo aumento de detritos mobilizados pela erosão.

A ação dos processos erosivos nas vertentes que compõem as bacias hidrográficas da região pouco a pouco remove e transporta as camadas superiores dos solos em direção aos pontos rebaixados do relevo, principalmente pela ação da água superficial e subsuperficial, também ocorrendo por conta dos ventos.

O quadro atual de degradação coloca em risco a oferta de água e energia para a população metropolitana do estado do Rio de Janeiro, visto que as bacias hidrográficas atingidas possuem extrema relevância, pois nelas encontram-se localizados alguns dos principais cursos d'água que abastecem a cidade do Rio de Janeiro e outras importantes cidades adjacentes.

A região do MVRPS engloba duas Regiões Hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, definidas pela Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos nº 107/2013, sendo elas: a Região Hidrográfica Guandu (RH II) e a Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul (RH

III), totalizando juntas mais de 20 mil km² de área de bacia hidrográfica. A Região Hidrográfica Guandu compreende o rio Guandu e seus afluentes, enquanto a Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul abrange o rio Paraíba do Sul e seus tributários.

Baseado no contexto histórico de degradação ambiental da região do MVRPS e na perpetuação dos impactos ambientais negativos, esta região configura-se como uma das áreas prioritárias para o desenvolvimento de projetos de pagamento por serviços ambientais (PSA) na região, o Produtores de Água e Floresta (PAF) é um destes projetos.

No Estado do Rio de Janeiro, as iniciativas de PSA têm se desenhado com o apoio do setor público e a sociedade civil, por meio dos comitês de bacia, agências reguladoras e organizações não governamentais (ONGs), visando promover a conservação dos recursos naturais e garantir a sustentabilidade econômica e ambiental.

A sub-bacia do rio sacra Família, de acordo com estudo de viabilidade realizado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) em 2013, é considerada uma área prioritária do MVRPS para a condução de iniciativas de “PSA hídrico” no Estado do Rio de Janeiro. A execução do projeto Produtores de Água e Floresta (PAF), na sub-bacia hidrográfica do rio Sacra Família, ficou sob responsabilidade da ONG Crescente Fértil, contratada pela Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), com a missão de realizar o restauro florestal e a conservação das florestas desta bacia.

A metodologia de valoração proposta pela AGEVAP a ser empregada no PAF sub-bacia do rio Sacra Família consiste na estratégia “Oasis”, desenvolvida pela Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, enquanto que a avaliação do avanço e eficiência do restauro florestal é feita de acordo com a normativa do INEA “Manual de Procedimentos para o Monitoramento e Avaliação de áreas em Restauração Florestal no Estado do Rio de Janeiro” onde se encontra a “Calculadora da Restauração Florestal”.

Uma vez que, nesta avaliação são consideradas apenas parâmetros relacionados a fitofisionomia dos indivíduos vegetais, a seguinte pesquisa adotou uma metodologia que pudesse avaliar os impactos do restauro florestal sobre as propriedades físicas e químicas dos solos, assim como, também, parâmetros relacionados ao escoamento superficial, a perda de solo e a sucção matricial dos solos, a fim de trazer um panorama mais amplo sobre os diferentes efeitos das estratégias de restauro florestal adotadas no PAF.

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação teve como objetivo realizar a avaliação de indicadores físicos e químicos e parâmetros hidrossedimentológicos mediante a coleta de amostras de solo e obtenção de dados adquiridos por monitoramento conduzido em parcelas de controle de erosão instaladas em uma propriedade contemplada pelo Produtores de Água e Floresta (PAF) na sub-bacia do Rio Sacra Família.

Para isso, os seguintes itens foram determinados como objetivos específicos:

- a) Analisar as propriedades físico-químicas dos solos entre as parcelas, antes e após um ano do processo de restauro florestal, mediante ensaios de morfologia do solo, distribuição granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas, carbono orgânico e estabilidade de agregados.
- b) Relacionar o total de escoamento superficial e as taxas de perda de solo com os índices pluviométricos diários e as diferentes técnicas de restauro florestal em análise na área de estudo.
- c) Avaliar a sucção matricial do solo por meio da utilização de Sensores de Matriz Granular (GMS), implantados em diferentes profundidades e terços da encosta nas parcelas de controle de erosão.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

A magnitude dos impactos resultantes da ação humana na superfície do planeta, principalmente ao longo do Holoceno, os quais têm provocado profundas transformações nas paisagens e na dinâmica dos processos que a compõe, conquistaram um papel geológico notável na escala estratigráfica, considerando que mais de 50% da superfície terrestre hoje é coberta por terrenos antropogenicamente modificados (Pillans; Gibbard, 2012). Esse cenário é reflexo das atividades socioeconômicas que ao longo dos últimos séculos, modificou a natureza mais rápido do que em qualquer outro período da história.

A crescente demanda por recursos naturais, principalmente, a partir da primeira Revolução Industrial, destacou a potencialidade das ações antrópicas em descaracterizar os diferentes biomas terrestres e aquáticos. Os impactos provocados pelo homem em uma centena de anos são comparados a eventos que duraram milhões de anos na escala geológica. A redução da biodiversidade, a remoção da cobertura vegetal, a catalização dos processos erosivos, a remobilização dos depósitos sedimentares e a poluição dos corpos hídricos são alguns dos exemplos de impactos negativos que levam à degradação ambiental.

Essa contínua pressão que a sociedade exerce sobre os ecossistemas devido à demanda por recursos naturais, estão associadas às mudanças das interações e relações do Homem com o meio natural, através das técnicas de apropriação do espaço e de transformação das matérias-primas, através das quais nós seres humanos exercemos nossas atividades e produzimos o espaço geográfico (Santos, 2006). Com o desenvolvimento de novas redes, o aumento dos fluxos de produtos e pessoas sobre o espaço terrestre acelerou, ampliando as escalas de comunicação e relações no espaço-tempo (Becker, 2005).

Os problemas relativos à degradação do meio ambiente hoje são sentidos nas mais diversas regiões do planeta, tornando-se um quadro extremamente complexo no que tange a gama de esferas envolvidas, como a social, econômica, cultural e política. Projeções futuras apontam que a escassez por alimentos e água doce, assim como a propagação de pragas e doenças, serão os maiores riscos que a humanidade poderá enfrentar caso o modelo atual de consumo não seja repensado para um viés sustentável.

A medida que os impactos negativos resultantes da crescente demanda por recursos naturais tornavam degradados os diferentes ecossistemas da terra, levando a redução ou perda dos serviços por eles oferecidos, na segunda metade do século XX a comunidade internacional se mobilizou na busca por soluções para a conservação do meio ambiente e dos

principais problemas ambientais a serem enfrentados (Wunder *et al.*, 2008). Ultrapassando exclusivamente o caráter ecológico, as questões ambientais tornaram-se tema de discussão geopolítica, envolvendo diferentes motivações político-ideológicas das nações envolvidas, tendo cada vez mais relevância na agenda dos estados nacionais (Campello, 2013).

A globalização fez emergir, nesse sentido, as discrepâncias de poder e de influência no cenário internacional existentes entre os países centrais e periféricos. A expansão do vetor técnico-científico, transformou a própria noção de natureza, atribuindo valores sociais e geopolíticos à aspectos naturais e biológicos, impactando diretamente nas condições de sua preservação. Segundo Becker (2015, p.417):

" a globalização também gerou o conceito de capital natureza, de modo que a questão ecológica é também ideológica, constituindo-se como um novo parâmetro na geopolítica mundial. Primeiro, porque as novas tecnologias tendem a alterar a noção associada a bens obtidos através de trabalho; a natureza passa a ter valor, seja como patrimônio cultural para o uso e o lazer, seja como patrimônio ecológico, isto é, estoque de reserva de vida, seja também como reserva de valor, isto é, capital de realização futura. Segundo, porque essa valorização conduz a uma nova concepção de propriedade baseada na ideia de socialização dos espaços naturais como patrimônios da humanidade a serem preservados e/ou futuramente utilizados. Terceiro, porque, na prática, a partir da crise das relações financeiras internacionais de 1982 se constitui uma nova forma de obtenção de lucros com a natureza e sua diversidade genética, que envolve os interesses bancários e empresariais, de um lado, e os países devedores periféricos de outro."

Segundo Lago (2013), hoje a questão do meio ambiente foi transferida para um contexto muito mais amplo de sustentabilidade, evitando que a questão ambiental seja tratada de forma isolada das questões políticas, econômicas e sociais. A partir do reconhecimento da natureza como capital, fonte de ciência, tecnologia e informação contemporânea, há um processo de mercantilização dos serviços por ela produzidos, como o ar, a água, e sua biodiversidade.

Pode se dizer que a origem da concepção moderna em torno dos serviços ecossistêmicos se iniciou ainda na década de 70, mais precisamente em 1972 quando há a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, sediada em Estocolmo, onde os primeiros esforços para aumento da conservação da biodiversidade do planeta são propostos. Com o crescente interesse em métodos para estimar o valor econômico das funções da natureza, os serviços ecossistêmicos passam a figurar nas agendas políticas (Gómez-Baggethun, 2010).

A valoração monetária dos serviços ecossistêmicos possibilita a comparação dos serviços provenientes da natureza aos bens produzidos pelo homem através dos recursos

financeiros (Guedes; Seehusen, 2012). O processo de valoração dos serviços ecossistêmicos tem sofrido críticas por muitos considerarem uma simplificação do valor da natureza, entretanto, identificar o valor desses serviços auxilia a sociedade a compreender sua importância e contribui para que a tomada de decisão dos agentes responsáveis por proteger e manejar os recursos naturais seja mais eficiente (Fidalgo *et al.*, 2017).

2.1 Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

A Conferência de Estocolmo e posteriormente a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92), são consideradas como marcos emblemáticos da mudança a nível global das concepções a respeito da preservação do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável. A ideia de sustentabilidade alinhando os direitos humanos e o meio ambiente, pressupõe a melhoria da qualidade de vida dos habitantes do planeta a partir da compreensão da finitude dos recursos naturais (Gurski *et al.*, 2012).

Entretanto, as concepções definidas nestas conferências, principalmente após Estocolmo-72, não foram aderidas homogeneamente por todos os países, entrando em divergência com a concepção a respeito de sustentabilidade das diferentes instituições financeiras e políticas de cada estado (principalmente daqueles mais pobres). Para os países mais pobres, o principal problema a ser combatido era a pobreza, portanto, a lógica de atuação que buscavam seria em impulsionar o desenvolvimento econômico, para em sequência se alcançar um “capitalismo verde” (Gurski *et al.*, 2012).

Na busca de mecanismos para solucionar esta situação, houve no decorrer das últimas décadas, a nível global, o desenvolvimento de políticas como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). A proposta do PSA é de ser um mecanismo de valoração dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos provindos da natureza, através da compensação financeira ou não àqueles que desenvolvem ações em prol de sua provisão (Coelho *et al.*, 2021; Fidalgo *et al.*, 2017). O PSA também se trata de uma mudança na metodologia dos mecanismos de “comando e controle” que se caracterizam pelo uso de penalizações como forma de impor mudanças no comportamento do agente gerador de algum impacto ambiental (Teixeira *et al.*, 2019). Machado (2003) *apud* Gurski *et al.*, (2012, p.76) corrobora com a ideia apontando que:

“Atualmente a sociedade tende a rejeitar produtos ecologicamente incorretos e a Economia concebe uma forma de atingir o desenvolvimento sustentável através da chamada “ecoficácia”, que consiste, de modo geral, em concepções de produção fundamentadas em não comprometer as gerações futuras. Todas as ações necessitam de um equilíbrio para não se atingir situações extremas, como medidas de preservação muito rígidas que levariam à paralisação do processo produtivo diminuindo o bem estar social.”

Além de mecanismo de preservação, é também instrumento econômico, dado que a filosofia que norteia as políticas de PSA é o princípio do provedor-recebedor, ou seja, a compensação financeira (ou não) àqueles que provêm áreas destinadas à preservação. Os mecanismos de valoração ambiental atuais seguem três princípios: (1) atribuição de valores pelo uso (usuário-pagador); (2) em caso de danos ambientais, atribuição pelo impedimento do uso (poluidor-pagador); e (3) atribuição de valores pela proteção dos recursos naturais (protetor-recebedor/provedor-recebedor) (Pereira; Sobrinho, 2017).

Figura 1 – Esquema de funcionamento dos programas de PSA.



Fonte: INEA. <http://www.inea.rj.gov.br/propsa>.

Segundo Wunder (2015), a definição acerca do que realmente são os PSAs é extremamente relevante para a delimitação das suas atribuições metodológicas de implementação, não sendo uma mera questão taxonômica em torno do termo, visto que na

literatura assim como em decretos e leis, há diferentes formas de conceituação para conceitos equivalentes ou semelhantes.

Tanto na literatura nacional quanto internacional, é comum encontrar documentos se referindo aos Serviços Ecossistêmicos (SEs) e aos Serviços Ambientais (SAs) como conceitos iguais, assim como os termos: “*Payment for Ecosystem Services*” (PES) traduzido, Pagamento por Serviços Ecossistêmicos, sendo equivalente ao termo “*Payments for Environmental Services*”, traduzido Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Embora haja De acordo com Wunder (2015), baseando-se em pesquisas realizadas no *google*, o termo *Payments for Environmental Services* sobressai em relação a outras nomenclaturas em trabalhos que tratam de PSA.

A fim de evitar confusões conceituais e alinhar o conteúdo aqui exposto a recente Lei Nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que orienta os conceitos de implementação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), institui o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), o conceito de serviços ecossistêmicos e serviços ambientais não serão considerados sinônimos como em muitas publicações (Brasil, 2021).

De acordo com o Artigo 2º, incisos II e III da Lei Nº 14.119, ficam considerados como serviços ecossistêmicos e serviços ambientais respectivamente:

- a) Os benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais.
- b) As atividades individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos.

Os serviços ecossistêmicos ainda são subdivididos nas seguintes modalidades:

a) serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;

b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético;

c) serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;

d) serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros;

O PSA com enfoque hídrico é uma das diferentes modalidades que podem ser adotadas por essa política, baseando-se assim como os outros modelos na relação provedor-recebedor. Em 2006, a Agência Nacional de Águas (ANA) foi responsável por criar a primeira experiência de PSA com viés hídrico no Brasil, o programa Produtor de Água, no município de Extrema - MG. A partir da experiência positiva, o modelo foi expandido para outros municípios, entre 2007 e 2015, dez outros estados também elaboraram seus próprios programas para diferentes serviços ambientais. Segundo levantamento realizado por Coelho *et al.*, (2021), até o ano de 2017 dos 68 programas identificados, 44 estavam na região sudeste, sendo o bioma Mata Atlântica o maior detentor de iniciativas.

Todos estes programas na esfera subnacional, buscam de alguma forma proteger os serviços ecossistêmicos pertinentes as bacias hidrográficas, a conservação dos solos, a estabilidade climática e a biodiversidade, de acordo com os interesses e objetivos das esferas em que estão inseridos (Castro; Young, 2017). Até então, ao longo da implementação dos programas de PSA no Brasil, não havia uma legislação no domínio nacional para regulamentação e direcionamento das políticas públicas de PSA.

A Lei nº 14.119/2021, portanto, preenche uma lacuna no arcabouço de leis que endossam tais políticas, propondo as diretrizes, ações e critérios para implementação da PNPSA, englobando as iniciativas já existentes e futuras executadas nas diferentes esferas de poder e pelas diferentes instituições, (pelo Distrito Federal, pelos Municípios, pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, pela iniciativa privada, por Oscip e por outras organizações não governamentais), regulamentando conceitos e normas de pagamentos considerando as especificidades ambientais e socioeconômicas dos diferentes biomas, regiões e bacias hidrográficas.

2.1.1 PSA hídricos no estado do Rio de Janeiro

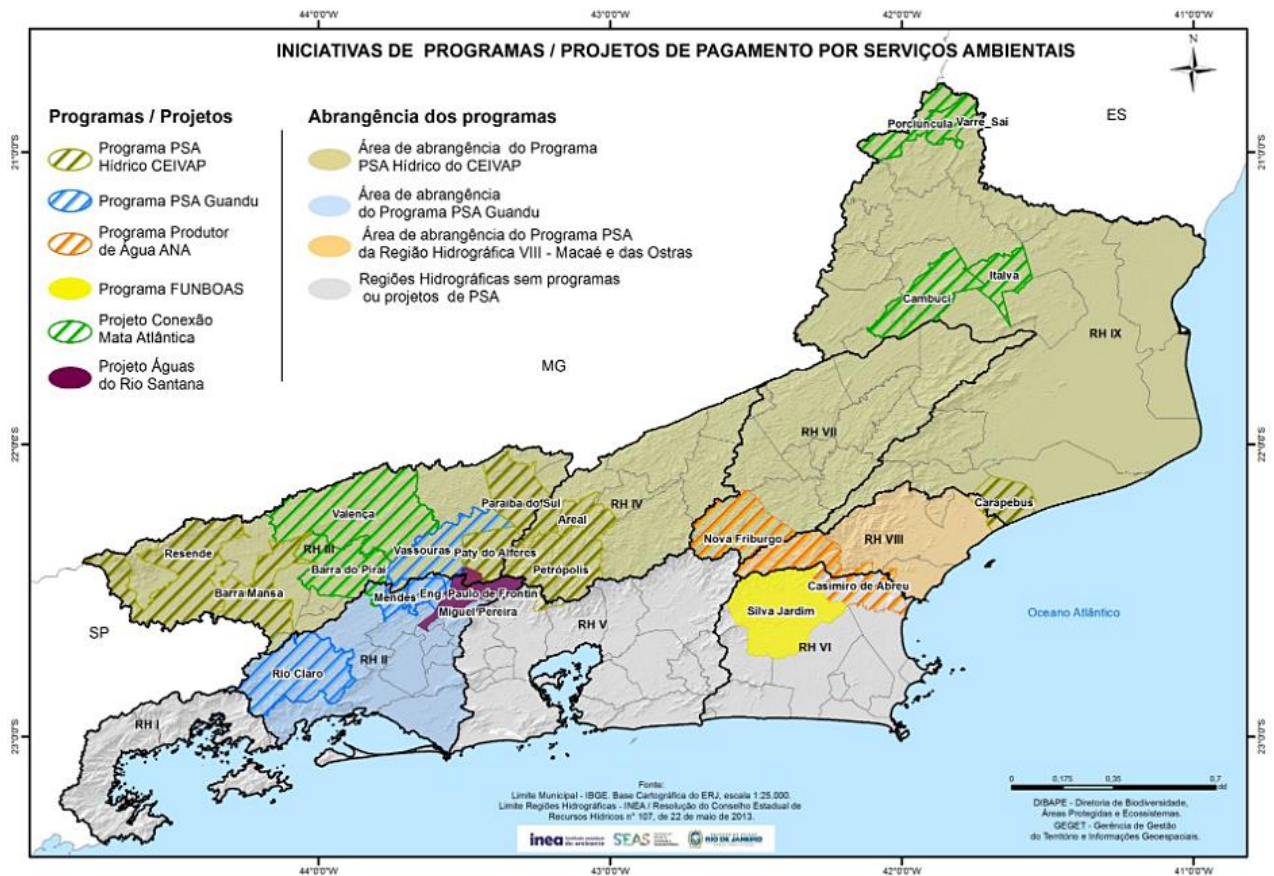
O primeiro programa de PSA hídrico do estado do Rio de Janeiro foi criado em 2007, intitulado Fundo de Boas Práticas Socioambientais em Microbacias (FUNBOAS), através da Resolução N° 13/2007 e regulamentado pela Resolução N° 23/2009 do Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João, inicialmente no município de Silva Jardim, mas tendo como objetivo garantir a conservação dos recursos naturais e principalmente os recursos hídricos da RH - VI (Silva, 2018).

Em 2008, foi criado o Produtores de Água e Floresta (PAF), no município de Rio Claro na bacia do rio das Pedras, com a premissa de estimular o aumento da cobertura florestal, a melhoria da qualidade da água mediante a redução de sólidos suspensos oriundos da erosão do solo e a disseminação da cultura de preservação de recursos naturais (Teixeira et al., 2019).

O pagamento realizado aos proprietários rurais ocorreu mediante o cumprimento das metas de manutenção florestal e incremento da cobertura vegetal, atribuindo valores diferenciados, segundo a relevância ecológica da área e o seu grau de conservação. As áreas elegíveis foram: as florestas em estágios sucessionais avançados e as Áreas de Preservação Permanente (no entorno de nascentes e margens de rios ou riachos e áreas consideradas “Interceptadoras de Água”) (Silva, 2018).

O desempenho positivo destes projetos iniciais, estimulou em 2011 a criação do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PRO-PSA), por meio do Decreto Estadual n.º 42.029/2011. Pode-se destacar a criação de outros programas ao longo da última década como: PRO-PSA Guandu (2012); Bacia do Rio Macaé (2013); Programa PSA Hídrico – CEIVAP (2014); Projeto Águas do Rio – Miguel Pereira (2014); Pacto pelas Águas do Estado do Rio de Janeiro – Projeto Rio das Flores (2016); o Próprio Produtor de Água da ANA e Conexão Mata Atlântica (2018).

Figura 2 – Mapa de distribuição dos projetos de PSA no estado do Rio de Janeiro até 2019.



Fonte: Portal do Programa Estadual de PSA: www.inea.rj.gov.br/propsa

O Decreto Estadual N° 42.029/2011 instituiu o Cadastro Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais (CPSA), regulamento pela Resolução CERHI-RJ N° 227/2020. O intuito do CPSA era de ser uma plataforma para registro e compartilhamento de dados referentes às iniciativas de PSA no Estado do Rio de Janeiro. No entanto, em 2021 por meio da Resolução CERHI-RJ n° 251/2021, o CPSA passa a integrar o Cadastro Estadual de Soluções Baseadas na Natureza (CESBN) alterando o art. 7° do Decreto Estadual n° 42.029.

Tal modificação foi proposta a fim de criar uma plataforma que integre e unifique as informações do Cadastro Estadual de Iniciativas de Proteção e Recuperação de Mananciais (CEPRM) aos do CPSA. Portanto, segundo a Resolução CERHI-RJ n° 251/2021, ficam consideradas como Soluções baseadas na Natureza (SbN): As medidas inspiradas e apoiadas na natureza, custo-efetivas, que provêm simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos e auxiliam no aumento da resiliência, por meio de intervenções sistêmicas, eficientes e adaptadas localmente. O termo abrange conceitos e terminologias similares como

infraestrutura verde ou natural, proteção e/ou recuperação de mananciais, contribuição da natureza para as pessoas, pagamento por serviços ambientais e afins.

Em 2013, a sub-bacia do rio Sacra Família no município de Mendes-RJ, foi definida como uma das seis áreas prioritárias de expansão do PAF, através do “Estudo de viabilidade de implantação do programa PRO-PSA na região hidrográfica Guandu - Rio de Janeiro”. A priorização da sub-bacia do rio Sacra Família se deve segundo ao estudo, por estar localizada em conjunto com as sub-bacias do Médio Pirai, Alto Pirai, Rio Santana e das represas Santana e Ribeirão das Lajes, consideradas algumas das áreas de maior potencial de aporte de sedimentos aos rios da região (INEA, 2013).

2.1.2 Produtores de Água e Floresta sub-bacia rio Sacra Família

O programa Produtores de Água e Floresta Sub-Bacia Rio Sacra Família foi aprovado a partir do Edital de Seleção PRO-PSA Guandu N° 04/2015 e objeto do Contrato N° 28/2018 - Agevap, com o objetivo de proporcionar o aumento de cobertura vegetal em áreas de preservação permanente (APPs) e demais áreas prioritárias, assim como melhorar a qualidade e quantidade de recursos hídricos da bacia mediante ações de conservação e restauração florestal que geram compensação financeira aos proprietários rurais (Crescente Fértil, 2019a).

Mediante aprovação da proposta encaminhada pela ONG Crescente Fértil (CF) em seleção pública, a mesma foi encarregada pela execução do programa Produtores de Água e Floresta Sub-Bacia Rio Sacra Família, inicialmente com o orçamento de R\$ 2.742.958,63. O contrato foi assinado em 19/06/2018 com vigência de 36 meses, entretanto, devido às complicações instauradas pelo cenário pandêmico mundial causado pela COVID-19 sobretudo ao longo dos anos de 2020, 2021 e parte de 2022, o prazo para o término das atividades foi estendido por termo aditivo ao Contrato N° 28/2018 - Agevap em 2021 para a data 18/06/2023.

Ao longo do projeto, parcerias foram firmadas entre a CF, Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), *The Nature Conservancy* (TNC), Fundação Dom André Arcoverde, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e também a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), esta última, por meio do trabalho desenvolvido no Laboratório de Geotecnia Ambiental (Crescente Fértil, 2019a).

Em 2019, como parte dos esforços para convocação das propriedades a participarem do PAF, 219 propriedades da sub-bacia do rio Sacra Família foram contactadas pela Crescente Fértil nos meses de Maio e Junho, destas 115 foram diretamente contactadas por meio de visita e diálogo com seus representantes e as outras 104 foram indiretamente contactadas por meio do material de divulgação do projeto, deixado próximo às suas respectivas entradas, conforme descrito no relatório 7 da Crescente Fértil (2019a).

Em julho, uma reunião foi realizada pela Comissão de Avaliação do Projeto (CAP) para análise das inscrições de propostas para participação do Projeto Produtores de Água e Floresta Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sacra Família – PRO-PSA GUANDU enviadas pelas propriedades interessadas. No total foram recebidas 37 propostas, destas, 23 no município de Engenheiro Paulo de Frontin, 12 no município de Mendes e 2 no município de Vassouras (Crescente Fértil, 2019a, 2019b).

Definitivamente, das 37 candidaturas enviadas pelas propriedades interessadas, 30 foram consideradas habilitadas, isto porque além do interesse, uma série de condições, regras e requisitos exigidos pelo edital de chamamento “Edital nº 01/2019” precisaram ser atendidos e dessas 30, 27 prosseguiram no projeto. Sendo assim, a distribuição final das propriedades contempladas foi: 17 no município de Engenheiro Paulo de Frontin, 11 no município de Mendes e 2 no município de Vassouras. As propriedades posteriormente tiveram suas áreas integralmente mapeadas e o uso e cobertura do solo detalhadamente descrito, estas informações foram publicadas no relatório 9 da Crescente Fértil (2019c).

Os requisitos solicitados para participação no PAF são expostos a seguir de acordo com as informações do “Manual de Orientação ao Proponente para Participação no Projeto Produtores de Água e Floresta”, onde as propostas deveriam contemplar as duas modalidades de ações:

Conservação de remanescentes florestais: manutenção das áreas existentes de florestas nativas da Mata Atlântica, com sua valorização enquanto área geradora de benefícios socioambientais extra propriedade.

Restauração florestal: recuperação e proteção de áreas de mananciais, e outras áreas prioritárias promovendo a gradativa alteração da cobertura do solo, amenizando os processos erosivos e visando a recuperação da floresta nativa.

A área mínima para restauração florestal: “É condição para participação no projeto que o proponente disponibilize no mínimo 25% do total de área prioritária sem cobertura florestal como meta para restauração florestal contratada no projeto, desde que atenda a meta mínima equivalente a meio hectare contínuo por propriedade”. As propriedades com áreas prioritárias vegetadas não possuem um percentual mínimo cobrado (Crescente Fértil, 2019).

A documentação do proponente, seja este, pessoa física ou jurídica respectivamente: Identidade; CPF ou CNPJ; Comprovante de residência; Certificado de Regularidade do FGTS (CRF); Certidão Negativa de Débitos (CND) relativos ao Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS) emitida pela Receita Federal; Certidão Negativa da Receita/Dívida Ativa do Estado; Certidão Negativa da Receita/Dívida Ativa do Município.

A documentação da área intervenção, podendo esta ser um dos seguintes documentos: Registro Geral de Imóvel (RGI); Posse de imóvel em área desapropriada; Imóvel recebido em doação por ente público; Imóvel recebido em doação por particular; Cessão de uso; Usucapião individual e coletivo urbano; Área de propriedade do Incra; Posse de imóvel localizado em área de zonas especiais de interesse social (Zeis); Imóveis tombados como patrimônio histórico, artístico, arqueológico, cultural ou turístico; Área ocupada por comunidade remanescente de quilombos.

A compensação financeira se deu com base na área (em hectares) contratada e no percentual de restauração proposta (participação), cujo cálculo utilizou quatro parâmetros, conforme o quadro a seguir, para a participação do projeto, independente da área a ser restaurada ou conservada, foi definido o valor fixo de R\$ 180,00 (cento e oitenta reais) por propriedade ao ano (Crescente Fértil, 2019).

Quadro 1 – Referência para cálculo de PSA por ação implementada em R\$/ha/ano.

	Restauração	Bem Cuidada		Médio Cuidada
		50,00		30,00
		% de Restauração (Participação)		
Conservação		25-50%	51-75%	76-100%
Sem contexto de proximidade ou inclusão em Unidades de Conservação	APPs (Vegetação em EM ou EA)	30,00	40,00	50,00
	APPs (Vegetação em EI)	20,00	30,00	40,00
	Outras áreas com floresta (em EM ou EA)	20,00	30,00	40,00
	Outras áreas com floresta (em EI)	10,00	20,00	30,00
Entorno de Unidades de Conservação + APA + RPPN	APPs (Vegetação em EM ou EA)	36,00	48,00	60,00
	APPs (Vegetação em EI)	24,00	36,00	48,00
	Outras áreas com floresta (em EM ou EA)	24,00	36,00	48,00
	Outras áreas com floresta (em EI)	12,00	24,00	36,00

Fonte: Adaptado de Crescente Fértil (2019). EI - Estágio inicial; EM - Estágio Médio; EA - Estágio Avançado.

Após a valoração também é aplicado um fator de correção de acordo com o tamanho da propriedade, com base nos módulos fiscais, onde: Até 4 módulos = 1,8; De 4 a 10 módulos = 1,5; De 10 a 20 módulos = 1,2 e acima de 20 módulos = 1,05. Os valores ainda estão sujeitos a reajuste para mais, a qualquer tempo, desde que autorizados pela AGEVAP.

O repasse dos valores aos produtores contratados compete às prefeituras, com recursos repassados pela AGEVAP. No caso da ocorrência de qualquer impedimento que inviabilize o repasse dos recursos de compensação da AGEVAP ao Município, a compensação destinada ao Contratado é substituída pela implantação de benfeitorias com valor equivalente, custeadas pela AGEVAP.

As candidaturas enviadas, excluindo as não habilitadas, foram avaliadas pela Comissão de Avaliação do Projeto (CAP) que ficou responsável em hierarquizar as propostas

de trabalho dos proprietários inseridos na área de abrangência do projeto. Das 37 inscrições, 1 não atendeu a exigência de complementação da documentação, 6 estão fora da área de abrangência do projeto e trinta foram visitadas para a elaboração da proposta de trabalho e coleta das informações para a hierarquização.

De acordo com a Crescente Fértil (2019d) “As trinta propostas de trabalho foram avaliadas individualmente pelos membros da CAP. O grupo observou o mapa de uso e ocupação do solo, o mapa da proposta de trabalho e a proposta de trabalho de cada proprietário. A pontuação de cada proprietário foi tabulada conforme os critérios de hierarquização do edital.”.

Quadro 2 – Pontuação dos critérios de hierarquização.

Manancial de abastecimento público: priorizar propostas inseridas totalmente ou parcialmente em mananciais de abastecimento público	Sim	Não		
	10	0		
Recursos hídricos: priorizar propostas possuidoras de nascentes que atendem o maior número de unidades habitacionais (uh)	1 UH	2 UH	>3 UH	
	2	4	6	
Grau de participação: priorizar propostas que apresentem maiores percentuais de restauração em áreas prioritárias para a conservação dos recursos hídricos.	0-25%	25-50%	50-75%	>75%
	0	2	4	6
Área de conservação florestal: priorizar propostas que apresentem maiores percentuais de áreas de conservação florestal em relação à área da propriedade (imóvel)	0-25%	25-50%	50-75%	>75%
	0	1	2	3
Saneamento rural: priorizar propostas que possuem fossa séptica para o tratamento do esgoto doméstico na área rural	Sim	Não		
	2	0		
Agricultor familiar: priorizar propostas apresentadas para imóveis cujos proprietários sejam comprovadamente enquadrados como “agricultor familiar ou empreendedor familiar rural” (Lei federal nº 11.326/2006, art. 3º).	Sim	Não		
	3	0		

Fonte: Adaptado de Crescente Fértil (2019d).

As práticas de restauro florestal que vêm sendo empregadas dentro do contexto do PAF, têm como objetivo contribuir na minimização da erosão para melhoria da qualidade da água mediante a redução de sólidos suspensos oriundos dos processos erosivos, uma vez que

o aumento da cobertura vegetal pode influenciar diretamente na dinâmica do comportamento hídrico ao longo das bacias hidrográficas.

Embora o PAF se preocupe com a redução da erosão, a metodologia de avaliação do desempenho das práticas de restauro florestal do projeto não segue por exemplo a metodologia de Percentual de Abatimento da Erosão (PAE), a qual é adotada no famigerado projeto Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas (ANA) e replicada em outros PSAs, onde usa-se o cálculo baseado no percentual de abatimento de erosão das práticas de conservação do solo descritas em Chaves *et al.*, (2004).

A metodologia consiste praticamente na simplificação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), onde adota-se apenas dois dos seis fatores que compõem a equação, sendo eles: C o fator de uso e manejo do solo, e P o fator de práticas conservacionistas (Chaves *et al.*, 2004). O produto entre P e C se dá pela seguinte equação:

$$P.A.E (\%) = 100 (1 - Z1/Z0) \quad (1)$$

Sendo Z0 os valores referentes a perda de solo na condição inicial e Z1 os valores de perda na condição proposta, os quais encontram-se definidos em uma série de trabalhos que constituem uma tabela em Chaves *et al.*, (2004) que pode ser consultada para aplicação.

Embora a PAE seja um modelo facilmente aplicável e que reduza consideravelmente os esforços e os custos no que tange o monitoramento da erosão, como mencionado, se trata de uma simplificação, acabando por não abranger os muitos fatores que compõem a dinâmica hidrossedimentológica das vertentes, que podem ser constituídas por diferentes tipos de solo e composição mineralógica, estar sob diferentes condições climáticas e topográficas, e, possuir diferentes sistemas de manejo e uso cobertura.

A metodologia aplicada hoje pelo PAF, nesse sentido, não consegue mensurar todos os fatores abióticos e bióticos relacionados aos processos erosivos e comportamento da água no solo. Como será abordado no subitem adiante, o PAF adota a “Calculadora da restauração florestal”, na qual apenas os fatores relacionados à fitofisionomia da vegetação são levados em consideração como parâmetros avaliativos do desempenho do restauro florestal.

Nos quadros a seguir são expressos os valores referentes à compensação financeira realizada pelo PAF ao Sítio Vô Lisse nos anos de 2021 e 2022, propriedade na qual o trabalho de monitoramento e caracterização das propriedades do solo na estação experimental instalada foi realizado para esta dissertação. O valor a ser pago anualmente aos proprietários

contemplados pelo PAF é resultado da combinação dos indicadores expressos na equação 2, minuciosamente destrinchada adiante.

De acordo com a Crescente Fértil (2020), a escolha da propriedade em detrimento das outras candidaturas para a manutenção dos experimentos conduzidos pela Embrapa Solos e pesquisadores da UERJ se deu por conta da aptidão da proprietária e de seu ajudante para o manejo agroecológico e de sistemas agroflorestais.

Quadro 3 – Pontuações finais dos indicadores N1, N2 e N3 do PSA calculados em 2021 para o Sítio V6 Lisse – Mendes (RJ).

Indicadores	Parâmetros	Valor
N1	<ul style="list-style-type: none"> - Possui área com vegetação nativa excedente à APP e RL: Não possui excedente - Conectividade entre as áreas naturais internas: Abaixo de 50% das áreas naturais da propriedade encontra-se desconectada - Situação da APP: A maioria das APP encontra-se sem vegetação nativa, mas existe alguma atividade para recuperação das mesmas - Situação da Reserva legal: A maioria da RL encontra-se sem vegetação nativa, mas existem atividades de recuperação da mesma - Inserção em Unidades de Conservação: Não inserida em UC 	0,20
N2	<ul style="list-style-type: none"> - Possui técnicas de controle de erosão/sedimentação: Não - Conservação do solo: Tem problemas de uso do solo, mas tem ações de conservação do mesmo - Utilização de insumos químicos: Certificação orgânica - Possui áreas de pasto cercadas: Limites entre as áreas naturais e as áreas de pasto totalmente cercadas ou não se aplica - Tem ponto de dessedentação direto no curso d'água: Não ou não se aplica - Sistema de produção: Consórcio com a presença de espécie arbórea ou não se aplica 	0,75
N3	<ul style="list-style-type: none"> - Possui sistema de tratamento de esgoto doméstico: Não possui ou está a menos de 15m de cursos d'água ou nascentes - Destinação adequada dos resíduos sólidos: Compostagem, reaproveitamento, separação e destinação adequada de resíduos sólidos - Possui destinação adequada de dejetos de origem animal: Sim ou não se aplica - Enquadra-se como agricultor familiar: Sim - Possui criação de abelhas: Não - Utilização de água pluvial: Sim 	0,60
Valor a ser compensado pelo PSA		R\$ 500

Fonte: Adaptado de Crescente Fértil, 2022.

Quadro 4 – Pontuações finais dos indicadores N1, N2 e N3 do PSA calculados em 2022 para o Sítio V6 Lisse – Mendes (RJ).

Indicadores	Parâmetros	Valor
N1	<ul style="list-style-type: none"> - Possui área com vegetação nativa excedente à APP e RL: Não possui excedente - Conectividade entre as áreas naturais internas: Abaixo de 50% das áreas naturais da propriedade encontra-se desconectada - Situação da APP: A maioria das APP encontra-se sem vegetação nativa, mas existe alguma atividade para recuperação das mesmas - Situação da Reserva legal: A maioria da RL encontra-se sem vegetação nativa, mas existem atividades de recuperação da mesma - Inserção em Unidades de Conservação: Não inserida em UC 	0,20
N2	<ul style="list-style-type: none"> - Possui técnicas de controle de erosão/sedimentação: Não - Conservação do solo: Tem problemas de uso do solo, mas tem ações de conservação do mesmo - Utilização de insumos químicos: Certificação orgânica - Possui áreas de pasto cercadas: Limites entre as áreas naturais e as áreas de pasto totalmente cercadas ou não se aplica - Tem ponto de dessedentação direto no curso d'água: Não ou não se aplica - Sistema de produção: Consórcio com a presença de espécie arbórea ou não se aplica 	0,75
N3	<ul style="list-style-type: none"> - Possui sistema de tratamento de esgoto doméstico: Não possui ou está a menos de 15m de cursos d'água ou nascentes - Destinação adequada dos resíduos sólidos: Compostagem, reaproveitamento, separação e destinação adequada de resíduos sólidos - Possui destinação adequada de dejetos de origem animal: Sim ou não se aplica - Enquadra-se como agricultor familiar: Sim - Possui criação de abelhas: Não - Utilização de água pluvial: Sim 	0,60
Valor a ser compensado pelo PSA		R\$ 500

Fonte: Adaptado de Crescente Fértil, 2023.

As informações a seguir referentes ao cálculo adotado na valoração do PAF foram extraídas do material de apoio formatado pela AGEVAP baseado na Resolução Comitê-Guandu n° 143 de 2019 e destinado diretamente aos executores do PSA, onde a metodologia é detalhada para compreensão das notas atribuídas por cada indicador avaliado. A metodologia foi desenvolvida pela Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza para o projeto Oásis, a qual adota os indicadores apresentados no quadro 3, que representam respectivamente a conservação da vegetação nativa (N1), práticas conservacionistas (N2) e gestão da propriedade (N3). Portanto o valor a ser pago anualmente para cada propriedade participante do projeto, é expresso pela seguinte equação:

$$\mathbf{PSA}=\mathbf{X}\times\mathbf{Z}\times(\mathbf{1}+\mathbf{N1}+\mathbf{N2}+\mathbf{N3}) \quad (2)$$

Onde:

X = Valor base da fórmula, relacionado ao custo de oportunidade da terra;

Z = Área da propriedade que participa do projeto, considerando o peso atribuído a diferentes classes de participação;

N1 = Nota atribuída em função da pontuação na tábua de valoração para os indicadores relacionados à conservação da vegetação nativa.

N2 = Nota atribuída em função da pontuação na tábua de valoração para os indicadores relacionados a práticas conservacionistas.

N3 = Nota atribuída em função da pontuação na tábua de valoração para os indicadores relacionados à gestão da propriedade.

De acordo com a metodologia, o valor base de **X** foi definido como R\$ 70,00, sendo, portanto, o valor mínimo a ser pago por hectare participante do projeto. De acordo com o documento disponibilizado pela AGEVAP que detalha a metodologia Oásis, para se chegar a **X** foi realizado um levantamento do custo médio de arrendamento de terra nos municípios localizados na área prioritária para o Programa PRO-PSA Guandu, sendo estipulado, portanto, um valor que representa 25% do total de arrendamento.

Z foi definido com base na área da propriedade que participa do projeto, sendo consideradas três classes diferentes, entre elas: conservação, regeneração e restauração. A conservação consiste nas áreas que já apresentam cobertura de vegetação nativa, independentemente de seu estágio sucessional desde que atendam os critérios da tabela 1 a seguir; A regeneração consiste de áreas cuja vegetação nativa foi suprimida no passado e que

se encontra em processo de regeneração natural; Por fim, a restauração foi considerada áreas onde a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas, que ainda não atendem aos critérios estabelecidos para classe “regeneração” e que serão destinadas para restauração florestal realizada pelo projeto.

Tabela 1– Classes de participação do projeto com seus respectivos critérios de enquadramento e pesos para composição da variável Z.

CLASSE	DESCRIÇÃO	Peso	Z
Conservação	Área enquadrada nos estágios primários ou secundários de regeneração da Mata Atlântica cujos parâmetros atendam as seguintes condições: I – densidade superior a 1250 indivíduos arbóreos por hectare; II - riqueza de espécies arbóreas superior a 10 espécies; III – cobertura de copa superior a 50%; e IV – altura média superior a 2 m*	1	$(Área \times Peso)$
Regeneração	Áreas em processo de regeneração natural, que não se enquadram nos critérios da classe de conservação e que atendem as seguintes condições: I – densidade de indivíduos arbóreos superior a 600 indivíduos por hectare; e II - riqueza de espécies arbóreas igual ou superior a 3 espécies*. Essas áreas são elegíveis para utilização das técnicas de enriquecimento e condução da regeneração natural ou apenas o isolamento.	0,8	$(Área \times Peso)$
Restauração	Entende-se por área em que a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas, que não se enquadram nos critérios acima mencionados e que, a partir da assinatura do contrato de adesão ao Projeto, será destinada para restauração florestal. A restauração dessas áreas poderá ser realizada mediante plantio total ou sistema agroflorestal. Tais técnicas poderão ser combinadas com condução da regeneração natural e outras.	0	$(Área \times Peso)$
TOTAL (Z)			Σ coluna

Nota: De acordo com a Resolução INEA nº 143 de 14 de junho de 2017.

Fonte: Adaptado da resolução Comitê-Guandu nº 143.

N1 foi definido a partir de cinco indicadores relacionados à conservação da vegetação nativa, os quais podem ser observados na Tabela 2. A nota final da propriedade neste parâmetro pode variar de 0 a 1 sendo obtida através do somatório da pontuação de cada indicador. Dentro de cada indicador a pontuação não é acumulativa, devendo ser considerada a maior pontuação obtida.

Tabela 2 – Indicadores utilizados para composição de N1 – Conservação da vegetação nativa e suas respectivas descrições e pontuações.

Indicadores/métricas	Respostas	Pontuação	Descrição
Possui área com vegetação nativa excedente à APP e RL	Acima de 60% de excedente	0,2	% de área com vegetação nativa excedente a de Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP). Este percentual é definido dividindo-se a área de vegetação nativa excedente pela área total de vegetação nativa da propriedade. No caso de valores exatos (10, 20, 40 ou 60%), considera-se a classe de maior pontuação.
	De 40 a 60%	0,18	
	De 20 a 40%	0,15	
	De 10 a 20%	0,1	
	Abaixo de 10%	0,05	
	Não possui excedente	0	
Conectividade entre as áreas naturais internas	Todas as áreas naturais formam um bloco único	0,2	As áreas naturais da RL, APP e demais áreas naturais estão <u>totalmente</u> conectadas.
	Acima de 50% do total de áreas naturais da propriedade forma um bloco único	0,1	Entre os fragmentos de áreas naturais preservados da propriedade, o maior representa 50% ou mais da soma das áreas naturais cadastradas.
	Abaixo de 50% das áreas naturais da propriedade encontra-se desconectada	0	As áreas naturais da RL, APP e demais áreas naturais não estão conectadas, encontram-se separadas por áreas degradadas, áreas de cultivo ou pastagem e/ou possuem uma conectividade abaixo de 50% de áreas naturais.
Situação da APP	APP totalmente preservadas	0,2	Todas as APP da propriedade encontram-se com cobertura classificada como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.
	Acima de 75% da APP com vegetação nativa	0,15	Apresenta 75% ou mais das APP com cobertura classificada como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.
	Acima de 50% da APP com vegetação nativa	0,1	Apresenta 50% ou mais das APP com cobertura classificada como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.

A maioria das APP encontra-se sem vegetação nativa, mas existe alguma atividade para recuperação das mesmas	0,05	A maior parte da APP (menos de 50%) consiste de área em que a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas e que não se enquadram nos critérios para classificação como "conservação" ou "regeneração". Contudo, existem atividades para recuperação dessas áreas, que podem ser executadas pelo projeto PAF ou por iniciativa do proprietário. Essas atividades podem ser tanto de plantio de espécies nativas, quanto de isolamento para permitir a regeneração natural.
A maioria das APP encontra-se sem vegetação nativa e não existe nenhuma atividade de recuperação das mesmas	0	A maior parte da APP (menos de 50%) consiste de área em que a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas e que não se enquadram nos critérios para classificação como "conservação" ou "regeneração". Adicionalmente, não existem atividades para recuperação dessas áreas.
<hr/>		
RL totalmente preservada	0,2	Possui RL integralmente coberta por áreas classificadas como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.
Acima de 75% da APP com vegetação nativa	0,15	Apresenta 75% ou mais da RL com cobertura classificada como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.
Acima de 50% da RL com vegetação nativa	0,1	Apresenta 50% ou mais da RL com cobertura classificada como conservação ou regeneração, conforme critérios estabelecidos para definição de Z.
Situação da Reserva legal		
A maioria da RL encontra-se sem vegetação nativa, mas existem atividades de recuperação da mesma	0,05	A maior parte da RL (menos de 50%) consiste de área em que a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas e que não se enquadram nos critérios para classificação como "conservação" ou "regeneração". Contudo, existem atividades para recuperação dessas áreas, que podem ser executadas pelo projeto PAF ou por iniciativa do proprietário. Essas atividades podem ser tanto de plantio de espécies nativas, quanto de isolamento para permitir a regeneração natural.
<hr/>		

	A maioria da RL encontra-se sem vegetação nativa e não existe nenhuma atividade de recuperação da mesma	0	A maior parte da RL (menos de 50%) consiste de área em que a vegetação nativa foi suprimida por atividades pretéritas e que não se enquadram nos critérios para classificação como "conservação" ou "regeneração". Adicionalmente, não existem atividades para recuperação dessas áreas.
	A totalidade das áreas naturais da propriedade é RPPN	0,2	Toda a área natural da propriedade contratada é RPPN registrada em diário oficial.
	Parte das áreas naturais da propriedade é RPPN	0,15	Algumas áreas naturais da propriedade contratada constituem Reserva Particular do Patrimônio Natural registrada em diário oficial.
Inserção em Unidades de Conservação	A totalidade ou parte da propriedade está inserida em UC de proteção integral onde é permitido domínio particular	0,1	Áreas da propriedade contratada, ou sua totalidade, estão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, como Refúgio da Vida Silvestre ou Monumento Natural.
	A totalidade ou parte da propriedade está inserida em alguma categoria de UC de uso sustentável	0,05	Algumas áreas naturais da propriedade contratada estão em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, como Área de Proteção Ambiental, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Área de Relevante Interesse Ecológico.
	Não inserida em UC	0	Não possui nenhuma área da propriedade inserida em Unidade de Conservação.

Fonte: Adaptado da resolução Comitê-Guandu n° 143.

N2 foi definido a partir de cinco indicadores relacionados à práticas conservacionistas, as quais podem ser observados na Tabela 3. Assim como no parâmetro anterior, a nota final da propriedade pode variar de 0 a 1 sendo obtida através do somatório da pontuação de cada indicador e não sendo acumulativa entre cada um deles.

Tabela 3 – Indicadores utilizados para composição de N2 – Práticas conservacionistas e suas respectivas descrições e pontuações.

Indicadores/métricas	Respostas	Pontuação	Descrição
Possui técnicas de controle de erosão/sedimentação	Sim, ou não se aplica	0,2	Técnicas de controle de erosão, de pequenas ou grandes proporções, são aplicadas na propriedade. Utilizam-se curvas de nível na agricultura; dispersores de água ou redutores de velocidade das águas servíveis, etc.
	Não	0	0
Conservação do solo	Não tem problemas visíveis de uso de solo	0,2	Problemas visíveis de uso do solo podem ser verificados a partir da ocorrência de voçorocas, reptação em encostas, grandes áreas de solo exposto, etc. Estradas vicinais internas com problemas visíveis de erosão/drenagem
	Tem problemas de uso do solo, mas tem ações de conservação do mesmo.	0,1	
	Tem problemas de uso do solo e NÃO tem ações de conservação do mesmo	0	
Utilização de insumos químicos	Certificação orgânica	0,2	Apresenta produção animal e/ou vegetal certificada.
	Sem uso de insumos químicos ou não se aplica	0,1	Na área produtiva da propriedade somente se utiliza de insumos orgânicos ou não possui área produtiva na propriedade.
	Utilização de insumos químicos	0	Utiliza insumos químicos em sua área produtiva (agrícola ou pecuária).
Possui áreas de pasto cercadas	Limites entre as áreas naturais e as áreas de pasto totalmente cercadas ou não se aplica	0,2	As áreas de pastagem são separadas de todas as áreas naturais e APP por meio de cercas. Critério não se aplica para propriedades onde não há pressão de animais nas áreas naturais.
	Limites entre a APP e as áreas de pasto totalmente cercados	0,15	As áreas de pasto são cercadas somente nas proximidades das APP, não existindo cercas entre as demais áreas naturais da propriedade.
	Não há separação das áreas naturais e áreas de pasto	0	A propriedade não possui cerca separando a área de pasto das áreas naturais.
Tem ponto de dessedentação direto	Não ou não se aplica	0,2	Acesso direto de animais no rio. Na ausência de animais na propriedade o critério não se aplica.

no curso d'água

Sim

0

0

Fonte: Adaptado da resolução Comitê-Guandu nº 143.

N3 foi definido a partir de cinco indicadores relacionados à práticas conservacionistas, as quais podem ser observados na Tabela 3. Assim como nos parâmetros anteriores, a nota final da propriedade pode variar de 0 a 1 sendo obtida através do somatório da pontuação de cada indicador e não sendo acumulativa entre cada um deles.

Tabela 4 – Indicadores utilizados para composição de N3 – Gestão da propriedade e suas respectivas descrições e pontuações.

Indicadores/métricas	Respostas	Pontuação	Descrição
	Biodigestor	0,2	
Possui sistema de tratamento de esgoto doméstico	Tratamento comum distante mais de 15m de curso d'água ou nascentes	0,15	A propriedade contratada possui um sistema de tratamento de esgoto, que pode ser biodigestor, fossa séptica ou sistema de tratamento alternativo (zona de raízes).
	Não possui ou está a menos de 15m de cursos d'água ou nascentes	0	
	Compostagem, reaproveitamento, separação e destinação adequada de resíduos sólidos	0,2	São realizadas técnicas de compostagem de resíduos orgânicos. São realizadas técnicas/ações de reaproveitamento de resíduos sólidos sendo utilizado o material para outro fim (ex: obras artísticas, brinquedos, entre outros) ou os resíduos gerados são destinados para a coleta seletiva e, posteriormente, os materiais são reciclados.
Destinação adequada dos resíduos sólidos	Destinação convencional de resíduos sólidos para aterro sanitário, com separação apenas do resíduo orgânico	0,1	São realizadas técnicas de compostagem de resíduos orgânicos e os demais resíduos sólidos gerados são destinados de maneira convencional (sem separação adequada dos materiais) em aterros sanitários/ aterros controlados ou lixões.
	Destinação convencional de resíduos sólidos para aterro sanitário (sem separação)	0,05	Os resíduos sólidos e orgânicos gerados são destinados de maneira convencional (sem separação adequada dos materiais) em aterros sanitários/ aterros controlados ou lixões.
	Não há destinação adequada de resíduos sólidos	0	Na propriedade não são adotadas boas práticas para a destinação de resíduos sólidos (ex: queima, descarte nos corpos hídricos, resíduo não

orgânico enterrado, entre outras ações).

Possui destinação adequada de dejetos de origem animal	Sim ou não se aplica	0,2	A propriedade realiza algum tipo de tratamento ou destinação adequada para os dejetos de origem animal. Na ausência de animais na propriedade o critério não se aplica.
	Não	0	
Enquadra-se como agricultor familiar	Sim	0,2	De acordo com o art. 3º da Lei Federal nº 11.326 de 2006, considera-se agricultor familiar aquele que pratica atividades no meio rural, que não detenha área maior do que 4 módulos fiscais, utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento e tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo.
	Não		
Possui criação de abelhas	Sim, abelhas nativas	0,2	Para contabilizar como criação é necessário que o produtor possua pelo menos 5 enxames. Se houver enxames tanto de nativa quanto de <i>apis</i> , a pontuação será aquela referente a categoria com maior número de enxames. No caso de criação mista, mas que tenham 5 ou mais enxames de nativa, a pontuação será 0,2, mesmo que os enxames de nativas ocorram em menor quantidade do que <i>apis</i> .
	Sim, <i>apis</i>	0,15	
	não		

Fonte: Adaptado da resolução Comitê-Guandu nº 143.

2.1.3 Restauração florestal no estado do Rio de Janeiro

No Brasil, mais de 99% dos desmatamentos não possuem autorização para realizar a supressão vegetal, conforme registro no SINAFLOR/IBAMA, ocorrendo sobretudo de maneira ilícita, provocando sérios danos aos biomas brasileiros (Map Biomas, 2021). Segundo estudo realizado em 2020 pelo Map Biomas (2021), cerca de 92% do desmatamento hoje ocorre nos biomas Amazônia e Cerrado, tendo havido um crescimento de 13,6% em relação ao ano anterior. As Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) também não conseguiram se manter livres do desmatamento, dos 1.385.343 hectares desmatados distribuídos pelos seis biomas brasileiros, 12,6% e 7,3% respectivamente ocorreram no interior dessas áreas protegidas.

Ainda segundo os dados obtidos pelo Map Biomas (2021), o número de hectares desmatados no bioma Mata Atlântica em 2020 por exemplo chegou a 125% em relação aos dados de 2019, o que é equivalente a 23.873 ha, 13.270 ha a mais que o ano anterior. A Floresta Atlântica abrange nove das doze regiões hidrográficas do Brasil, sendo um dos hotspots mundiais por conta de sua rica biodiversidade a qual configura uma das mais ameaçadas do planeta. É responsável por prover serviços ecossistêmicos essenciais ao equilíbrio da vida de pelo menos 70% da população brasileira (SOS Mata Atlântica, 2021).

O Rio de Janeiro guarda para si o emblemático pioneirismo na condução de práticas de reflorestamento, como o caso da floresta da Tijuca iniciado em 1862 por D. Pedro II. A expansão urbana da então capital, aumentou a demanda pelo abastecimento hídrico, por um clima mais saudável e por áreas de lazer para elite carioca, momento no qual os reflexos da degradação dos maciços urbanos passaram a ser percebidos. Remontando a história em comum ao MVRPS, onde os morros foram ocupados para o plantio de lavouras de café, milho e cana de açúcar (Fernandez, 2011).

Atualmente, as iniciativas de restauração florestal conduzidas no estado do Rio de Janeiro, seguem a resolução INEA nº 143/2017, que institui o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração (SEMAR), o qual estabelece os critérios, diretrizes e orientações sobre a elaboração e monitoramento de projetos desta ordem.

A resolução define a restauração florestal como: o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, consistindo em atividade intencional que desencadeia ou acelera a recuperação da integridade ecológica de um ecossistema, de forma natural ou assistida, incluindo um nível mínimo de

biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando seus valores ecológicos, ambientais e sociais.

Outros importantes termos definidos pela resolução a serem mencionados no contexto deste trabalho são:

Projeto de Restauração Florestal (PRF): instrumento de ordenamento, sistematização, planejamento, execução e monitoramento da restauração florestal, com objetivos, metodologias, prazos e metas definidos para o estabelecimento de um novo ecossistema floresta;

Indicadores ecológicos: variáveis que podem ser medidas com facilidade e precisão para o monitoramento das alterações na biodiversidade ou nos processos ecológicos do ecossistema em restauração, ao longo de sua trajetória em relação ao estado desejado ou ao estado inicial documentado em um projeto de restauração ecológica;

Restaurador: pessoa física ou jurídica, compromissada ou não por meio de processo de licenciamento ambiental, incluindo ações voluntárias, responsável pelo Projeto de Restauração Florestal;

Plantio de espécies nativas: técnicas que introduzem deliberadamente novos indivíduos vegetais nativos na área, por meio de plantio de mudas, ramos, sementes, raízes ou quaisquer tipos de propágulos;

O SEMAR estabelece também as obrigações de cada um dos agentes envolvidos no processo de restauração florestal, dentre elas a do restaurador e órgão público (INEA). O restaurador deve monitorar periodicamente as áreas em restauração até o atingimento dos indicadores ecológicos estabelecidos para a quitação no Anexo II da Resolução Inea Nº 143/2017, respeitando-se o período mínimo de 4 (quatro) anos, a contar da data de aprovação da Certificação da Implantação, devendo ser apresentado anualmente ao processo de acompanhamento do PRF. O INEA estabelece os prazos para apresentação dos relatórios de certificação e monitoramento da implantação, sendo estes avaliados em um prazo de 60 dias a contar do recebimento, aprovados quando de acordo e solicitada a adequações quando necessária. Também é obrigação do INEA realizar vistorias para fins de quitação, emitindo

parecer favorável ou não à quitação do PRF, gerando assim um Termo de Quitação Parcial/Total do PRF (INEA, 2019).

O Manual de Procedimentos para o Monitoramento de Áreas em Restauração Florestal no Estado do Rio de Janeiro, como instrumento da resolução Inea N° 143/2017, apresenta a metodologia para obtenção de dados para elaboração do Relatório de Monitoramento para Certificação da Implantação, baseada no Diagnóstico Ecológico Rápido (DER).

Quadro 5 – Parâmetros adotados na “calculadora da restauração florestal”.

Certificação para quitação / floresta / ano 4					
Parâmetros indicadores	Crítico Nota = 0	Mínimo Nota = 0,65	Adequado Nota = 1	Resultado do monitoramento	Nota
Densidade (ind./ha)	< 1111	> 1111 < 1250	>1250		
Ind. Zoocóricos (%)	< 40	≥ 40 < 60	> 60		
Cobertura de copa (%)	< 50	≥ 50 < 70	≥ 70		
Equidade J'	< 0,6	≥ 0,6 < 0,8	> 0,8		
Riqueza de espécies	< 10	≥ 10 < 20	≥ 20		
Altura média (m)	< 2	≥ 2 < 3	≥ 3		
Infestação de gramíneas (%)	≥ 30	> 20 < 30	≤ 20		
Conceito final	Σ nota x 1,42857*				
Conceito final > 8,0 = satisfatório; < 8,0 = insuficiente					

Nota: *Fator de correção: é calculado em função do número de parâmetros avaliados e permite que o conceito final atinja o valor máximo de dez (10) pontos, onde: (10/7 = 1,42857).

Fonte: Adaptado de INEA, 2019 e CUNHA, 2020.

Crítico (Quando os valores mínimos esperados não são atingidos, neste caso, será exigido a readequação do projeto por meio da realização de ações corretivas); **Mínimo** (os valores estão de acordo com a margem de tolerância, entretanto, são inferiores ao esperado, isto indica a necessidade da realização de ações corretivas visando não comprometer os resultados futuros); **Adequado** (os valores estão dentro do esperado).

A metodologia DER que os restauradores sempre utilizaram para avaliar seus projetos, tem como principal característica a medição direta dos parâmetros para a avaliação das ações de restauração. A execução desta metodologia em campo prevê a instalação de parcelas retangulares de 25 x 4 metros, orientadas no sentido norte. Para tal, estica-se uma trena no chão partindo de um ponto inicial até alcançar os 25 metros. Essa será a linha mestra de onde, para cada lado da trena, serão medidos e projetados os dois metros que delimitam a abrangência da parcela.

No interior de cada parcela, é estimada a altura de cada indivíduo arbóreo/arbustivo. Em seguida, todos os indivíduos com mais de 60 centímetros (altura próxima da linha do joelho do avaliador) serão identificados botanicamente ou coletados para posterior identificação

Quadro 6 – Indicadores utilizados para o monitoramento na metodologia DER.

Parâmetro	Descrição	Forma de Análise	Unidade
Densidade	Nº de indivíduos	Contagem do número de indivíduos maiores que 60 cm na parcela	Ind./ha
Zoocoria	Determinação da síndrome de dispersão	Identificação botânica dos indivíduos maiores que 60 cm na parcela	%
Altura	Medição da altura para fins de caracterização de formação do estrato arbóreo/floresta	Medição com trena entre 0,6 m e 1,30 m e através de estimativa visual quando superior a 1,30	m
Equidade J	Expressa a maneira pela qual o número de indivíduos se distribui entre as diferentes espécies	Contagem do número de indivíduos e identificação botânica das espécies	-
Riqueza	Número de espécies diferentes que ocorrem na área do projeto	Contagem do número de indivíduos e identificação botânica das espécies	nº de espécies nativas
Cobertura de copa	Percentual de cobertura do solo pela projeção da copa das árvores	Medição de todas as projeções de copas que toquem a trena localizada no centro da parcela de 25 m	%
Cobertura de gramíneas	Estimativa da cobertura de gramíneas, para fins de caracterização de competição com as mudas	Estimativa visual da cobertura e densidade de perfis que se toquem na trena localizada no centro da parcela	%

Fonte: Adaptado de INEA, 2019.

2.2 Degradação das terras e propriedades físico hídricas

A degradação das terras é um tema que vem chamando a atenção de forma crescente das autoridades globais, muito devido aos impactos socioambientais e econômicos resultantes principalmente das atividades antrópicas que estão tornando cada vez mais difíceis a manutenção deste importante recurso que é o solo. Dentre os fenômenos que levam à degradação química ou física das propriedades do solo, podem se destacar: a desertificação, a salinização, a acidificação, a poluição, os movimentos de massa e a erosão.

Segundo Bartley *et al.*, (2020), dentre as formas de degradação, a erosão hídrica acelerada é apontada como uma das mais prejudiciais e custosas de serem revertidas, principalmente quando atinge estágios avançados, formando feições erosivas como as voçorocas. De acordo com o autor, as atividades humanas já impactaram a taxa de erosão em escala global, afetando diretamente a produção agrícola, a quantidade de sedimentos que chegam aos rios e mares e inclusive o balanço de carbono do planeta, uma vez que os solos são considerados grandes reservatórios deste elemento.

A erosão hídrica é compreendida como um dos processos que causam a degradação dos solos, embora seja um fenômeno natural da dinâmica evolutiva do relevo, quando acelerada, pode culminar na perda de muitos hectares de solo (Morgan, 2005; Andrade; Freitas, 2018; Guerra *et al.*, 2020). A remoção da cobertura vegetal nas bacias hidrográficas é considerada um dos principais fatores para aceleração dos processos erosivos, uma vez que a retirada da vegetação promove a modificação do comportamento hidrossedimentológico dos solos, muito por conta da estreita relação entre o uso e manejo do solo às suas propriedades físicas e químicas (Lima; Guerra, 2019; Coelho Netto, 2021).

O impacto econômico anual da degradação dos solos provocado pela erosão gira na ordem de ~\$8 bilhões a ~\$231 bilhões (Bartley *et al.*, 2020). De acordo com Guerra (2012) e Nepomuceno & Nachornik (2015), por muitas décadas as autoridades evitaram abordar a degradação dos solos como problema intrínseco à diminuição da produção de alimentos ao redor do mundo.

Hoje no entanto, políticas e pactos globais surgem como alternativas para promoção da conservação dos ecossistemas terrestres, esperando que os 193 países envolvidos possam gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e a perda de biodiversidade, como proposto no Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de número 15 dos 17 estabelecidos pela ONU durante a

Conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável no Rio de Janeiro em 2012, que substituíram os objetivos de desenvolvimento do Milênio (ODM) propostos em 2000 e fazem parte da “agenda 2030”.

Nesse sentido, existe uma série de medidas e ações que podem ser estabelecidas para a reabilitação, recuperação ou restauração de áreas degradadas pela erosão ou outras atividades degradantes do meio. Serão aqui listadas algumas das práticas que são adotadas para cada um dos casos e também uma distinção conceitual acerca destes três termos que são empregados como sinônimos em muitos veículos de informação e documentos de comunicação das mais distintas instituições.

2.2.1 Reabilitação, recuperação e restauração de áreas degradadas

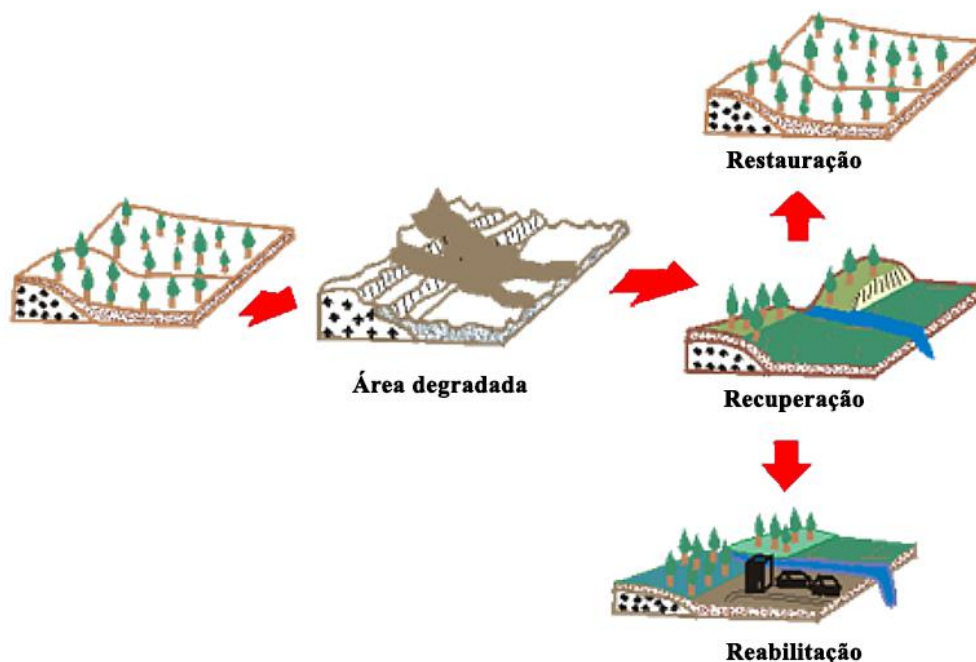
Segundo o IBAMA (1990), os impactos resultantes da degradação ambiental estão ligados a perda das características físicas, químicas e biológicas de uma determinada área, alterações estas que podem comprometer o desenvolvimento socioeconômico inviabilizando as mais diversas práticas.

A perda destas características abióticas e bióticas do meio resulta na eliminação de sua resiliência, ou seja, torna o processo de retorno ao estado anterior de determinadas áreas extremamente lento, ou, incapaz de ocorrer sem que haja a intervenção antrópica (Carpanezzi *et al.*, 1990).

A definição legal do termo “área degradada” é encontrada na Instrução Normativa nº 11/2014 do ICMbio, onde no inciso IV do Art. 2º é definida como: “aquela impossibilitada de retornar por uma trajetória natural a um ecossistema que se assemelhe ao estado inicial, dificilmente sendo restaurada, apenas recuperada”. A Constituição Federal o Art. 225 em seu § 2º estabelece que “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.”

Desta forma, existem três tipos de atitudes desejáveis para contornar os problemas resultantes das atividades antrópicas, sendo a reabilitação, a recuperação e a restauração, conforme ilustrado no esquema a seguir.

Figura 3 – Relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação



Fonte: Adaptado de Fornasari Filho & Amarantes, 1995

- Reabilitação

A reabilitação de uma área degradada consiste na adequação do local a um novo uso, segundo projeto prévio, e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, de maneira que a área possa ser reaproveitada para outra finalidade (Santos, 2017).

- Recuperação

A recuperação de uma área degradada procura alcançar condições próximas ao estado original do ambiente antes deste ter sido degradado, conforme também definida pelo ICMBio (2014) respaldado pela Lei nº 9.985, de 18/06/2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC): é a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”, ou seja, trata-se de devolver a resiliência ao local, por meio de condições que favoreçam o equilíbrio e estabilidade dos processos naturais ali atuantes.

A recuperação de áreas degradadas no Brasil é prevista pela Lei nº 6.938, de 31/08/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, a qual objetiva “a

preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”.

A referida lei no que tange a recuperação das áreas degradadas, é regulamentada pelo Decreto n° 97.632, de 10/04/1989, onde em seu Art. 3° estabelece que “A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”.

Muitos trabalhos apresentam práticas de recuperação de áreas degradadas baseado em casos envolvendo a degradação pelas atividades ligadas diretamente à prospecção mineral da mineração. Em Lepsch (2002) e Bertoni & Lombardi Neto (2012) são apresentadas uma série de práticas conservacionistas de manejo do solo que podem ser adotadas para a recuperação de áreas com solos degradados, sendo estas divididas em edáficas, mecânicas e vegetativas. Os autores destacam que para uma melhor eficiência destas práticas para sua eficácia é extremamente importante a determinação de um plano e um sistema de manejo.

As práticas de caráter edáfico são aquelas responsáveis por melhorar a fertilidade do solo e controlar a erosão, entre elas se destacam: o controle do fogo, a adubação verde, adubação química, adubação orgânica e a calagem. Tais medidas sobretudo visam a “correção” das propriedades dos solos, buscando o equilíbrio para uma melhor disponibilidade de nutrientes às plantas.

As práticas de caráter mecânico são aquelas que se recorre a estruturas artificiais, com a finalidade de reduzir a velocidade das enxurradas e aumentar a infiltração de água no solo. Muitas das vezes se recorrem há alterações no próprio terreno, por meio de correção do relevo, sendo necessário o uso de maquinário para sua execução. Algumas das práticas que se destacam são: o plantio em curva de nível, técnicas de bioengenharia como as paliçadas de bambu e geotêxteis, a aração e o terraceamento.

Por fim, as práticas de caráter vegetativo, são aquelas que visam proteger os solos e controlar os processos erosivos através do aumento da cobertura vegetal. Pode-se destacar o reflorestamento, o manejo de pastagens, o cultivo em faixas, cordões de vegetação e o controle de capinas. O aumento da matéria orgânica no solo oriundo de um maior percentual de plantas sob este, beneficia também a estabilidade dos agregados, a disponibilidade de nutrientes e a diminuição de eventuais perdas destes para a lixiviação.

- Restauração

A restauração de uma área degradada busca reproduzir o estado original de um local, antes deste ter sido degradado. Em muitos trabalhos, como por exemplo o de Bitar (1997), a restauração é vista como uma proposta utópica, bastante improvável, senão impossível dado o grau de complexidade das relações ecológicas envolvendo os diversos elementos da natureza e a profunda alteração destas pelas atividades exercida.

2.2.2 Indicadores físicos e químicos para avaliação da qualidade dos solos

O solo é definido com um sistema trifásico, formado pela sua fase gasosa, líquida e sólida (Hillel, 2004; Lepsch, 2011; Brady; Weil, 2013). A interação entre os diversos fatores bióticos e abióticos do meio é o que garante a existência de processos fundamentais para a ocorrência da pedogênese, ou, formação dos solos, sendo estes fatores: o material de origem, o tempo, clima, topografia e a atuação dos organismos vivos (Reichardt; Timm, 2022).

As propriedades físicas e químicas do solo são fatores importantes para a compreensão do seu comportamento hidráulico, influenciando diretamente sobre a taxa de infiltração, a permeabilidade e a capacidade de retenção de água. A identificação das propriedades do solo se faz extremamente relevante, uma vez que na natureza os perfis de solo apresentam-se de forma heterogênea, tornando complexa a definição de certas características hidrodinâmicas (Gomes; Millar, 1978). Dentre as propriedades, serão aqui destacadas: a textura do solo, a estrutura do solo e a estabilidade de agregados, a densidade real ou de partículas, densidade do solo, porosidade e por fim o teor de matéria orgânica.

Segundo Reinert & Reichert (2006), dentre as propriedades, a textura dos solos e a sua estrutura são consideradas hierarquicamente mais relevantes para a compreensão do comportamento hídrico destes. Uma vez que estas propriedades mudam ao longo dos horizontes do solo, ou seja, de sua profundidade devido às variações físicas que ocorrem verticalmente e também temporalmente (Kirkham, 2005; Reinert; Reichert, 2006).

2.2.2.1 Textura

A textura do solo trata-se da distribuição das partículas sólidas do solo, estritamente relacionada a suas dimensões (Reichardt; Timm, 2022). Não considerando a matéria orgânica e as partículas maiores do que 2 mm no solo, o total de partículas de um solo é igual ao somatório de suas frações de areia, silte e argila, de maneira que um solo possa ter de 0 a 100% de areia, de silte e de argila (Reinert; Reichert, 2006). De acordo com Hillel (2004), podemos imaginar solos sem sua fase líquida ou gasosa, e no vácuo, sem ambas, mas nunca sem sua fase sólida. Portanto, é considerada uma propriedade relativamente estática, não muito influenciável por práticas de manejo e conservação dos solos.

O arranjo das frações do solo pode se apresentar na natureza em diversas proporções, como apontado por Reinert & Reichert (2006), entretanto, o comportamento que estas irão atribuir a estrutura e ao arranjo do solo é extremamente particular, e a compreensão deste fato dita o sucesso ou não da condução de experimentos e projetos de agricultura ou engenharia civil (Brady; Weil, 2013).

Areia e o silte em geral consistem em minerais primários silicatados, resistentes ao intemperismo, já as argilas diferem em tamanho e em composição mineralógica destes, sendo formadas em geral por minerais secundários formados no próprio solo pela decomposição dos minerais primários. Em regiões temperadas, as argilas podem apresentar características silicáticas, mas em regiões tropicais predominam as argilas formadas por óxidos hidratados de ferro e alumínio (Hillel, 2004).

No Brasil, as partículas de areia e silte, são predominantemente esféricas e de composição mineralógica formada por quartzo, enquanto que as partículas de argila são de formato laminar e compostas por minerais como a caulinita, illita e montmorilonita, ou outros óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Reinert; Reichert, 2006). Portanto, conhecendo a classe textural dos solos, podemos relacionar esta propriedade com algumas características que o solo pode desempenhar de acordo com a concentração de suas frações.

Dentre as frações do solo, a argila, constituída de partículas de diâmetro menor que 2 μm , é aquela que possui maior resistência à remoção, devido ao seu alto grau de coesão, garantido pela maior superfície específica, sendo a fração que mais determina a dinâmica de processos físicos e químicos relacionados à infiltração de água no solo (Brady; Weil, 2013; Reichardt; Timm, 2022).

A fração areia compreende os grãos menores que 2 mm e maiores que 0,05 mm, sendo esta dividida nas categorias fina e grossa, e em sistemas como o do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em: muito fina, fina, média, grossa, e muito grossa (Brady; Weil, 2013). De acordo com Guerra & Botelho (1996), a areia fina e o silte são mais propensos a ação erosiva, diferentemente da areia grossa e da argila que possuem maior peso e coesão respectivamente, tornando as mais resistentes frente à ação da água.

Quadro 7 – Relação da textura no comportamento do solo.

Solos arenosos	Solos argilosos
Menor porosidade do solo	Maior porosidade do solo
Menor micro e maior macroporosidade	Maior micro e menor macroporosidade
Baixa retenção de água	Alta retenção de água
Boa drenagem e aeração	Drenagem lenta e pouco arejado (se pouco agregados)
Menor densidade do solo	Maior densidade do solo
Aquece rápido	Aquece lentamente
Resiste à compactação	Maior susceptibilidade à compactação
Baixa CTC	Maior CTC
Mais lixiviável	Menos lixiviável
Maior erosão	Mais resistente à erosão
Coesão baixa, friável	Coesão elevada, firme
Consistência friável quando úmido	Consistência plástica e pegajosa quando molhado
Fácil preparo mecânico	Mais resistente ao preparo (pesado)
Matéria orgânica baixa e rápida decomposição	Matéria orgânica média a alta e menor taxa de decomposição

Fonte: Adaptado de Reinert & Reichert, 2006.

Ainda de acordo com Morgan (1984), embora os solos arenosos possuam alta porosidade em relação aos siltosos e argilosos, não se deve generalizar, em especial aqueles com elevado teor de areia fina podem se comportar diferentemente daqueles de granulometria mais grosseira desta mesma fração, além de sofrerem maior influência da compactação provocada pela mecanização ou do pisoteamento, ações as quais irão aumentar a densidade do solo, reduzindo sua porosidade.

2.2.2.2 Estrutura do solo e estabilidade dos agregados

A fase sólida do solo também é formada pelo arranjo das partículas de diferentes tamanhos, composição química e mineralógica em agregados. Estes também contam com a

presença de substâncias amorfas e matéria orgânica, as quais estão ligadas aos grãos minerais e podem favorecer na sua aglutinação (Hillel, 2004). Trata-se de uma propriedade extremamente dinâmica e suscetível a alterações provocadas pelas diferentes práticas de conservação e manejo dos solos.

O processo de agregação do solo envolve um complexo conjunto de interações entre fatores mineralógicos, químicos e biológicos, promovendo mecanismos como a floculação e a cimentação. Estes mecanismos são responsáveis pelo aglutinamento das partículas sólidas do solo em agregados, a floculação das argilas e/ou húmus acontece devido a sua condição eletrostática, favorecendo a formação de pequenos flocos (Lepsch, 2011).

A floculação, no entanto, não é condição suficiente para a formação dos agregados, sendo necessária a cimentação. A cimentação ocorre devido a presença de matéria orgânica no solo, oriunda também da constante morte de raízes que promove a ação microbiana que resulta na produção de “cimento húmico” (Hillel, 2004).

Além da matéria orgânica, os compostos inorgânicos formados por cátions polivalentes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Al^{3+} , atuam na união das argilas e das moléculas hidrofóbicas de húmus, permitindo que elas se liguem umas às outras formando pontes entre as partículas, chamadas de “complexos argila- matéria orgânica”, ou, “argilo-metal húmicas” (Brady; Weil, 2013).

Neste processo, a fauna e a flora presentes no solo também irão desempenhar um papel importante, seja pela ação de formigas, cupins e minhocas na reordenação das partículas do solo na construção de seus túneis ou pela ação compreensiva das raízes. É a agregação das partículas que permite a existência dos poros, tornando possível a retenção e movimentação diferencial da água na estrutura interna do solo (Hillel, 2004; Brady; Weil, 2013; Meurer, 2017).

A disponibilidade de água no solo também exerce influência sob a agregação de suas partículas, uma vez que à medida que o solo seca as partículas de argila se aproximam, contraindo o volume da massa de solo, esse movimento cíclico de compressão e expansão promove a formação de fissuras, (Brady; Weil, 2013). A variação da disponibilidade hídrica está associada aos períodos chuvosos e secos, à irrigação e também à absorção de água pelo sistema radicular das plantas, que causa desidratação diferencial, encolhimento e abertura destas pequenas fissuras, que favorecem a penetração de água da chuva, mas em virtude da contração durante a estiagem podem tornar os solos mais difíceis de serem penetrados (Hillel, 2004).

A estabilidade dos agregados é nesse sentido influenciada tanto pelo arranjo das partículas, seu tamanho e constituição químico-mineralógica. Essa propriedade do solo está diretamente relacionada à susceptibilidade do solo à sua degradação, ou seja, quanto mais estáveis são os agregados, menor é a erodibilidade dos solos, por estes serem mais resistentes ao impacto sobretudo das gotas de água da chuva (De Ploey; Poesen, 1985; Guerra; Botelho, 1996; Morgan, 2005).

A profundidade é um dos fatores que influencia o teor de agregados, fazendo com que este diminua com o seu aumento. Isso se deve a correlação entre os agregados e o carbono orgânico, já que sendo proveniente da matéria orgânica, a sua concentração tende a diminuir em profundidade. O carbono orgânico é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola (Meurer, 2017). Ainda segundo De Ploey & Poesen (1985), o teor de matéria orgânica presente na cobertura superficial do solo, está mais relacionada à estabilidade dos agregados do que o teor de argila, tornando-os mais estáveis a cada 2% de concentração no solo.

Segundo Castro Filho (1998) *apud* Brizzi (2015), a estabilidade dos agregados pode ser avaliada por parâmetros de agregação do solo, sendo: pelo diâmetro médio ponderado (DMP), sendo este proporcional à porcentagem de agregados grandes retidos em peneiras com malhas maiores; pelo diâmetro médio geométrico (DMG), que representa a média do tamanho de agregados de maior ocorrência no solo; e pelo índice de estabilidade dos agregados (IEA), que representa uma média total de agregação do solo, de modo que quanto maior for a quantidade de agregados menores que 0,25 mm (microagregado), menor será o IEA.

2.2.2.3 Densidade das partículas, densidade do solo e porosidade

A densidade das partículas é a relação entre o peso das partículas sólidas do solo por unidade de volume dos sólidos do solo, seus valores variam, em média, entre 2,6 e 2,75 g/cm³. Tais valores são relacionados aos solos minerais, nos quais a presença de quartzo, feldspato, mica e colóides silicatados garantem uma densidade nessa faixa. Os valores encontrados em solos com alto teor de matéria orgânica podem ser menores, variando na faixa de 0,9 a 1,4 g/cm³ (Brady; Weil, 2013). É considerada uma propriedade perene dos solos por não ser facilmente alterada.

Já a densidade do solo é uma das propriedades que determinam o grau de compactação do solo, influenciando diretamente os níveis de infiltração e escoamento por estar diretamente correlacionada a porcentagem de poros presentes em sua estrutura. Trabalhos na literatura apontam que valores que superam $1,59 \text{ g/cm}^3$ indicam solos com elevado grau de compactação (Guerra, 1990; Morgan, 2005; Neves *et al.*, 2015; Garritano *et al.*, 2019; Rodrigues, 2021). A densidade do solo é, portanto, uma propriedade extremamente dinâmica que reflete em muito o tipo de manejo que o solo recebe.

Os solos com menor densidade geralmente favorecem a infiltração de água, mas como não são corpos uniformes, há variação desta propriedade ao longo do perfil, influenciada por fatores como a presença vegetal e o teor de matéria orgânica. Portanto, o teor de matéria orgânica e a textura do solo afetam de forma inversamente proporcional esta propriedade, solos com maior quantidade de matéria orgânica tendem a ter uma densidade menor, sendo assim uma propriedade do solo que frequentemente será afetada pelo uso e manejo conduzido sobre este (Morgan, 2005; Guerra, 2021).

Ligada a determinação da densidade das partículas e do solo está a porosidade total, sendo esta um importante indicador da qualidade do solo. A porosidade é um índice do espaço relativo dos poros em um solo. Sua taxa geralmente varia entre (30-60%). Em solos argilosos, a porosidade é altamente variável devido ao comportamento físico das argilas relacionado a sua expansão, encolhimento, dispersão e compactação (Hillel, 2004).

Os poros podem ser considerados aqueles espaços não ocupados por partículas sólidas do solo, mas sim por água e ar. A textura e a estrutura dos solos explicam em grande parte o tipo, tamanho e quantidade dos poros, sendo estes formados por uma série de processos ligados ao desenvolvimento das raízes, atividade animal, e ao processo de expansão e contração do volume do solo (Hillel, 2004; Reinert; Reichert, 2006). Por essa razão, a porosidade é considerada uma propriedade extremamente dinâmica.

Os poros geralmente são classificados de acordo com o seu tamanho, sendo usualmente identificados por: microporos e macroporos. Os microporos é uma classe que possui maior capacidade de retenção da água contra o potencial gravitacional, já os macroporos, não possuem a mesma eficiência no quesito retenção hídrica. Reinert & Reichert (2006), consideram que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo, como será melhor abordado no tópico “2.3.1 Monitoramento da umidade dos solos”.

Portanto, a porosidade é uma propriedade que influencia diretamente o comportamento da mecânica do solo, envolvendo os processos físicos, como a retenção de água e ar que ocorrem pelo fenômeno da capilaridade, provocado pela diferença de pressão e pela força adesivas presente em sua estrutura como corpo sólido (Reinert; Reichert, 2006; Brady; Weil, 2013).

2.2.2.4 Matéria orgânica

O processo de formação de matéria orgânica no solo é inicialmente um processo biológico e quase toda a flora e fauna existentes no solo tem um efeito direto ou indireto, sendo formada pela ação dos microrganismos na decomposição dos resíduos vegetais e animais e pelos compostos de carbono em vários graus de alteração (Guerra, 1990; Meurer, 2017). A Matéria Orgânica do Solo (MOS) em conjunto com os componentes inorgânicos da fase sólida, exerce um papel fundamental na química do solo.

Segundo Portocarrero (2009), um dos principais agentes envolvidos na questão da erodibilidade dos solos é o teor de matéria orgânica. A MOS em conjunto com os óxidos de Fe e Al exercem influência marcante na formação dos microagregados. Sendo assim, com seu decréscimo, há a diminuição do teor de agregados, aumentando a erosão por salpicamento e a ruptura destes, fazendo com que aumente a formação de crostas no solo, que poderão aumentar as taxas de "*runoff*" (Guerra, 1990).

O aumento da matéria orgânica do solo pode ser condicionado pela introdução de vegetação ou compostos orgânicos, a primeira ainda favorece a proteção das camadas superficiais do solo. O carbono presente na matéria orgânica favorece a formação de moléculas menos densas, agindo como um agente ligante entre as partículas do solo. Solos com teores abaixo de 2% de matéria orgânica são considerados como de baixa estabilidade de agregados e com alta propensão à encrustamento (De Ploey; Poesen, 1985).

Segundo Soane (1986), existem vários mecanismos pelos quais a M.O. influencia a capacidade dos solos em resistir às forças de compactação: a) força de união entre partículas e entre agregados, b) elasticidade, c) efeito de diluição, d) efeito de cargas elétricas, e) efeito na fricção. Dentre estes mecanismos, a estabilidade dos agregados é o fator determinante na susceptibilidade do solo à compactação.

2.3 Monitoramento em campo de processos hidroerosivos

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (ONU, 2021), o uso global de água aumentou em seis vezes nos últimos cem anos e, desde a década de 1980, continua a crescer a uma taxa de cerca de 1% ao ano. O relatório também aponta que hoje, 69% da água doce utilizada no planeta é consumida pela agricultura, essa proporção chegando em 95% nos países em desenvolvimento. Além da agricultura, outros setores como o industrial e o energético são responsáveis por 19% do consumo de água atualmente. Ainda de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), cerca de 95% dos alimentos produzidos no mundo são oriundos da terra, entretanto, também aponta o quadro de fragilidade dos solos, visto que 33% se encontram degradados ao redor do globo.

Os processos erosivos caracterizam-se pelos fenômenos que envolvem o destacamento, transporte e deposição das partículas do solo pela ação da água e dos ventos. A erosão é um processo natural que tem seu comportamento atrelado a determinadas condições do relevo, da cobertura vegetal e do tipo de solo em que ocorre, podendo também ser potencializada ou controlada a partir da alteração destes aspectos físicos da paisagem através de diferentes usos e formas de manejo (Hillel; Hatfield, 2005; Lepsch, 2011; Brady; Weil, 2013; Guerra, 2021).

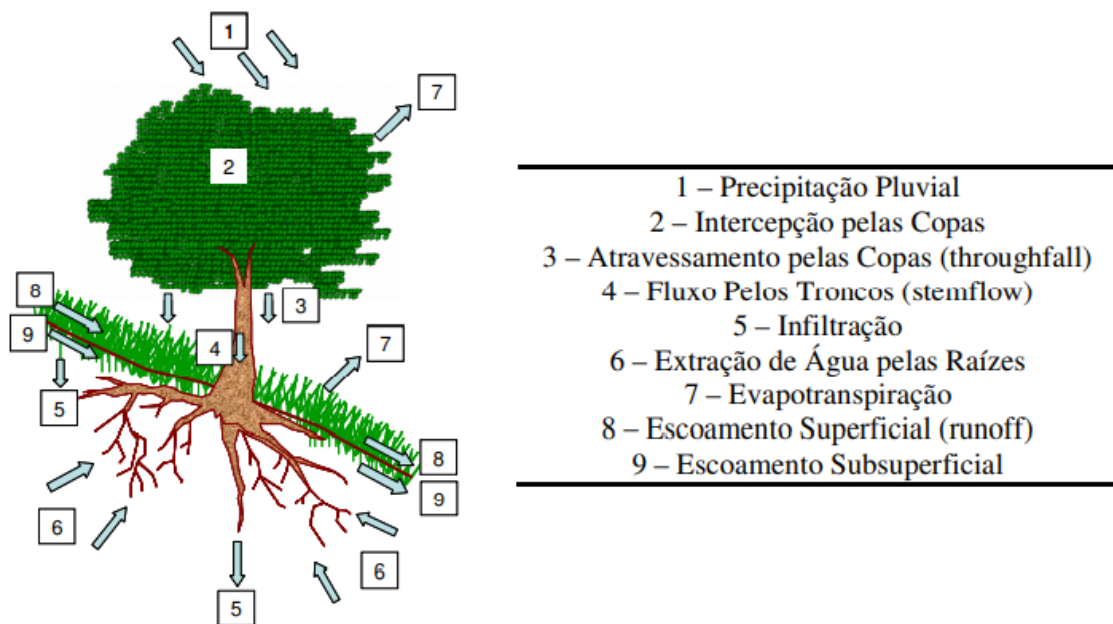
As más práticas de manejo dos solos quando adotadas, podem catalisar esse processo, transformando-o, na erosão acelerada dos solos. Atualmente é considerada um dos principais problemas ambientais relacionados à degradação ambiental, principalmente no que tange o abastecimento hídrico e de alimentos, uma vez que segundo a FAO (2015), 25 a 40 bilhões de toneladas de solo são erodidas por ano, reduzindo em muito a produtividade das terras, a capacidade de retenção de carbono, nitrogênio e de água, e tendo na maioria das ocasiões o destino final do material transportado os corpos hídricos, aumentando a carga de sedimentos suspensos e provocando o assoreamento destes.

Os solos, assim como a água, são recursos vitais para a manutenção da vida humana e dos diferentes ecossistemas no planeta. O solo é elemento que pode ser concebido como sistema em si mesmo, por ser abrigo para a fauna, meio de crescimento para as plantas, regulador do abastecimento de água, meio de sustentação de obras de engenharia e uma das principais fontes de suprimento e alimentos (Brady; Weil, 2013).

A água, por outro lado, é a principal matéria dos sistemas hidrológicos, sendo o material mobilizado pela ação das diferentes forças atuantes no meio físico. No subsistema caracterizado pelas vertentes, a água configura a entrada “*input*” de matéria e energia, interagindo diretamente com a vegetação, os solos e a atmosfera, que desempenham papel de reguladores, repartindo essa energia armazenando-a ou fazendo-a atravessar o sistema, sendo assim a saída “*output*” (Christofoletti, 1980).

O ciclo hidrológico das vertentes tem seu início pela entrada de energia e matéria dada pela precipitação pluvial. Durante o episódio de chuva, a água é submetida a processos que ocorrem antes mesmo desta chegar aos solos, como a interceptação pela vegetação e a evaporação que ocorre simultaneamente a sua queda (Cassetti, 2005; Hillel; Hatfield, 2005).

Figura 4 – Aspectos hidrológicos da vegetação.



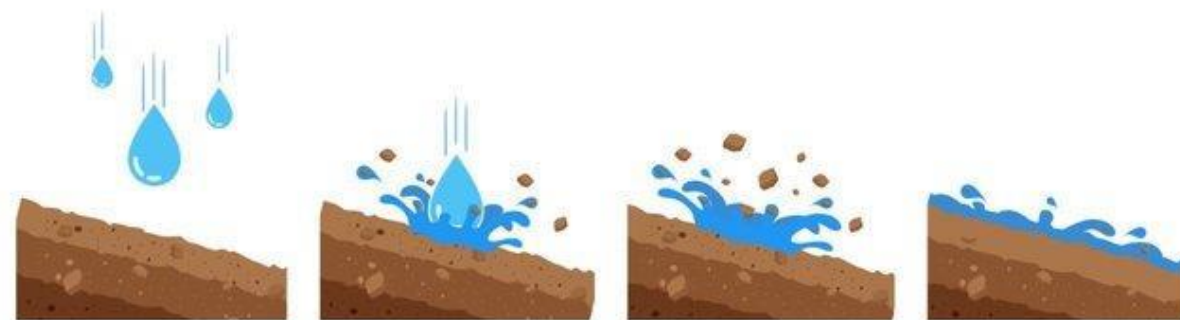
Fonte: Portocarrero, 2009.

O comportamento da precipitação nas vertentes é controlado pelos fatores vegetativos (quando presentes) e pelas propriedades do solo, as quais determinam a quantidade relativa de água que irá se infiltrar, escoar ou permanecer temporariamente depositada sobre a superfície. Nesse último caso, com o tempo essa água então acumulada geralmente em pequenas poças evapora ou infiltra no solo (Hillel; Hatfield, 2005; Brady; Weil, 2013).

A cobertura vegetal desempenha o papel de interceptar e redistribuir a água proveniente da chuva. O processo de interceptação ocorre pelas copas, galhos, caules e folhas da vegetação, fazendo com que parte da água precipitada não chegue aos solos e diminuindo

drasticamente a energia cinética das gotas de chuva que o alcançam, reduzindo o impacto que provocam sobre a superfície do solo, conseqüentemente, o poder erosivo da chuva, de destaque de partículas superficiais, por esse motivo, comumente atribui-se à vegetação o papel de protetora do solo (Morgan, 2005; Portocarrero, 2009; Neves *et al.*, 2015; Coelho Netto, 2021).

Figura 5 – Erosão por salpicamento e início do processo erosivo nas vertentes.



Fonte: Brizzi *et al.*, 2018.

Os solos quando expostos, se encontram mais suscetíveis à ação da água precipitada, logo, também à erosão, o destaque de partículas provenientes do impacto das gotas de chuva é denominado de erosão por salpicamento “*splash*”, que seria o estágio inicial da erosão hídrica nas vertentes.

No momento em que os agregados superficiais do solo se rompem por conta do impacto provocado pela força cinética das gotas de chuva, são formadas crostas, que aumentando a compactação superficial do solo e dificultam a infiltração da água (selamento superficial), uma das formas de desenvolvimento do escoamento superficial (Lepsch, 2011; Guerra, 2012; Nepomuceno; Nachornik, 2015; Guerra, 2021).

Entretanto, parte dessa água que chega aos solos penetra-o por meio da infiltração, sendo esta influenciada principalmente pela estrutura de poros apresentada pelas camadas superficiais dos solos, pela duração e intensidade das chuvas, pelo tipo de vegetação e o manejo do solo (Brady; Weil, 2013).

A água não infiltrada pode gerar o escoamento superficial “*runoff*”, uma vez que será fortemente influenciada pela força gravitacional, embora, os solos apresentem certo grau de resistência à intensidade e ao volume de chuva, por um período de tempo, ou seja, sendo a força de cisalhamento do solo excedida por esses fatores, conseqüentemente acarretará em um processo erosivo (Horton, 1945 *apud* Brizzi *et al.*, 2018).

O escoamento superficial dá início a erosão laminar, que ocorre uma vez que as partículas do solo destacadas pelo salpicamento começam a ser transportadas pela ação da água, sendo relativamente uniforme em toda a superfície do solo, o sucessivo carreamento das partículas dos horizontes superficiais, logo, das camadas ricas em matéria orgânica e nutrientes pode comprometer o desenvolvimento das plantas e o papel de sustentação a elas pelo solo (Chaves *et al.*, 2012; Brady; Weil, 2013).

Em estágios iniciais, a erosão laminar pode ser dificilmente identificada, não preocupando muitos gestores e proprietários rurais, entretanto, há diversos casos em que este processo culmina na completa remoção dos horizontes superficiais, diminuindo em muito a sua produtividade, acarretando em quadros de compactação dos solos. Entretanto, na medida em que o escoamento superficial se torna concentrado, principalmente por conta das concavidades inerentes ao relevo e ao microrelevo do solo, as quais favorecem a concentração e convergência dos fluxos em pequenos canais, surgem assim os sulcos, tornando a erosão em sulcos dominante (Lepsch, 2002; Brady; Weil, 2013).

Desta forma, a declividade do terreno é um dos fatores que mais influência na concentração, dispersão e velocidade dos fluxos superficiais nas vertentes. Em terrenos mais declivosos, há menor resistência ao escoamento da água, já em terrenos planos, há maior infiltração, devido à menor energia e velocidade que a água recebe (Lepsch, 2002).

Sendo assim, quando o volume das enxurradas se torna ainda mais concentrado dá origem às ravinas e em sequência às voçorocas, estas, as quais são caracterizadas como algumas das feições mais marcantes e prejudiciais em que a erosão pode se manifestar na paisagem. As ravinas podem surgir como feições também efêmeras, uma vez que podem ser destruídas por práticas de manejo e ou ação de novos eventos pluviais, os quais irão remodelar a sua rede. As ravinas geralmente não apresentam conexão com a drenagem fluvial, sendo descontínuas, entretanto podem evoluir para canais de água permanente desembocando nos rios, o que já poderia se considerar uma voçoroca (Guerra, 2021).

Na literatura existem variações na exata proporção para a definição desses tipos de feições erosivas, podem ser consideradas por voçorocas as feições as quais não podem ser removidas pelas práticas de manejo cultural comuns, como a obliteração destas por máquinas agrícolas (Brady; Weil, 2013). Uma das características que ajudam a identificá-las é a presença de paredes quase verticais em seu interior, nota-se que podem alcançar profundidades consideráveis, principalmente em ambientes com solos profundos.

Figura 6 – Voçorocas adjacentes à área de estudo.



Fonte: Manso, 2023.

Suas paredes laterais são geralmente íngremes, seu fundo é tido como plano e chato sendo uma secção transversal em formato de “U” possuindo geralmente profundidade superior a 1,5 metros, em seu interior é comum ocorrer fluxos de água durante os eventos chuvosos, podem ser classificadas como ativas ou inativas dependendo do grau de perpetuação dos processos erosivos em seu interior.

A voçoroca é um indicador de instabilidade da paisagem, geralmente associada aos processos de erosão acelerada, nesse ponto em diante, as práticas de recuperação dos solos se tornam extremamente onerosas e complexas, podendo sim recuperar a vegetação local por meio de técnicas de restauro florestal, mas não o solo que já foi removido (Batista *et al.*, 2019; Guerra, 2021).

Nos tópicos a seguir são abordadas com maior detalhamento a interação entre as forças atuantes no comportamento da água nos solos e as técnicas utilizadas para obtenção de indicadores que às tornam representativas no monitoramento hidrossedimentológico das vertentes.

2.3.1 Monitoramento da umidade dos solos

A umidade dos solos, é uma variável que reflete em partes as condições climáticas de uma região, sendo um dos fatores determinantes no desempenho da produtividade dos ecossistemas terrestres, entre eles os agrícolas. Para compreender a umidade, precisamos entender os movimentos da água no solo (Brady; Weil, 2013).

A interceptação da água da chuva pelas rochas e vegetação, favorece a ocorrência da infiltração, que pode ser definida como o processo de penetração da água nos solos por meio de fissuras e poros, eventualmente, a maior parte da água precipitada naturalmente se infiltra. A água infiltrada pode permanecer por um longo tempo no solo, até que seja evaporada ou absorvida pelas raízes das plantas e posteriormente evapotranspirada, assim, retornando à atmosfera (Guesri, 2021).

A força gravitacional e a capilar controlam a infiltração. A força gravitacional orienta a infiltração de acordo com que atrai todas as coisas na vertical para o centro do planeta, enquanto que a capilar é mais comum em solos não saturados, onde a força da gravidade não é a única atuante, mas também, as forças de adesão e coesão agindo lateralmente (Brady, 1989; Reichardt; Timm, 2012 *apud* Brizzi *et al.*, 2018).

Uma vez no solo, a retenção da água ocorre dentro dos poros, a partir de diferentes graus de forças atuantes, que irão variar de acordo com a quantidade e tamanho dos poros. Essa água retida naturalmente pode se mover em todas as direções dentro do solo, entretanto, o seu movimento é influenciado por sua natureza eletrostática. A polaridade presente na água é responsável por promover a sua atração pelas superfícies sólidas, fazendo com que se comporte de forma “menos” líquida e mais sólida (Hillel; Hatfield, 2005; Brady; Weil, 2013). Além disso, ela não se encontra em seu estado puro, apresentando diversas substâncias inorgânicas e orgânicas nela dissolvidas, como as partículas coloidais e elementos nutrientes.

De acordo com Brady & Weil (2013), o fenômeno da capilaridade determina como a água é retida nos solos, uma vez que a tensão que provoca a atração entre as partículas do solo e a água, é a mesma que provoca a resistência à sua livre movimentação, havendo assim uma relação diretamente proporcional entre a capilaridade e a tensão superficial.

Logo, a disponibilidade de água nos solos varia entre suas classes, de horizonte para horizonte e de acordo com o tamanho e distribuição dos poros (Cassel; Nielsen, 1986). Sendo assim, nem toda a água nele presente, está disponível para as plantas, uma vez que em poros menores as forças de retenção são superiores às que ocorrem em poros maiores, gerando

dificuldade para absorção dessa parcela de água, além do fato de não serem aberturas retilíneas, e a presença do ar em seu interior gerar também certo grau de resistência ao movimento da água (Hillel; Hatfield, 2005; Brady; Weil, 2013).

A energia potencial da água dos solos Ψ é o resultado das forças aqui apresentadas, sendo elas, o potencial matricial Ψ_m (adsorvidade e capilaridade), o potencial osmótico Ψ_o (atração dos íons e outros solutos), o potencial gravitacional Ψ_g (a altura da água no perfil determinando a maior ou menor energia) e o potencial hidrostático Ψ_h . A raiz de uma planta quando tenta absorver água de um solo úmido, precisa superar todas estas três forças atuantes simultaneamente (Lepsch, 2011; Brady; Weil, 2013; Collischonn; Dornelles, 2015). O potencial total da água dos solos é dado pela equação:

$$\Psi_t = (\Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_h + \dots) \quad (3)$$

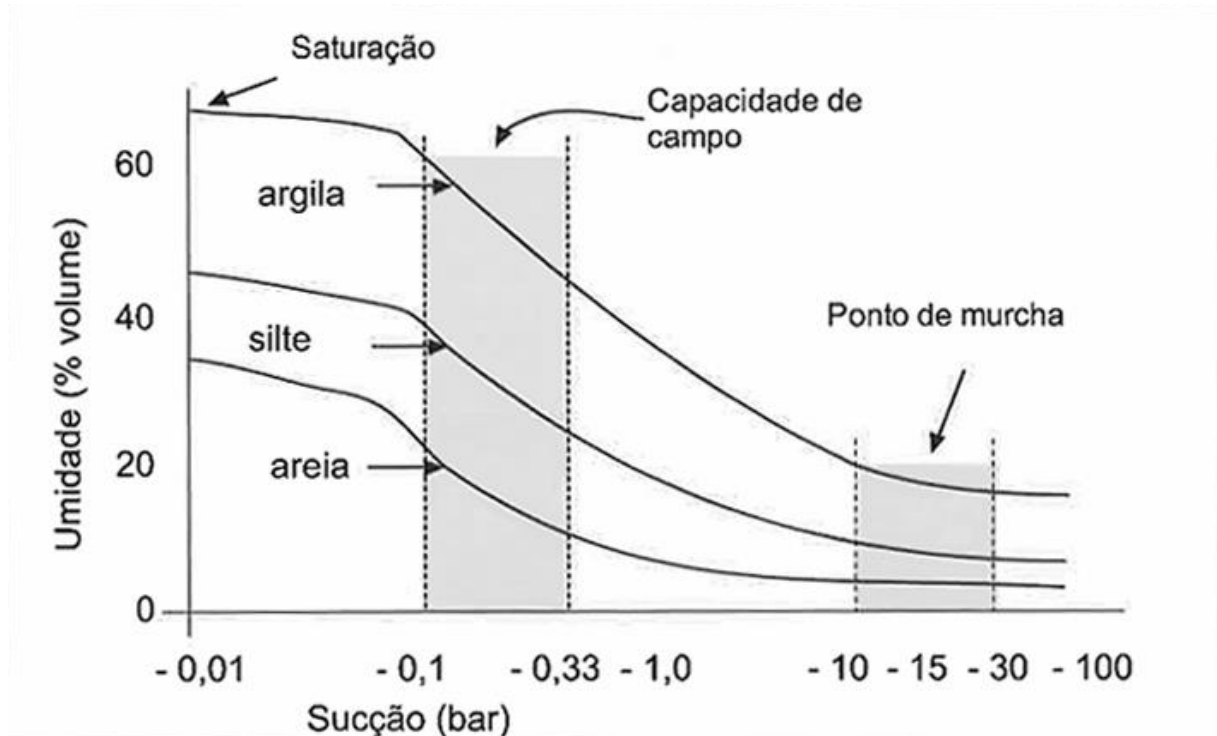
De acordo com Lepsch (2011), o potencial da água no solo Ψ se dá pela diferença de energia entre a água pura e livre e a água de dentro do solo, sendo o potencial da água livre zero e o da solução do solo sempre negativo em solos não saturados. Ainda segundo Brady & Weil (2013, p. 153):

“O potencial matricial, Ψ_m , que resulta de forças adesivas e capilares, influencia tanto a retenção como o movimento da água do solo. Diferenças entre os dois de duas zonas adjacentes do solo promovem o movimento da água de áreas mais úmidas (estado de alta energia) para áreas mais secas (estado de baixa energia) ou de poros grandes para poros pequenos. Embora esse movimento possa ser lento, ele é extremamente importante para o fornecimento de água às raízes das plantas e para aplicações em obras de engenharia”

O monitoramento da água no solo tem como objetivo a definição dos perfis de sucção matricial e o teor de umidade de volumétrico θ . Uma vez que são variáveis de grande importância para a compreensão da disponibilidade de água para as plantas. A força de atração da água pelas partículas do solo e pela superfície dos sólidos é uma manifestação do potencial matricial, Ψ_m , instrumentos como o tensiômetro, blocos de gesso e sensores de matriz granular (GMS) podem medir essa atração, dada pela tensão superficial (Portocarrero, 2009; Lepsch, 2011; Brady; Weil, 2013).

A partir da medição destes parâmetros, é possível a obtenção da curva de retenção de água no solo ou curva característica. Por essa curva, é possível a determinação dos valores referentes ao ponto de murcha permanente (PMP) e a capacidade de campo (CC).

Figura 7 – Exemplo de curva de retenção de água no solo em diferentes texturas.



Fonte: Adaptado de Collischonn & Dornelles, 2015.

O ponto de murcha permanente é um importante indicador do teor de água disponível nos solos para as plantas, apontando quando certas espécies começam a murchar permanentemente, perdendo sua turgescência. No momento em que um solo chega ao PMP, as plantas perdem a capacidade de absorver sua água, mesmo na ocorrência de novas precipitações ou irrigações (Hillel, 2004; Kirkham, 2005; Lepsch, 2011). O PMP varia de acordo com o tipo de solo e suas propriedades, assim como também cada espécie de planta possui necessidades particulares em relação à quantidade de água para desempenhar plenamente suas atividades.

A capacidade de campo indica o quanto de água o solo pode reter contra a força da gravidade. Logo após a precipitação ou irrigação, o solo encontra-se saturado, sendo assim, os teores de água se encontram superiores ao de CC, nessas condições, a velocidade de drenagem é grande. Ao longo desses episódios, a velocidade de drenagem diminui, ou seja, o fluxo descendente da água se torna menor na medida em que o teor de umidade diminui a sua condutividade hidráulica (Cassel; Nielsen, 1986).

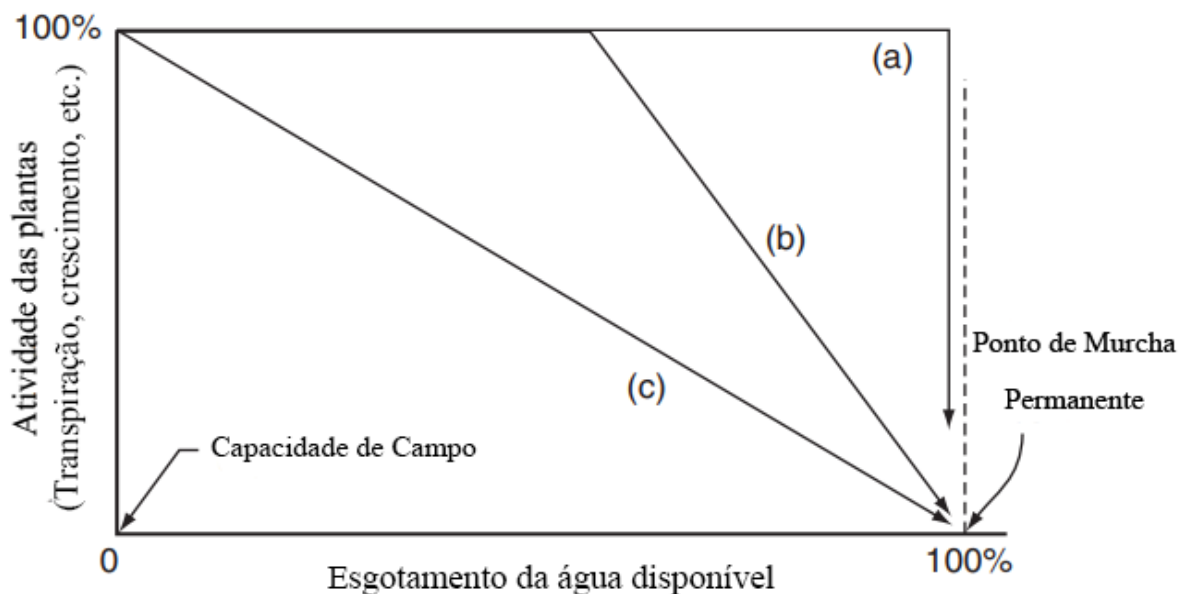
Ao chegar na CC, a retirada de água do solo se torna mais difícil, isso se deve ao aumento do potencial mátrico Ψ_m , das forças adesivas e capilares entre a água e as partículas do solo, exigindo ação de uma pressão negativa. As plantas irão conseguir retirar a água do

solo até este chegar no PMP, neste ponto, “o solo disputa água com as raízes”, dado que geralmente a absorção da água pelas plantas acontece primeiro pela água dos poros maiores, a água retida nos menores poros do solo pode não estar disponível dado o grau de retenção provocado pelas partículas (Cassel; Nielsen, 1986; Brady; Weil, 2013; Collischonn; Dornelles, 2015).

Em cenários onde a umidade se encontra maior que a capacidade de campo (geralmente em solos saturados), a drenagem é muito elevada, conseqüentemente, parte da água se encontra abaixo da zona radicular, não estando disponível para as plantas. Outra situação que pode ser recorrente em solos saturados que ultrapassam a CC é a perda de água pela percolação (potencial gravitacional > potencial matricial), logo também, a perda de nutrientes por conta da lixiviação e por fim a perda de oxigênio para as raízes por conta da ocupação dos poros pela água.

A água disponível nos solos é, portanto, a água retida entre a capacidade de campo (quando toda a água foi drenada dos macroporos e os microporos estão preenchidos com água podendo fornecer água às plantas) e o coeficiente de murcha permanente (Cassel; Nielsen, 1986; Silva, 2020). Como podemos perceber na Figura, (a) a atividade das plantas ocorre plenamente até o limite da CC, (b) o decaimento da água disponível à valores considerados críticos, (c) o esgotamento da água disponível encontra seu máximo no PMP.

Figura 8 – As três hipóteses clássicas sobre a disponibilidade de água do solo para as plantas.



Fonte: Hillel, 2004. Adaptado pelo autor, 2022.

Instrumentos como os GMS são utilizados para medir a sucção (ou tensão) do solo, desenvolvidos originalmente para controlar sistemas de irrigação. Os GMS são compostos por dois eletrodos acoplados em um bloco de gesso envolvido por uma matriz granular (areia quartzosa). O sensor mede a condutividade elétrica, a qual varia de acordo com o teor de umidade da matriz granular. A partir do equilíbrio entre os valores de sucção matricial do sensor e do solo que o envolve, pode-se obter a sucção do solo por meio de uma curva de calibração. (Pereira *et al.*, 2006; Mendes *et al.*, 2007; Portocarrero, 2009).

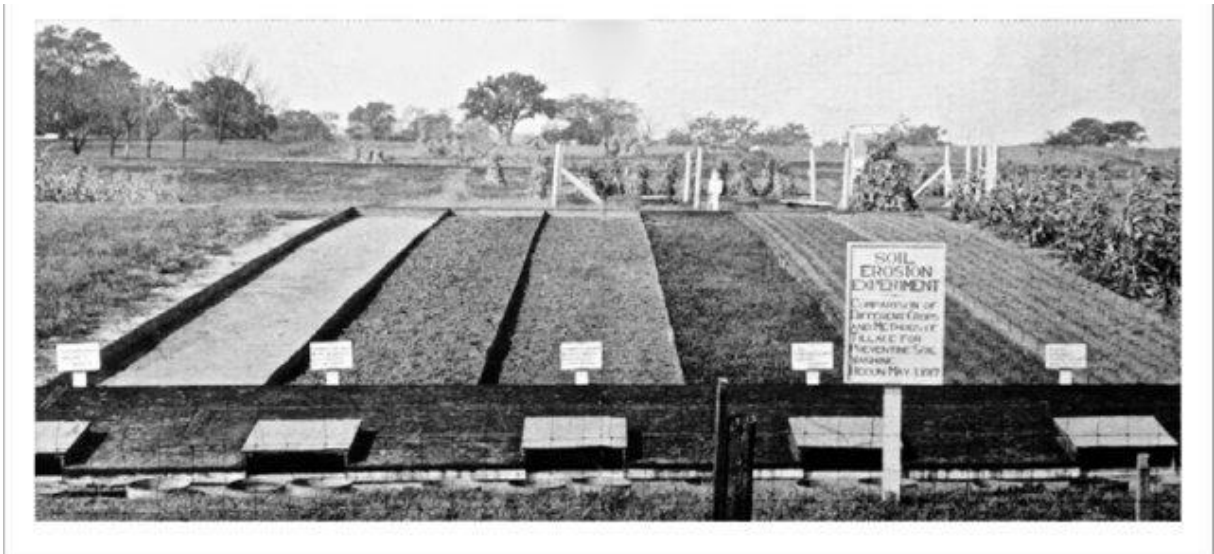
O monitoramento pode ser conduzido de forma automática por meio dos *dataloggers*, mediante a pré programação. Os dados podem ser então visualizados como números ou gráficos na própria tela da unidade de coleta, ou enviados para um computador. O aconselhado é que se use mais de um GMS no local que se pretende monitorar, pois cada um dos sensores indicam os valores referentes à tensão de água do solo de seus arredores, portanto, um número entre 4 e 7 GMSs podem fornecer estimativas mais confiáveis da tensão da água do solo ou sucção matricial (Pereira *et al.*, 2006).

2.3.2 Parcelas de controle de erosão

Sendo a erosão um problema que afeta diretamente a capacidade dos solos operarem em equilíbrio as suas taxas de pedogênese e morfogênese, e que apesar de serem recursos renováveis, o processo de sua renovação não ocorre na escala de tempo humana, os esforços para compreensão das taxas de perda dos solos têm se desenvolvido ao longo de mais de um século de pesquisas e experimentos (Servidoni *et al.*, 2020).

Os primeiros estudos utilizando a técnica de parcelas de controle de erosão para o monitoramento do escoamento superficial e das taxas de perda do solo foram desenvolvidos em 1915 na Universidade de Missouri nos Estados Unidos pelo pesquisador McClure e em 1917 por Dulley & Miller. A experiência consistiu na construção de “retângulos” fixados ao solo acoplados a um barril, para onde a água das chuvas escoaria e seria armazenada. Após cada evento de escoamento, Miller (2017) sugeriu que o material coletado fosse pesado, seco e mensurado (Gantzer *et al.*, 2018; Guesri, 2021).

Figura 9 – Parcelas de controle de erosão de Dulley-Miller.



Fonte: Gantzer *et al.*, 2018.

O sucesso desses primeiros experimentos mostrou que era possível ser feitas medições de forma relativamente fácil, o que colaborou para o desenvolvimento de pesquisas similares no decorrer dos anos seguintes. Portanto, estes estudos são considerados a base de modelagens como a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) ou como mais conhecida, *Universal Soil Loss Equation (USLE)*. A partir da década de 40, uma série de tentativas de criação de modelos de previsão de erosão foram propostos. Wischmeier *et al.*, (1958), teria sucesso em apontar o fator R como uma variável de grande correlação com a erosão, posteriormente consolidado através dos métodos apresentados principalmente nos trabalhos de Meyer & Wischmeier (1969) e Wischmeier & Smith (1978).

O fator R (Fator de erosividade das precipitações) é definido como a soma da energia e intensidade das chuvas superiores a 30 minutos ao longo do ano. Para tal, foram analisadas mais de 8000 parcelas, segundo Wischmeier *et al.*, (1958), a variável formada

O fator R tornou-se um dos seis fatores na equação universal de perda de solo *USLE* (Wischmeier; Smith, 1965). Os outros cinco fatores são: erodibilidade do solo, comprimento do talude, inclinação da encosta ou terreno, práticas de gestão de cobertura e práticas de conservação (Guesri, 2021). A *USLE* é definida pela seguinte equação:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (4)$$

Onde:

E = Perda média de solo anual

R = Erosividade da chuva

K = Erodibilidade dos solos

L = Comprimento do talude

S = Inclinação do terreno

C = Cobertura e manejo do solo

P = Práticas conservacionistas

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas modificações baseadas na *USLE*, segundo (1965), a maior diferença entre as possíveis equações seria dada em relação à maneira em que a precipitação das diferentes localidades são integradas aos cálculos de perdas de solo. Algumas das modificações seriam: a *MUSLE* (Williams, 1975), *RUSLE* (Renard *et al.*, 1997), *RUSLE2* (USDA-ARS, 2013). A equação *MUSLE* por exemplo, utiliza o escoamento superficial para realizar o cálculo da produção de sedimentos (Paz *et al.*, 2022).

A utilização de parcelas de controle de erosão é um dos muitos métodos de monitoramento que em conjunto de pluviômetros oferecem a possibilidade da aquisição de dados referentes ao comportamento hidrológico superficial e subsuperficial local com maior precisão (Loureiro *et al.*, 2022). Trabalhos como Lou *et al.*, (2022) e Paz *et al.*, (2022) apontam que o monitoramento realizado com parcelas de controle de erosão pode ser potencializado através do emprego de Sistema de Informações Geográficas (SIG), lançando mão de ortomosaicos, Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Os estudos adotando-se as parcelas de controle de erosão para mensuração de diversos parâmetros envolvendo o escoamento superficial, as taxas de perda dos solos, a evolução da rede de sulcos e ravinas e a infiltração dos solos, sobretudo, em vertentes e áreas onde predominam os sistemas de manejo agrícola, são de suma importância para compreensão dos processos erosivos, não havendo uma limitação geográfica para sua implementação. O monitoramento por parcelas de controle de erosão tem sido adotado em diferentes regiões do país e do globo com algumas variações metodológicas como: Jardim *et al.* (2017) em Paty dos Alferes – RJ; Antoneli *et al.* (2018) em Ivaí – PR; Pereira *et al.* (2022) em Ubatuba – SP; Carretta *et al.* (2021) em Padova – Itália; Lou *et al.* (2022) em Shanxi – China.

Diferentemente dos Estados Unidos, onde as pesquisas relacionadas ao monitoramento do escoamento superficial e das taxas de perda de solo possuem uma longa tradição, com trabalhos de mais de 20 anos de duração espalhados em pelo menos 50 diferentes estações

experimentais distribuída em diversas paisagens pelo território do país, no Brasil, há uma grande lacuna a ser preenchida neste sentido.

O trabalho de Anache *et al.* (2017), fez um levantamento de alguns dos trabalhos realizados com parcelas de controle de erosão no território brasileiro até aquele momento, constatando que a maioria dos projetos não recebem continuação ao longo dos anos, sendo raros os casos como o trabalho de Bertoni (1949) que possuem um longo histórico de monitoramento, no caso este, publicado em Bertoni & Lombardi Neto (2012).

Essa lacuna deixada pela ausência de trabalhos que monitorem a erosão dos solos por meio de parcelas, pode ser preenchida com dados quantitativos e qualitativos de estudos que abordam os diferentes parâmetros envolvendo os processos erosivos em diferentes biomas, culturas, tipos de solo, sistemas de plantio e declividade de terreno (Anache *et al.*, 2017).

Portanto, o aumento de estudos dentro desta temática, podem contribuir com o avanço metodológico e principalmente com a cobertura de informações relacionadas à erosão em uma maior parcela do território nacional. A criação de uma rede de pesquisa entre os laboratórios e instituições envolvidas neste tipo de monitoramento, assim como, o desenvolvimento de uma base de dados integrando por dados obtidos nas diversas experiências distribuídas pelo Brasil, podem desempenhar um importante papel na elaboração de políticas ambientais, bem como, na gestão do território e mitigação dos danos referentes a degradação dos solos.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi orientada por três eixos, os quais fundamentam o desenvolvimento do trabalho aqui apresentado. O primeiro consiste na realização do trabalho de gabinete, com a busca dos conceitos a serem abordados e imagens a serem utilizadas, lançando mão de artigos, dissertações, teses e livros relacionados aos temas tratados, assim como trabalhos técnicos, leis, decretos e resoluções. Algumas das plataformas utilizadas na busca virtual desses documentos foram: *Google Scholar*, Portal de Periódicos CAPES e *Research Gate*, assim como os repositórios da rede Sirius da UERJ e Pantheon da UFRJ.

O segundo, na realização de trabalhos de campo e seus relatos operacionais, a partir dessa etapa foi possível a implementação da instrumentação de monitoramento dos parâmetros hidrossedimentológicos, a captura de imagens aéreas da área de estudo utilizando o drone DJI Mini2, a coleta de amostras de solo e água. Os materiais e métodos utilizados na condução dos ensaios são aqui descritos.

O terceiro e último eixo consistiu na análise laboratorial das amostras coletadas, assim como dos dados obtidos diretamente pelo monitoramento em campo. Parte das análises pertinentes às propriedades físico-químicas dos solos foram realizadas no Laboratório de Geografia Física - UERJ (LAGEFIS), enquanto uma outra parte foi realizada nos laboratórios da EMBRAPA Solos. A organização dos dados obtidos a partir das análises, assim como o processamento daqueles obtidos diretamente em campo, foi conduzida no LGA, a partir da construção de gráficos, mapas, quadros e tabelas.

Portanto, no capítulo a seguir, serão melhor detalhadas as informações a respeito da área de estudo, suas características climáticas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso atual, assim como também serão apresentados os métodos utilizados para a condução da pesquisa. Passando pelas técnicas de monitoramento empregadas, os materiais utilizados, e a forma com que foram aplicadas, por fim, os métodos escolhidos para coleta e análise das amostras.

3.1 Área de estudo

A área de estudo se encontra situada nas coordenadas 22°32' 39,21" S, 43° 46' 51,07" O, na sub-bacia do Rio Sacra Família, mais precisamente no município de Mendes. A sub-bacia do Rio Sacra Família, além do município de Mendes também engloba os municípios de Engenheiro Paulo de Frontin e Vassouras, onde se concentram as cabeceiras de drenagem que destinam suas águas para formarem o rio Sacra Família, o qual é um importante afluente do rio Piraí em seu baixo curso (Silva, 2018).

O município de Mendes faz parte da Região Hidrográfica II Guandu, possui uma população estimada de 18.681 pessoas e densidade populacional de 184,83 hab/km² (IBGE,2021), e está situado ao reverso da escarpa da Serra do Mar em uma altitude média de 446 metros. Embora de acordo com a divisão regional vigente desde 2017, instituída pelo (IBGE, 2017), Mendes faça parte da mesorregião metropolitana do estado do Rio de Janeiro e da microrregião Vassouras compostas pelos municípios de: Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes, Miguel Pereira, Paracambi, Paty do Alferes e Vassouras compartilha da conjuntura histórica dos municípios que compõem o Vale do Paraíba, passando pelos mesmos ciclos econômicos que transformaram a paisagem da região.

Figura 10 – Região central do município de Mendes.



Fonte: AMAVCRJ, 2022.

Figura 11 – Mapa de localização da sub-bacia do Rio Sacra Família.

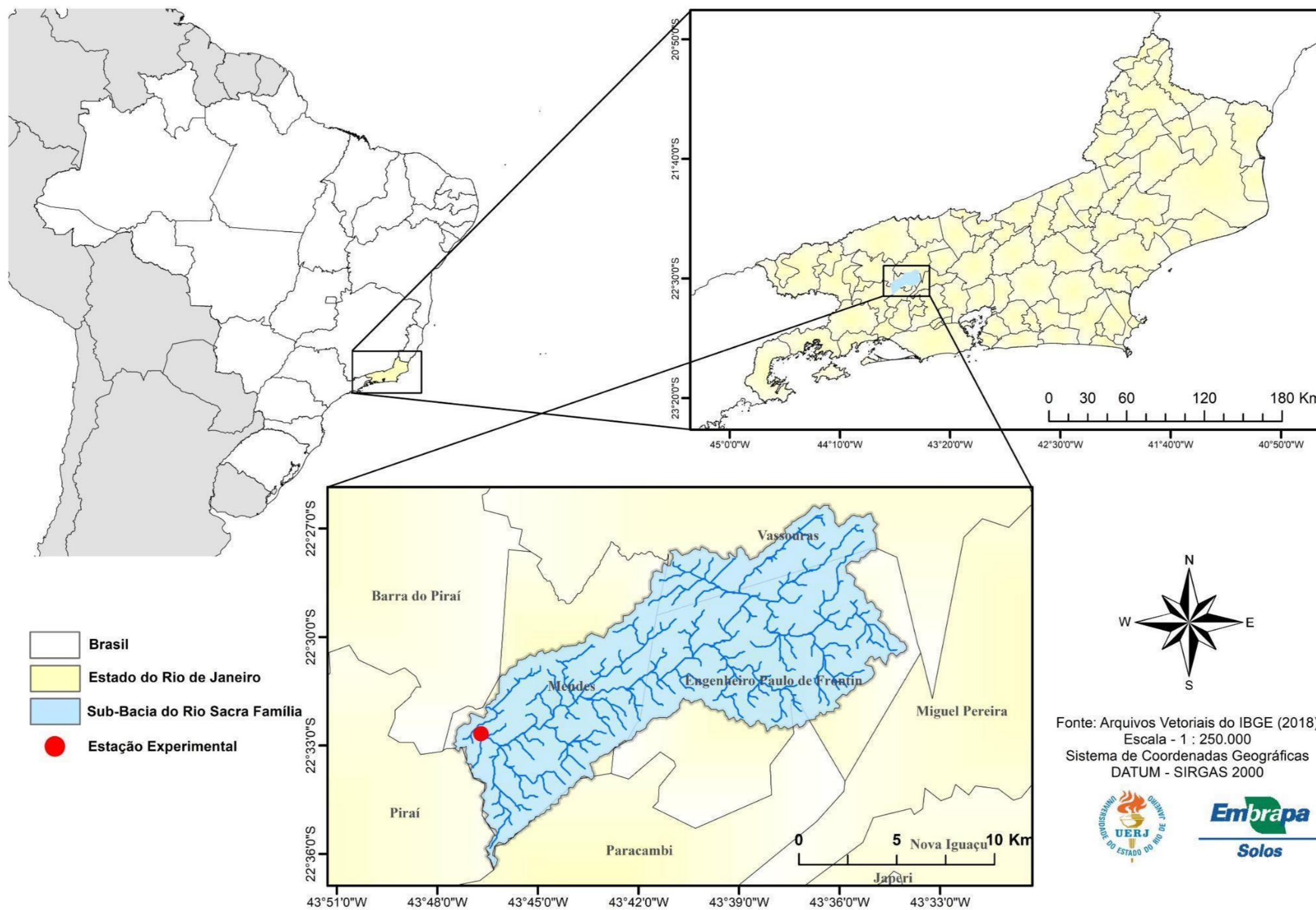


Figura 12 – Vista aérea da área de estudo e adjacências.



Fonte: Manso, 2023.

Figura 13 – Vista aérea da área de estudo e adjacências (2).



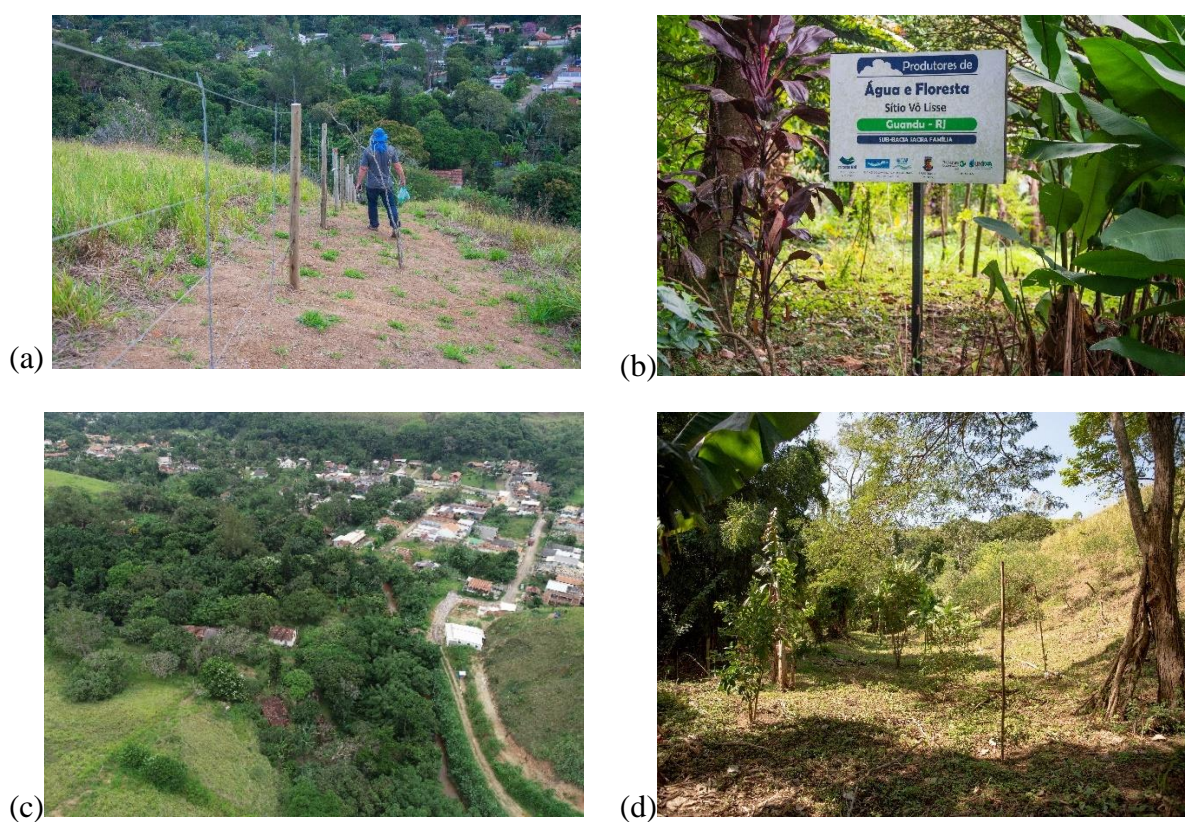
Fonte: Manso, 2023.

3.1.1 Localização

A área de estudo se trata de uma das 11 propriedades contempladas pelo Produtores de Água e Floresta (PAF) Sacra Família, no município de Mendes, situada na sub-bacia do Rio Sacra Família, a qual integra a Região Hidrográfica - Guandu II. A propriedade Sítio Vô Lisse foi o local escolhido para condução da pesquisa, na qual as parcelas de controle de erosão para a realização deste estudo foram implementadas. Possui uma área de cerca de 7,81 hectares, sendo as pastagens a cobertura predominante, ocupando 5,62 hectares. Embora o pasto seja predominante na propriedade, não há a presença de gado em seu interior.

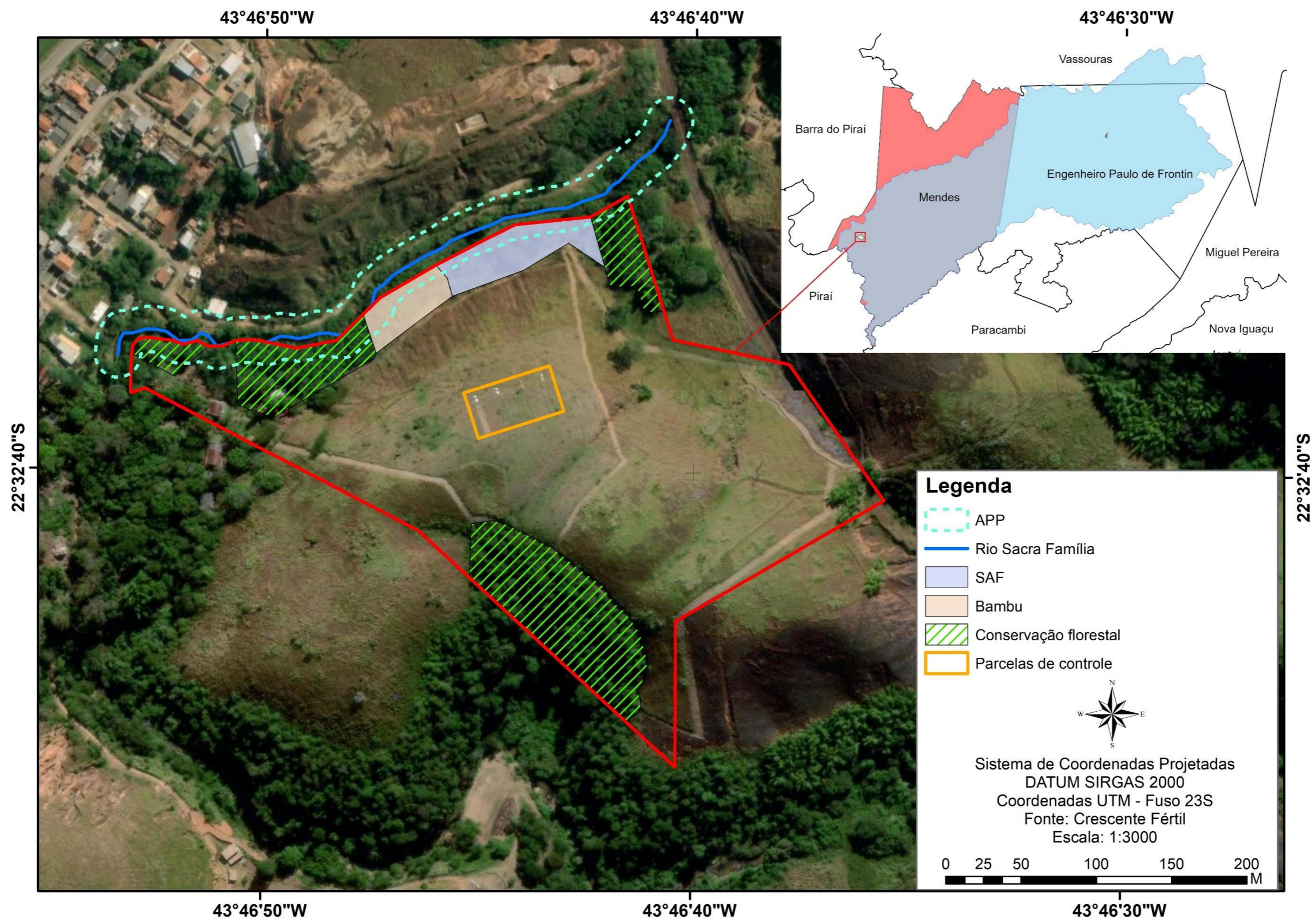
De acordo com a Crescente Fértil (2020), há no imóvel um grande histórico recente de fogo, embora a proprietária realize a manutenção de um aceiro, a mesma declarou dificuldade para a manutenção do mesmo por conta da falta de mão de obra e subsídios.

Figura 14 – Sítio Vô Lisse. (a) Aceiro da propriedade; (b) Placa do projeto PAF instalada na entrada do imóvel; (c) Vista da sede do imóvel; (d) Sistema agroflorestal (SAF).



Fonte: Manso, 2023.

Figura 15 – Mapa de localização da área de estudo

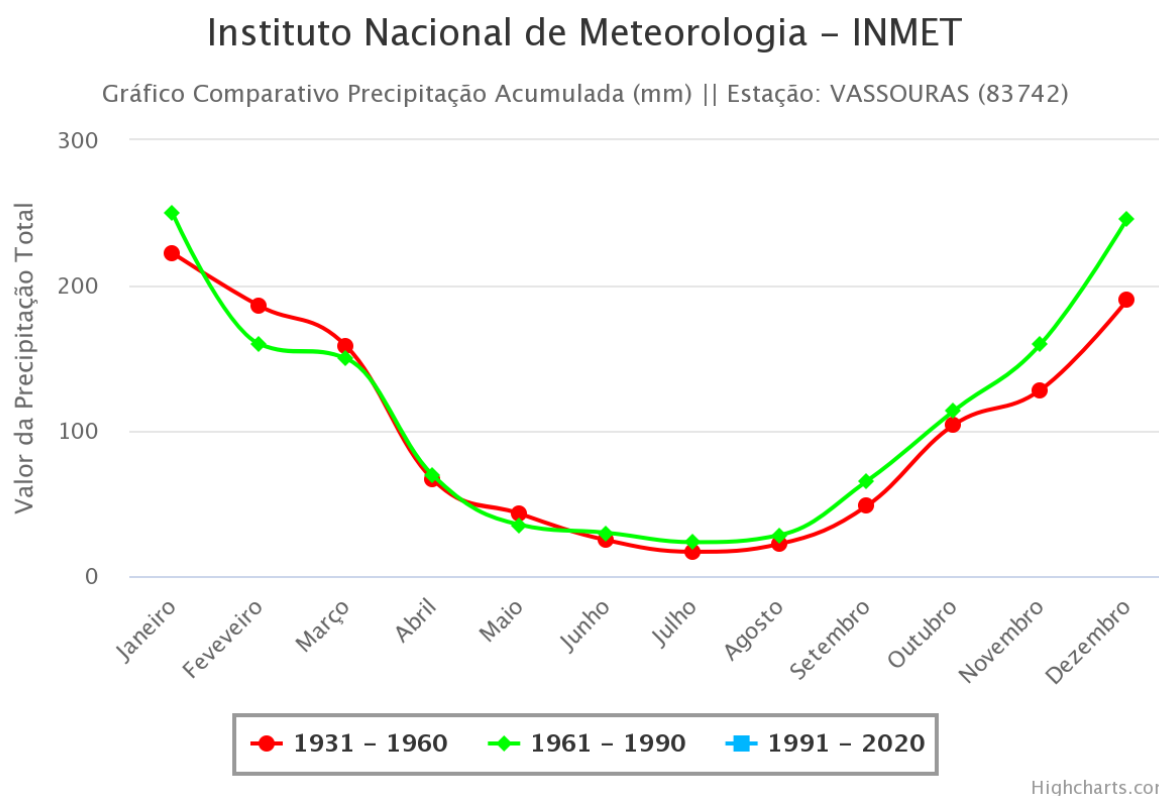


Fonte: Adaptado de Crescente Fértil, 2020.

3.1.2 Aspectos climáticos

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima da região é o tropical quente e úmido (Aw), possuindo uma estação mais seca durante o inverno, onde os meses possuem precipitação menor que 60 mm. As médias de precipitação anual se apresentam em torno de 1200 mm a 1400 mm, tendo os meses de novembro a março com os maiores percentuais de chuva, enquanto os meses de junho a agosto costumam ser os mais secos, com médias mensais variando entre 20 mm e 40 mm, de acordo com as cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação dos municípios de Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes, e Vassouras confeccionadas pela CPRM (2015a, 2015b, 2017).

Gráfico 1 – Comparação da precipitação anual acumulada, estação: Vassouras.

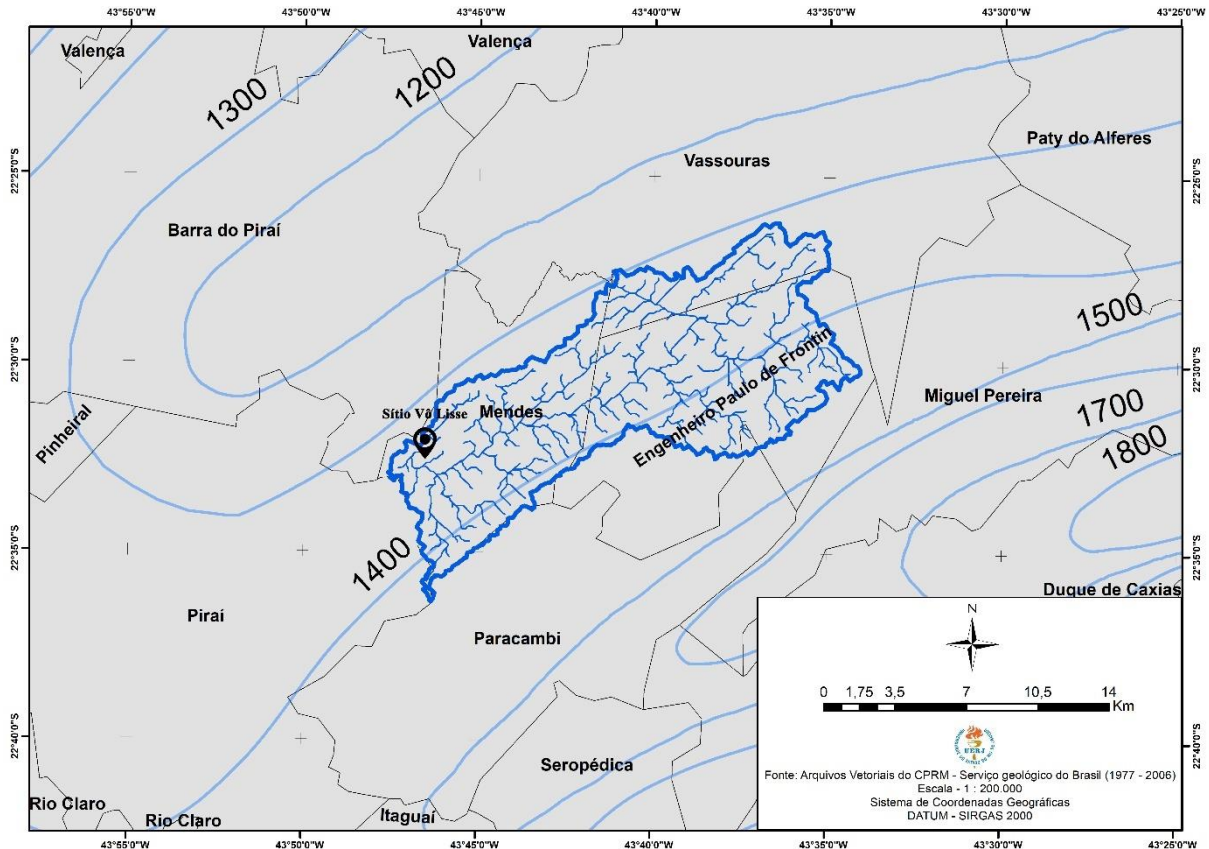


Fonte: INMET, 2023.

O gráfico histórico de precipitação anual acumulada do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referente a estação de Vassouras, demonstra que as maiores taxas de precipitação ocorrem no verão enquanto que no inverno o regime de secas e pouca

precipitação é característico, tal padrão se repete para os outros municípios da sub-bacia e também da região. Através de arquivos mais recentes do IBGE, foi possível gerar um mapa contendo as isoietas da região, confirmando os elevados índices pluviométricos registrados ao longo dos anos pelos institutos de pesquisa citados.

Figura 16 – Mapa de distribuição das isoietas na sub-bacia do rio Sacra Família.



Fonte: Manso, 2023.

3.1.3 Geologia e geomorfologia

A formação do embasamento litológico do sudeste brasileiro está diretamente atrelada aos movimentos de convergência e distensão tectônica da orogênese Brasileira/Pan-Africana, os quais formaram os cinturões orogênicos do sistema Mantiqueira e as bacias sedimentares do Paraná durante o Neoproterozóico (Heilbron *et al.*, 2000, 2004). Segundo Eirado *et al*

(2006, p. 426)” A Faixa Ribeira é uma das entidades do Sistema Orogênico Mantiqueira, formado pela aglutinação de parte do Gondwana Ocidental durante a Orogênese Brasileira, entre o Neoproterozóico e o Cambriano”.

O substrato litológico dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Sacra Família é formado pelas seguintes unidades geológicas: suíte Rio Turvo, fácies conservatória, e Complexo Paraíba do Sul, Complexo Quirino e a Unidade Arcádia Areal. O suíte Rio Turvo consolidado durante o Neoproterozóico, no evento "Orogênese Rio Doce" entre 595-560Ma, ocorre na forma de plútons alongados na direção NE-SW (Silva; Cunha, 2001).

A Suíte Rio Turvo é representada por ortognaisses cujo modo de ocorrência são corpos lenticulares de diversas dimensões intrudidos em gnaisses dos Grupos Andrelândia e Raposas. São granada-biotita gnaisses de granulometria grossa, foliação descontínua marcada por agregados de biotita envolvendo megacristais arredondados de feldspato potássico (Eirado, 2016 *apud* Silva, 2018).

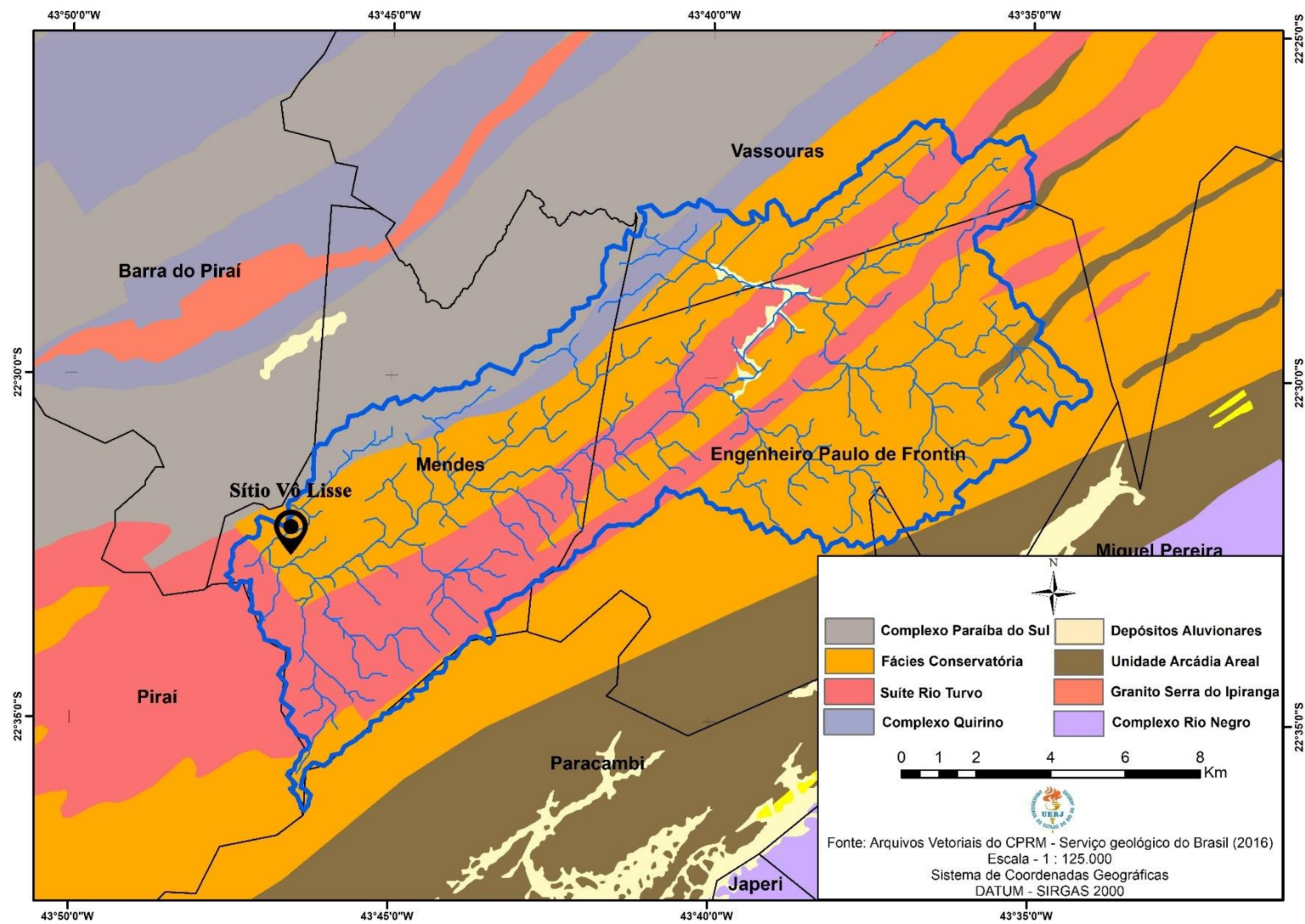
A Unidade Conservatória faz parte do terreno ocidental no domínio superior e constitui a litologia de boa parte da sub bacia do rio Sacra Família, aflorando na região entre Três Rios e Miguel Pereira, no médio vale do rio Paraíba do Sul, até a região de Angra dos Reis e Paraty, no litoral sul fluminense (CPRM, 2016). De acordo com a CPRM, (2016, p. 47).

“A Unidade Conservatória ocorre normalmente intercalada tectonicamente com os ortogranulitos paleoproterozoicos do Complexo Juiz de Fora, sendo frequente o fabric milonítico, como a presença de gnaisses fitados. Esta unidade engloba biotita gnaisses bandados quartzo-feldspáticos e gnaisses de derivação pelítica a semipelítica, ricos em biotita, granada e sillimanita, com abundantes intercalações métricas a centimétricas de quartzitos puros ou impuros, e mais localmente, de rochas manganíferas (gonditos), rochas calcissilicáticas e anfíbolitos”

Geralmente os quartzitos afloram em saibreiras exploradas, em corte de estradas ou cristas de morros (CPRM, 2016).

Segundo a CPRM (2007, p. 101) “O metamorfismo no Terreno Ocidental varia desde a fácies xisto verde, na borda cratônica, até a fácies granulito de média pressão próximo ao contato com os terrenos Oriental e Paraíba do Sul. No topo do Terreno Ocidental, o domínio Juiz de Fora se caracteriza como uma verdadeira *mélange* tectônica, definindo um duplex de escala crustal, onde rochas do embasamento e rochas da cobertura neoproterozóica estão milonitizadas e interdigitadas tectonicamente. As condições metamórficas sugerem gradiente de média pressão, com T e P máximas estimadas da ordem de 700 °C e 7 kbar”.

Figura 17 – Mapa geológico da sub-bacia do Rio Sacra Família.



Fonte: Manso, 2023.

A região onde a área de estudo está inserida possui geomorfologia caracterizada por uma extensa zona colinosa, com topos de morros nivelados de baixa amplitude, variando entre 400m e 600m, sendo o nível de base regional caracterizado pelo Paraíba do Sul em cotas de 300m a 380m (Dantas *et al.*, 2000). Segundo Heilbron *et al.* (2007) *apud* Lima (2019), o relevo é marcado pela alternância de alinhamentos serranos e vales encaixados na direção NE-SE, sendo “fortemente condicionado pelas estruturas da Faixa Ribeira e pelas unidades litológicas mais resistentes ao intemperismo e erosão”. A drenagem da sub-bacia do rio Sacra Família ocorre na direção NE-SW até desembocar no Rio Pirai.

De acordo com Ab’Saber (2007), no domínio dos “mares de morro”, assim por ele denominado, predominam os morros em formato arredondado em relevo planáltico, onde prevalece a forte decomposição de rochas cristalinas e processos de convexização e mamelonização do relevo. Segundo o relatório da AGEVAP (2014), o domínio Mares de Morro, apresenta o predomínio de vertentes convexo-convexas e convexo-côncavas alinhadas em forma de espigões, intensamente dissecadas pela erosão fluvial, entremeadas por vales de fundo aplainado, formados por terraços e leitos maiores, onde se encaixam cursos d’água pouco expressivos.

Figura 18 – Paisagem típica no domínio dos mares de morro, Mendes-RJ.



Fonte: Manso, 2023.

A litoestrutura é responsável por condicionar a direção e o perfil longitudinal dos canais fluviais, e a erosão diferencial do relevo é promovida formando níveis de base locais, que são degraus topográficos, ou *knickpoints* (Souza *et al.*, 2018). De forma geral, os *knickpoints* exercem controle sobre a evolução da rede de drenagem, definindo os níveis topográficos de evolução do relevo em cada microbacia hidrográfica ao longo do Médio Vale do Paraíba do Sul, favorecendo a atuação dos processos erosivos e deposicionais diferenciais (Eirado *et al.*, 1993; Souza *et al.*, 2018; Lima, 2019).

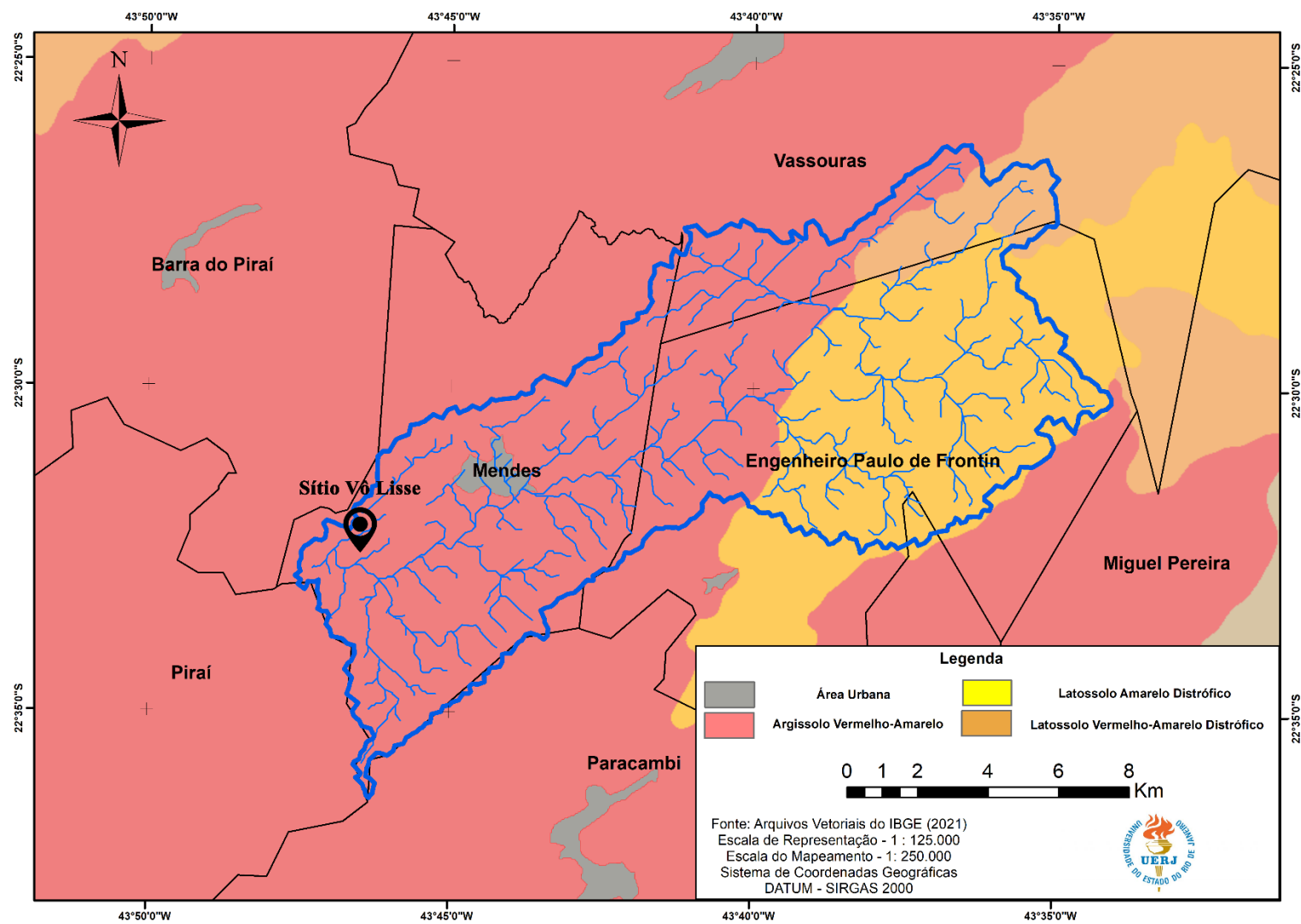
3.1.4 Cobertura Pedológica

Segundo os dados georreferenciados do PronaSolos (2016), os solos da sub-bacia do Rio Sacra Família em geral são solos bem desenvolvidos e lixiviados, predominando as classes de Argissolos Vermelhos - Amarelos Alumínicos e Latossolos Vermelhos e Amarelos (Distróficos), comumente associados às zonas de monossialitização que ocorrem nas latitudes médias dos Hemisférios Sul e Norte. De acordo com a AGEVAP (2014, p. 43):

“Na bacia do rio Paraíba do sul, apenas três unidades de mapeamento respondem por mais de 70% da cobertura pedológica dessa região. São elas: Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Cambissolos Háplicos Distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, ocupando 39,3%, 15,2% e 14,5% respectivamente.”

No sítio do Vô Lisse, área específica da implantação das parcelas de erosão, predomina o Argissolo, sendo este de profundidade variável, imperfeitamente drenados e de cores tanto avermelhadas quanto amareladas. As texturas variam de arenosa e argilosa no horizonte Ap (as vezes de reduzida espessura ou já inexistente) e média a muito arenosa no horizonte Bt, formando um gradiente textural, que propicia uma descontinuidade hidráulica favorecendo a ocorrência de processos hidro-erosivos.

Figura 19 – Mapa de distribuição dos tipos de solo na sub-bacia do rio Sacra Família.



Fonte: Manso, 2023.

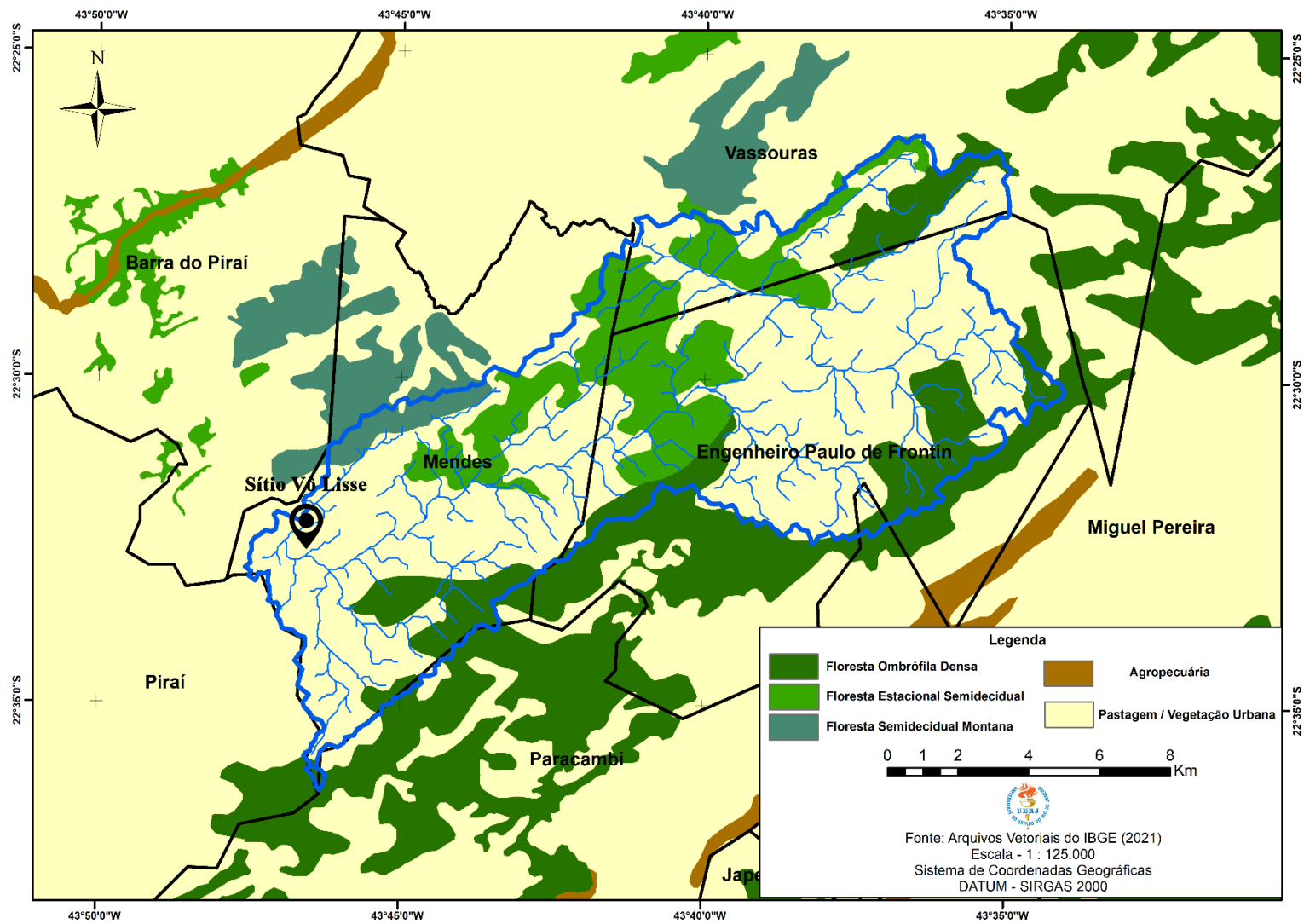
3.1.5 Uso do solo e cobertura vegetal

A região do Médio Vale do Paraíba do Sul possui um longo histórico de ciclos de intervenção atrelados às atividades agropecuárias associadas à economia cafeeira, que tem seu desenvolvimento no Brasil no decorrer dos séculos XVIII e XIX (Conceição, 2014). Por conta desses ciclos, a vegetação nativa de Mata Atlântica foi suprimida da paisagem, permanecendo poucos remanescentes que antagonizam com as extensas áreas de pastagens degradadas marcadas por cicatrizes erosivas, muito por conta do abandono das terras, a delimitação de propriedades através “valas” (Pereira *et al.*, 2017).

De acordo com a AGEVAP (2006, p. III.1), “A floresta estacional semidecidual, que ocupava a maior parte da bacia, foi a mais destruída. Da área de abrangência da floresta ombrófila existem ainda remanescentes mais expressivos”. Na sub-bacia do rio Sacra Família, a paisagem é principalmente configurada por campos e áreas de pastagem. O estudo realizado por Silva (2018), mostra que há um elevado número de cicatrizes erosivas no baixo curso da bacia, sendo o município de Mendes o maior afetado pelos problemas relacionados à erosão acelerada.

No Plano Estadual de Recursos Hídricos relatórios do Estado do Rio de Janeiro elaborado pelo INEA (2014, p. 77), alguns dos problemas associados a interferência antrópica na RH-II Guandu, a qual a sub-bacia do Rio Sacra Família faz parte, são destacados: “Com a expansão urbana da Região Metropolitana para esta RH, são lançados diariamente nos rios efluentes de natureza doméstica e industrial, na maioria das vezes sem qualquer tipo de tratamento.”. Complementando com as informações do relatório diagnóstico da AGEVAP (2014), onde este aponta que as atividades relacionadas à construção de loteamentos urbanos e cortes de estradas vicinais, ao longo do médio vale do paraíba do sul tem fragilizado o meio físico, deflagrando erosões lineares, deslizamentos e o assoreamento dos rios.

Figura 20 – Mapa de distribuição da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Sacra Família.

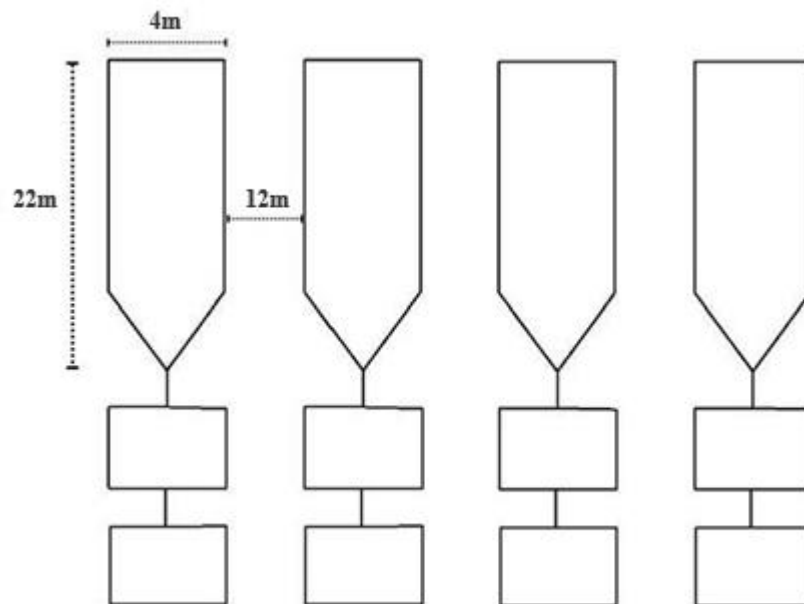


Fonte: Manso, 2023.

3.2 Técnicas de monitoramento

As técnicas de monitoramento seguiram a vasta literatura consolidada acerca das parcelas de controle de erosão, conforme apresentado no tópico do embasamento teórico. O espaçamento de doze metros entre as parcelas foi mantido com o intuito de conduzir as estratégias de restauro florestal em seus respectivos entornos, seguindo a metodologia em Portocarrero (2009), onde a dimensão do espaçamento é proposta com tamanho igual ou superior a largura das parcelas, adotado para evitar o efeito de borda ao redor das parcelas.

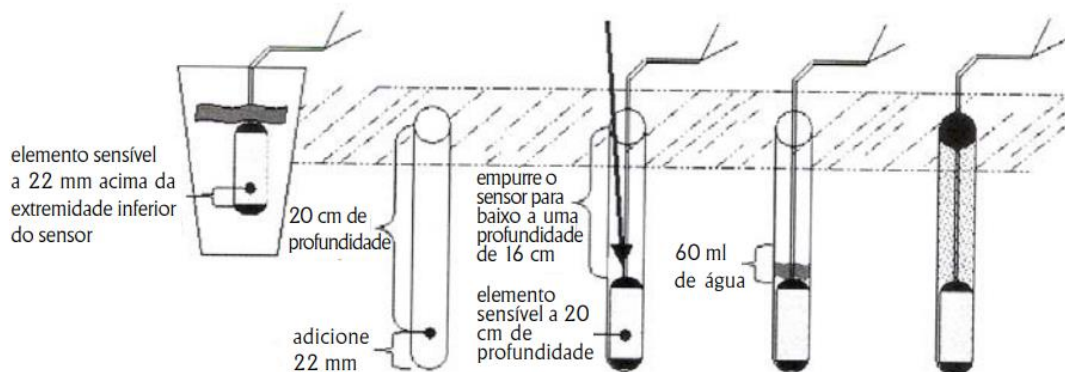
Figura 21 – Esquema para disposição das parcelas de controle de erosão.



Fonte: Manso, 2023.

A implementação dos GMSs seguiu metodologia proposta em Mendes *et al.*, (2007), em uma da área de estudo que fosse realmente representativa das condições hídricas da área de monitoramento, na qual os sensores foram introduzidos no solo em suas devidas profundidades e lentamente se fechou os orifícios criados para sua introdução, compactando a terra fina, para evitar a formação de um caminho preferencial para a chuva ou água de irrigação que poderão atingir facilmente o sensor.

Figura 22 – Esquema de instalação dos sensores de matriz granular em campo.



Fonte: Mendes *et al.*, 2007.

3.2.1 Implementação das parcelas de controle de erosão

A instalação das parcelas ocorreu no terço superior de uma vertente localizada a sudeste da sede do imóvel, a uma altitude em relação ao nível do mar de 432 metros, com inclinação média de 20% e máxima de 75%. Primeiramente, foram definidos quatro blocos de 25 x 28 metros ordenados paralelamente onde cada uma das quatro parcelas de controle de erosão nas dimensões de 22 x 4 metros foram implantadas, centralizadas no interior de cada bloco, mantendo assim uma zona de amortecimento de 12 metros entre cada parcela.

Para construção do corpo das parcelas, foram utilizadas folhas de zinco (chapas galvanizadas) de 60cm x 60cm, as quais com a ajuda de concreto foram fixadas ao solo em valetas de aproximadamente 30cm. Dessa forma, a altura exposta das folhas é de 30cm, sendo suficiente para reter a concentração dos fluxos d'água da vertente no interior dos limites de cada parcela.

Conectadas ao “corpo” das parcelas delimitadas pelas folhas de zinco, foram instaladas duas caixas d'água de (1000L), as primeiras de cada parcela conectadas por tubos PVC (100mm) e as segundas por um tubo PVC de (mm) e 4 joelhos de PVC (50mm) como quarteadores do fluxo uma vez que este preenchesse a primeira caixa. No interior de cada primeira caixa, um latão de 20L foi inserido, com o intuito de facilitar a medição das enxurradas menores a este volume.

A fase final da implementação das parcelas, a qual precede o monitoramento, se deu pela calibração de cada caixa e latão coletor, visando a determinação de seus respectivos volumes através da relação altura (cm) x volume (L). Para isso, quatro das oito caixas d'água foram preenchidas até o seu limite, por serem de modelos distintos, as outras quatro caixas restantes não foram preenchidas, sendo assim, adotou-se os valores mensurados de seus pares semelhantes.

Figura 23 – Chapas de zinco galvanizadas utilizadas para construção do corpo das parcelas.



Fonte: Crescente Fértil, 2021.

Figura 24 – Abertura de valetas para fixação das chapas de zinco ao solo.



Fonte: Crescente Fértil, 2021.

Figura 25 – Sistema de conexão entre o corpo das parcelas e as caixas d'água.



Fonte: Crescente Fértil, 2021.

Figura 26 – Vista aérea da disposição das parcelas em campo. Os pequenos círculos na superfície do solo do entorno das parcelas se trata do coroamento das mudas.



Fonte: Manso, 2023.

A tabela a seguir cataloga os materiais utilizados no processo de implementação das parcelas:

Quadro 8 – Materiais utilizados para implementação das parcelas de controle de erosão.

Descrição	Unidade	Quantidade
Caixa d'água 1000 litros	UM	8
Tubo 100mm x 3Mts	UM	4
Tubo 50mm x 3Mts	UM	5
Joelho 50mmX90	UM	16
Joelho 100mmX90	UM	4
Rolo de chapa galvanizada (60 cm largura x 0,50 mm espessura)	Kg	577
Tijolo 09X19X29	UM	120
Tijolo 09X19X19	UM	55
Flange de caixa d'água	UM	8

Fonte Manso, 2023.

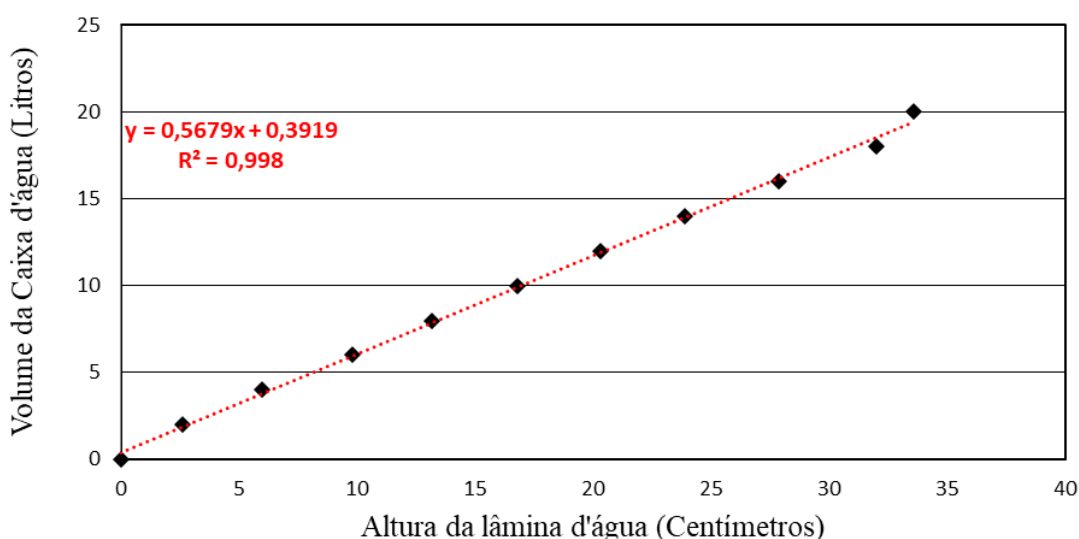
É importante ressaltar que ao longo do experimento diversos outros materiais foram adquiridos, uma vez que expostas as condições de campo, ou seja, a chuva, ao vento e ao sol, as parcelas necessitam de revisão e manutenção periódica. A grande maioria das manutenções se resumiu na melhoria das tampas das caixas d'água, no selamento destas para não ocorrência de vazamentos, na instalação de registros para facilitar o esvaziamento e retirada do material coletado após mensuração de seu volume, no trabalho de alvenaria para construção de abrigo para os *dataloggers* dos sensores GMS, os tratamentos por parte da Crescente Fértil (capinagem periódica, adubação, remoção da vegetação da parcela 4).

Devido a alguns problemas logísticos que impossibilitaram uma visita com regularidade mensal à área de estudo, o apoio técnico da Crescente Fértil e também dos proprietários foi fundamental para o monitoramento da situação em que se encontrava a estação experimental ao longo dos meses. O estabelecimento de um grupo de comunicação foi fundamental para que os trabalhos de campo fossem mais eficientes, evitando possíveis surpresas, dessa forma, as demandas de manutenção foram sempre previamente notificadas, o que facilitou por exemplo a aquisição de material, uma vez que a busca destes nos arredores da área de estudo, poderia resultar em gastos de manutenção mais onerosos ou simplesmente na ausência do necessário para atender as atividades.

3.2.2 Instrumentação para monitoramento hidrossedimentológico

Para a determinação do volume das enxurradas armazenado nas caixas d'água e nos latões, foi necessário realizar a calibração dos mesmos, obtendo assim a relação altura (centímetros) x volume (litros), a aferição foi realizada com o auxílio de uma régua graduada de campo. Seguiu-se o método aplicado em Portocarrero (2009), onde primeiro foi realizada a calibração de um latão de 20 litros, efetuada com o esvaziamento e mensuração gradual a cada 2L. A seguir são apresentados os gráficos de calibração do latão e de cada um dos modelos de caixas que foram utilizados, assim como o respectivo paralelo entre as caixas calibradas e as outras quatro que não foram.

Gráfico 2 – Curva de calibração do latão de 20 litros.

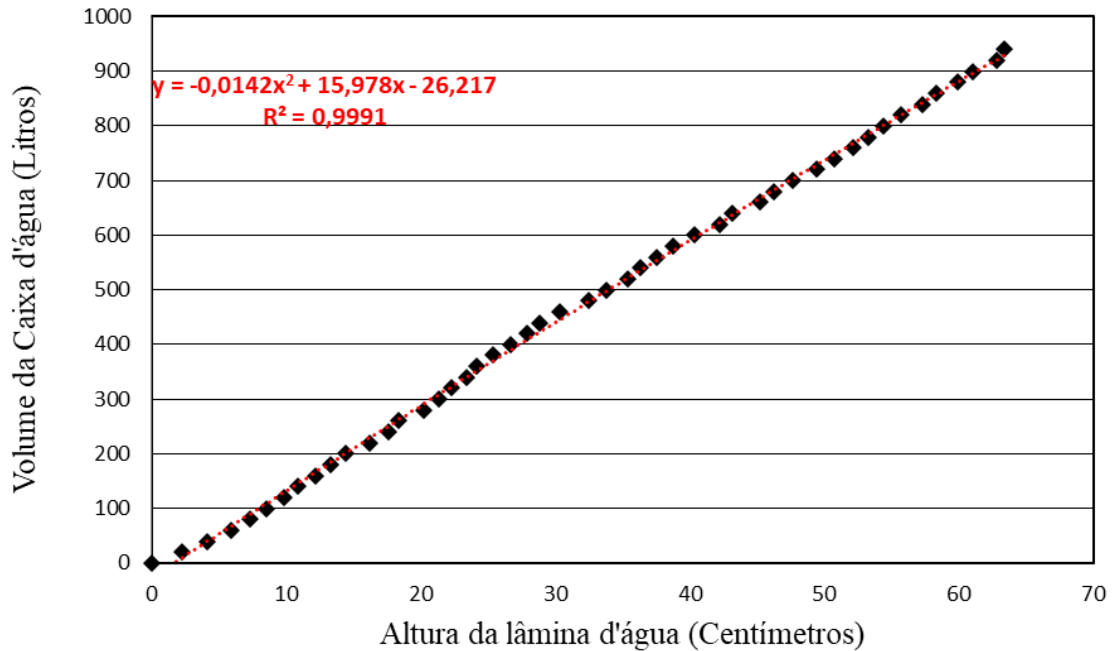


Fonte: Manso, 2023.

A calibração das caixas d'água seguiu a mesma metodologia usada no latão, porém, medindo-se o nível da lâmina d'água a cada esvaziamento gradual de 20 litros. Como três das oito caixas não são do mesmo modelo, foram efetuadas quatro calibrações distintas, sendo uma para a segunda caixa da parcela de Plantio Total (PT - C2), uma para a primeira caixa da parcela de Plantio Total + Adubação Verde (PTA - C1) a qual é semelhante a todas as outras três primeiras caixas de cada parcela (PT - C1 / RN - C1 / C - C1) e finalmente uma para a caixa dois da segunda parcela (C2-P2) e uma para caixa dois da terceira parcela (C2-P3), a

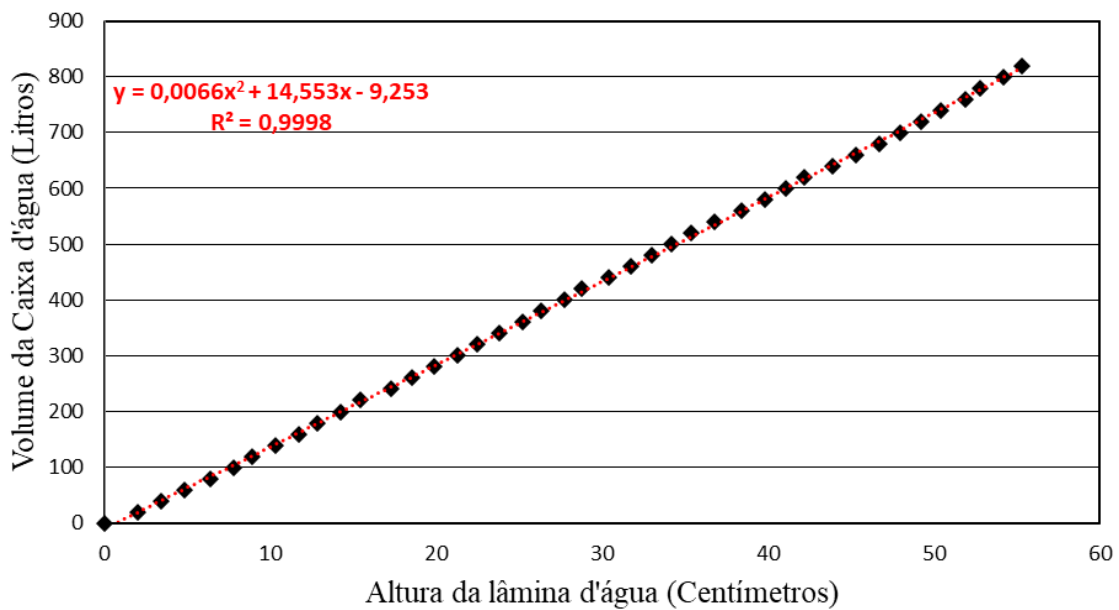
qual é semelhante à caixa dois da quarta parcela (C2-P4). As equações polinomiais expressam a relação: nível x volume d'água que dá base ao ensaio de calibração.

Gráfico 3 – Curva de calibração da parcela 1 “Plantio Total” - Caixa2.



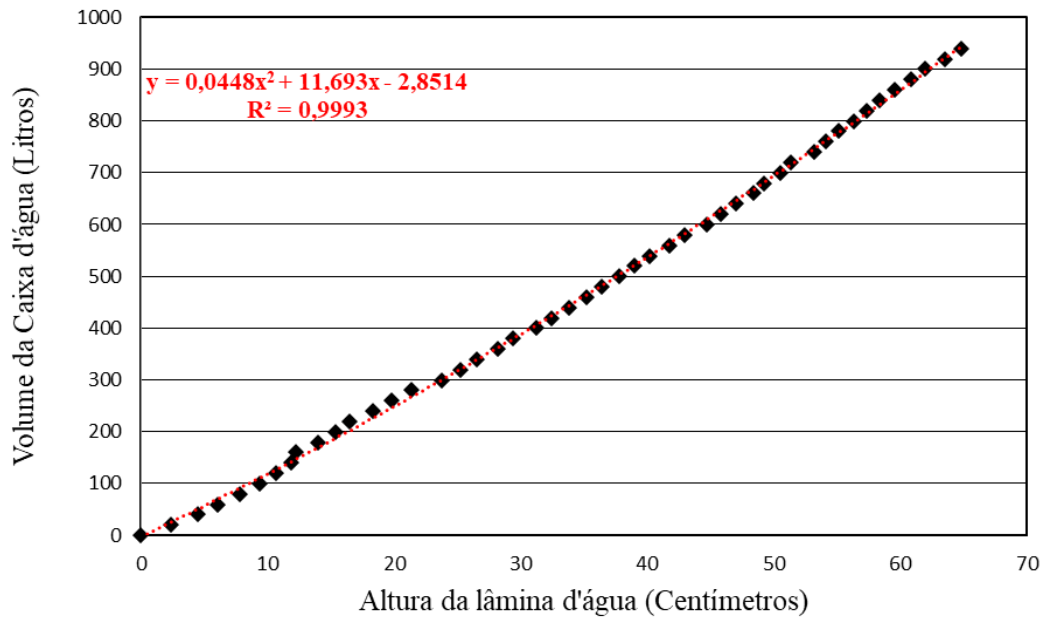
Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 4 – Curva de calibração da parcela 2 “Plantio Total + Adubação Verde” - Caixa 1



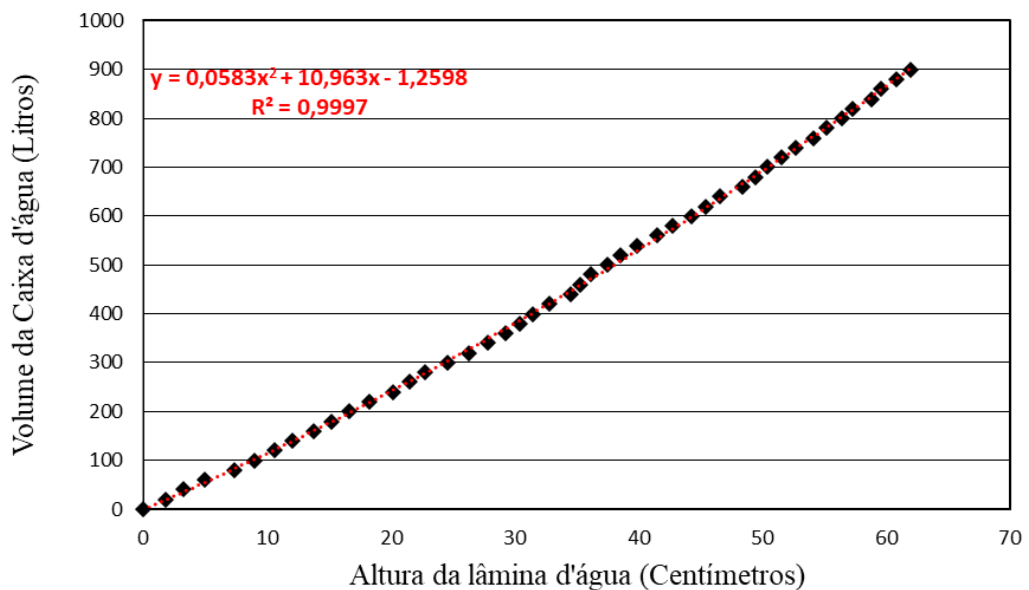
Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 5 – Curva de calibração da parcela 2 “Plantio Total + Adubação Verde” - Caixa 2.



Fonte: Manso, 2023.

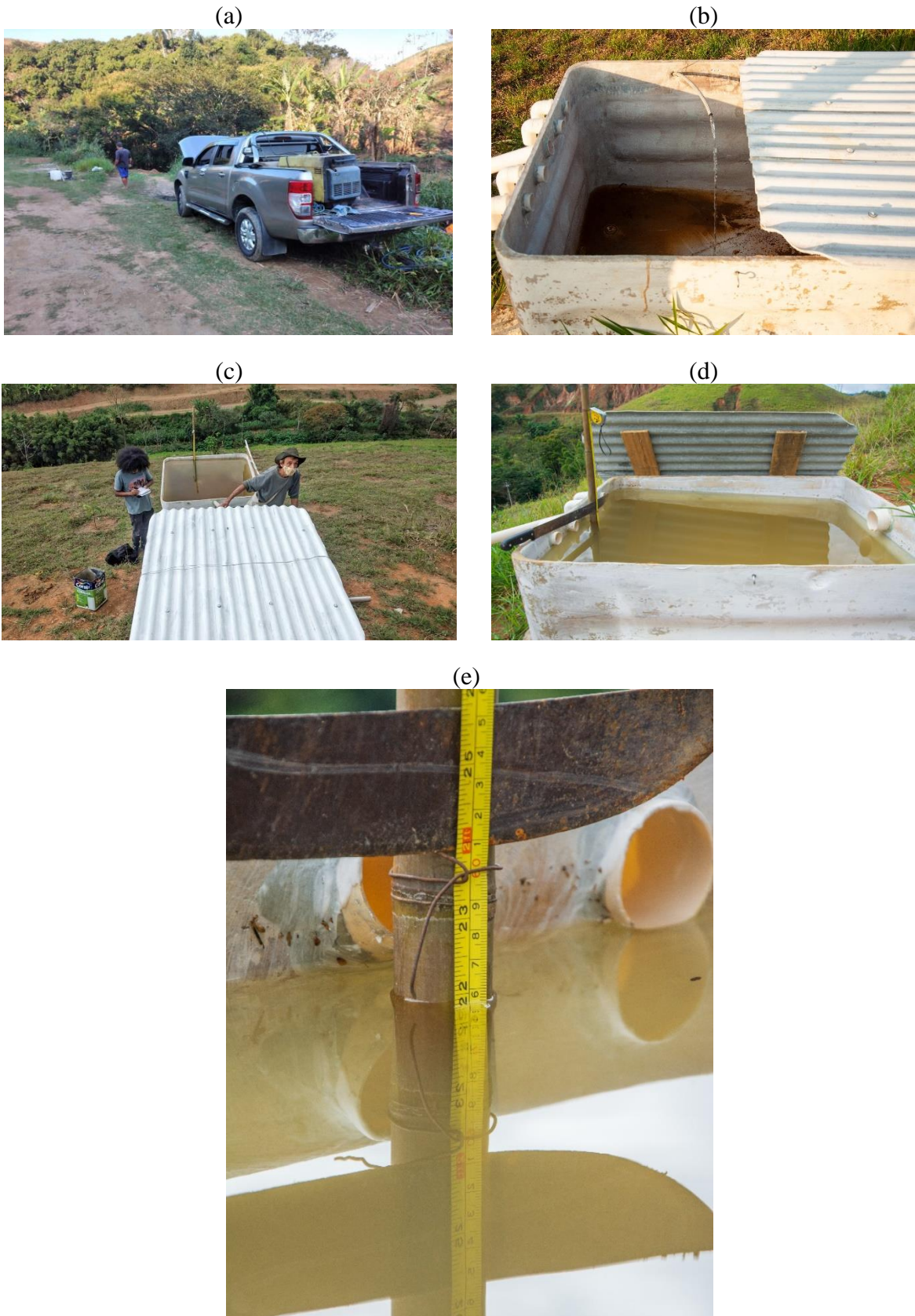
Gráfico 6 – Curva de calibração da parcela 3 com pastagem em pousio - Caixa 2.



Fonte: Manso, 2023.

O fato das parcelas se encontrarem instaladas próximas ao divisor de águas da vertente estudada, dificultou algumas operações, como foi o caso do transporte de água para montante. No ensaio de calibração foram utilizados cerca de 4000 litros de água, os quais chegaram até as caixas através do uso de uma motobomba ligada ao curso d'água à jusante.

Figura 27 – Ensaio de calibração das caixas d'água. (a) Bomba usada para encher as caixas d'água com a água do rio; (b) Preenchimento da caixa d'água; (c) Anotação da altura da lâmina d'água; (d) Caixa d'água totalmente preenchida; (e) Trena utilizada para a calibração.



Com a calibração finalizada foi possível dar início ao monitoramento das parcelas, a mensuração do volume das caixas e dos latões ocorreram sempre após um episódio de chuva. A leitura do nível d'água foi realizada através do uso de uma régua de campo, utilizada para obter a altura da lâmina d'água das enxurradas coletadas, uma vez que o material ficasse confinado nos latões, eram feitas as leituras dos mesmos, aproximando o instrumento de medição de uma de suas extremidades e averiguando a marca em que a lâmina d'água atingiu em seu interior.

Nos casos onde o material coletado extravasou o latão, despejou-se a coleta no interior da caixa d'água e homogeneizou-se o material, para que fosse feito o mesmo processo, considerando os fluxos coletados tanto do interior do latão quanto do seu extravaso. A leitura do volume da segunda caixa só ocorreu quando a primeira caixa ultrapassou seu limite de coleta, sendo multiplicado por cinco e somado ao total da primeira (multiplicação devida aos quarteadores dispostos na primeira caixa, onde apenas um dos quatro canos se conectam à segunda).

Ao final das medidas, foram feitas as coletas do material armazenado, após a sua homogeneização no interior do recipiente o qual se encontravam. Para isso, foram utilizadas garrafas de 250ml, as quais foram transportadas posteriormente para o laboratório, onde o conteúdo de cada garrafa seria despejado em um becker de massa conhecida, para ser submetido à secagem em estufa a 105°C por 72 horas.

O monitoramento da precipitação pluvial foi realizado por um par de pluviômetros instalados em área adjacente às parcelas, sendo eles do tipo “*Ville de Paris*” e HOBO RG3-M. O pluviômetro digital foi configurado para realizar leituras de chuva e de temperatura em um intervalo de 5 minutos, enquanto que no *Ville de Paris* as leituras são feitas em intervalo diário manualmente. Os dados do pluviômetro digital foram extraídos a cada nova ida a campo.

Figura 28 – Pluviômetros instalados nas proximidades das parcelas.



Fonte: Manso, 2023.

Foram utilizados 8 sensores GMS (*Granular Matrix Sensors*) ligados aos seus respectivos *dataloggers* no interior das parcelas de controle de erosão, para o monitoramento da sucção matricial dos solos. Os sensores foram introduzidos nas profundidades de 0-15 cm e 15-25 cm, distribuídos em pares, sendo utilizado em torno de 320 metros de cabeamento. A implantação dos sensores seguiu a seguinte disposição: 4 sensores por parcela, sendo divididos igualmente em linha horizontal nos terços superior e inferior, seguindo um afastamento de 2 metros entre cada, entretanto, estes foram utilizados apenas nas parcelas 3 e 4.

A proposta inicial consistiu na instalação de 2 sensores por parcela no terço médio, a fim de monitorar todas as quatro, porém, visando cobrir uma maior área, os sensores em nossa posse foram em um primeiro momento instalados em duas delas. Feito a compra de 8 novos sensores, foi realizado um novo trabalho de campo para instalação destes, junto a um *datalogger* em fevereiro de 2023, mês em que foi feita também a leitura dos 8 primeiros instalados no fim de outubro de 2022. Entretanto, ao retornarmos em março de 2023, ambos os *dataloggers* apresentaram sinais de curto-circuito, o que impossibilitou a leitura da sucção matricial nas parcelas 1 e 2 e interrompeu o monitoramento das parcelas 3 e 4.

Figura 29 – Instalação dos sensores GMS. (a) Tradagem e instalação dos sensores GMS no interior das parcelas; (b) Leitura dos registros a partir do *dattalogger*.

(a)



(b)

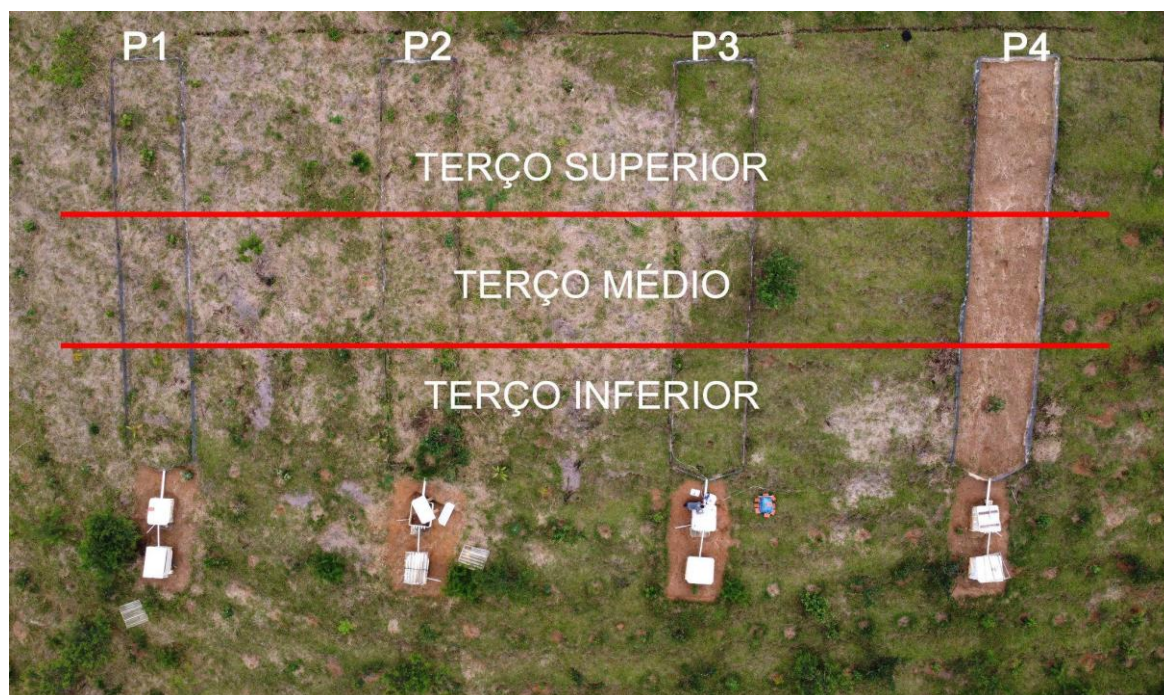


Fonte: Manso, 2023.

3.2.3 Coleta de amostras de solo

Com a delimitação da área de cada parcela definida, em seus respectivos interiores, foi realizada a coleta de amostras de solo para a caracterização física e química, um total de 144 amostras foram retiradas das quatro parcelas, 72 em um primeiro momento antecedendo aos tratamentos (T0), e outras 72 após a conclusão de um ano do processo de restauro florestal (T1). As parcelas foram divididas em: Terço superior; Terço médio e Terço inferior, onde em cada uma dessas secções se extraiu seis amostras, sendo duas de material deformado e quatro de material indeformado (duas em blocos e duas em anéis volumétricos) nas profundidades de (0-10cm e 10-20 cm) respectivamente para cada tipo. As coletas em (T0) ocorreram no dia 15/10/2021 e em (T1) ocorreram no dia 05/05/2023.

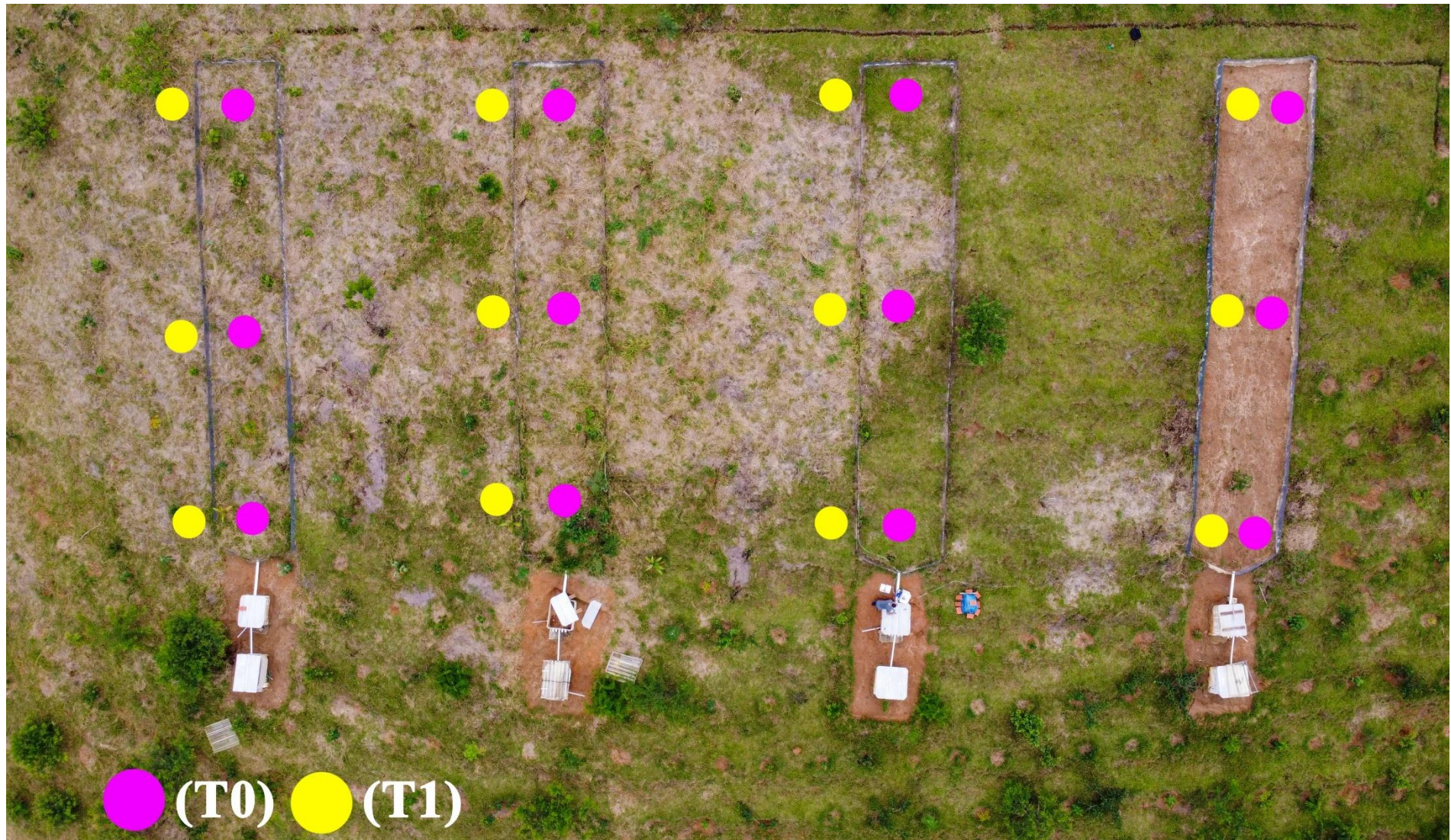
Figura 30 – Secções definidas para orientação da coleta de amostras. (P1 - Plantio Total; P2 - Plantio Total + Adubação Verde; P3 - Pastagem em pousio; P4 - Controle).



Fonte: Manso, 2023.

Os atributos morfológicos dos solos relacionados à textura, estrutura, porosidade e cerosidade foram atribuídos seguindo o Manual de Descrição e Coleta de Solo em Campo, (SANTOS *et al.*, 2015) e a Carta de Munsell para cor.

Figura 31 – Pontos de coleta das amostras em (T0) e em (T1)



Fonte: Manso, 2023.

Figura 32 – Torrão de solo sendo coletado no interior de uma das parcelas.



Fonte: Manso, 2023.

Figura 33 – Amostra coletada em anel volumétrico.



Fonte: Manso, 2023.

Figura 34 – Amostras de solo armazenadas no laboratório LAGEFIS/UERJ.



Fonte: Manso, 2023.

Figura 35 – Amostras secas ao ar livre em laboratório.



Fonte: Manso, 2023.

3.2.4 Estratégias de restauro florestal adotadas

Em maio de 2020 foi elaborado o “Plano Individual da Propriedade” para cada imóvel contratado, a partir da avaliação técnica dos membros da equipe do projeto. Essa avaliação consistiu no estabelecimento de quais atividades de implantação, manutenção, monitoramento e restauro florestal seriam implementadas em cada uma das propriedades, levando em consideração o seu estado naquele determinado momento.

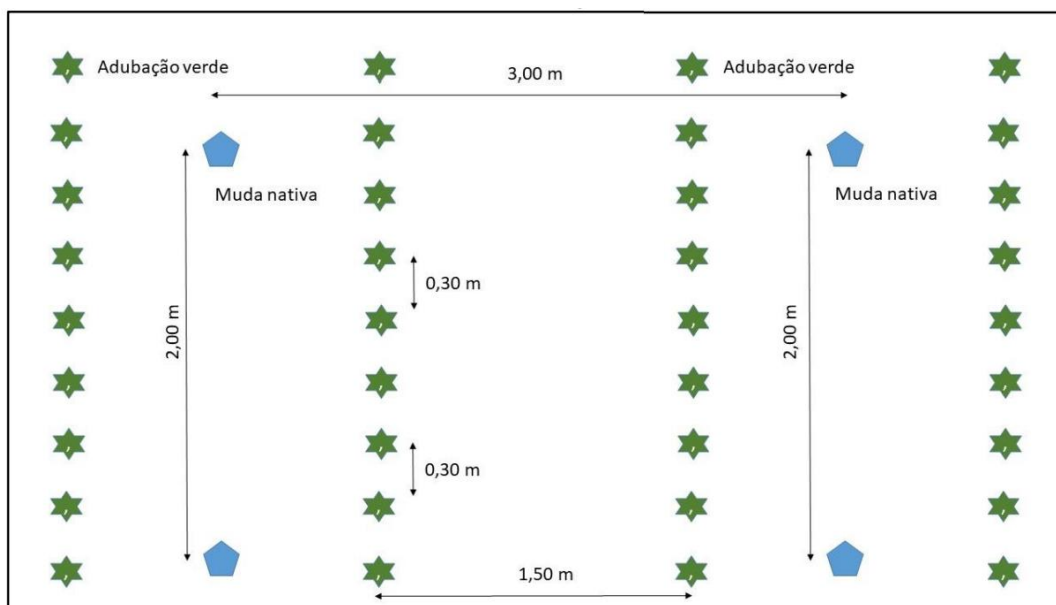
Segundo a CF, a estratégia de plantio adotada se baseou na metodologia executada em (Rodrigues *et al.*, 2009), que consiste no plantio de 2.034 mudas de 61 espécies diferentes, formando linhas de preenchimento, compostas por espécies que se desenvolvem bem a pleno sol e apresentam crescimento rápido com boa cobertura do solo, em linhas de diversidade, formadas por espécies de comportamento sucessionais distintos (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax) para garantir o processo de sucessão florestal (Crescente Fértil, 2021).

As operações de preparo do solo e plantio das mudas ao longo da vertente onde se encontram as parcelas de controle de erosão foram concluídas no final do mês de junho de 2021 (Crescente Fértil, 2021). Em março de 2022, para se dar início ao monitoramento das estratégias adotadas pelo PAF, foram introduzidos os seguintes tratamentos no interior das parcelas: 1 - Plantio total; 2 - Plantio total + adubação verde; 3 - Pousio; 4 - Solo exposto.

O plantio em maior densidade de espécies pioneiras e secundárias iniciais é bastante utilizado em reflorestamentos para restauração de áreas degradadas, pois essas espécies apresentam crescimento e desenvolvimento mais rápido e proporcionam condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento das espécies tardias (Ferreti & Britez, 2005; Kageyama & Gandara, 2005 apud Silva *et al.*, 2016).

Para promover a sucessão ecológica pelo reflorestamento, a Crescente Fértil lançou mão de uma maior quantidade de espécies pioneiras, isso se deve por estas possuírem tolerância a extremos de temperatura, à infertilidade do solo e a substratos propensos a secar nos ambientes no início da sucessão. As árvores pioneiras causam mudanças que aliviam o constrangimento para o estabelecimento de árvores secundárias em ambientes inicialmente adversos, crescendo rapidamente por serem adaptadas para a retirada de nutrientes ou a retenção dos nutrientes sob baixas concentrações (Matthes & Martins, 1996).

Figura 36 – Esquema de plantio adotado pela Crescente Fértil.



Fonte: Crescente Fértil, 2021.

O plantio dos tratamentos no interior das parcelas ocorreu juntamente ao início do monitoramento, logo, os primeiros resultados obtidos por esse trabalho abrangem também o estágio inicial de condução das técnicas de restauro florestal implementados pela Crescente Fértil. Foram utilizadas 140 mudas para o plantio, as parcelas em que houve plantio de mudas foram as parcela 1 e 2, situadas a leste da vertente na direção da linha férrea que circunda a propriedade, os quais consistiram em plantio de árvores nativas, na parcela 1, com espaçamento 3m x 2m, sendo linhas compostas por espécies com função de preenchimento e linhas de diversidade (Quadro 9), enquanto que na parcela 2 foi feito o plantio com espaçamento de 3m x 2m com linhas de preenchimento e diversidade com o acréscimo de adubação verde no espaçamento 1x1, nas linhas e entre linhas, as espécies utilizadas foram feijão de porco, guandu e crotalária (Manso *et al.*, 2022).

As parcelas 3 e 4, a oeste das duas primeiras aqui mencionadas, não receberam nenhum tipo de plantio em seu interior, tendo sido adotada apenas a roçada mecanizada (parcela 3) e a exposição total do solo (parcela 4) com a retirada de toda a gramínea e pequenos arbustos que ali cresciam.

No momento dos plantios a infestação de gramínea estava em torno de 100%, foi feita a roçada mecanizada seletiva e capina da faixa de plantio. A frequência de queimadas no período seco é um fator que coloca a manutenção dos plantios em risco de sofrer impacto por incêndio mesmo mantendo aceiros de 3 metros de largura (Crescente Fértil, 2021).

Quadro 9 – Espécies utilizadas nas parcelas de controle de erosão para o plantio total e adubação verde.

Nº	Nome Popular	Nome Científico	Família	Grupo funcional	Classificação	Dispersão	QTD
1	Açoita-cavalo	<i>Luehea divaricata</i>	Malvaceae	Diversidade	Pioneira	Ane	3
2	Aleluia	<i>Senna multijuga</i>	Fabaceae	Preenchimento	Pioneira	Zoo	2
3	Anda Assu / Cutieira	<i>Joanesia princeps</i>	Euphorbiaceae	Diversidade	Não pioneira	Aut	5
4	Angico-vermelho	<i>Anadenanthera Sp</i>	Fabaceae	Diversidade	Não pioneira	Aut	3
5	Araçá-amarelo	<i>Psidium cattleianum</i>	Myrtaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	3
6	Capixinguí	<i>Croton floribundus</i>	Euphorbiaceae	Preenchimento	Pioneira	Aut	5
7	Embaúba-prateada	<i>Cecropia hololeuca</i>	Cecropiaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	5
8	Figueira-branca	<i>Ficus guaranítica</i>	Moraceae	Diversidade	Não pioneira	Zoo	3
9	Gabioba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Myrtaceae	Diversidade	Não pioneira	Zoo	3
10	Goiaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	3
11	Imbirucú	<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	Malvaceae	Diversidade	Não pioneira	Ane	3
12	Ipê-verde	<i>Cybistax antisyphilitica</i>	Bignoniaceae	Diversidade	Não pioneira	Ane	3
13	Jacaranda da Bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	Fabaceae	Diversidade	Pioneira	Aut	5
14	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae	Diversidade	Não pioneira	Zoo	3
15	Jenipapo	<i>Genipa infundibuliformis</i>	Rubiaceae	Diversidade	Não pioneira	Zoo	3
16	Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Arecaceae	Diversidade	Não pioneira	Zoo	3
17	Orelha-de-negro	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Diversidade	Pioneira	Aut	3
18	Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Melastomataceae	Diversidade	Pioneira	Aut	3
19	Saira	<i>Casearia sylvestris</i>	Salicaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	3
20	Tamanqueiro	<i>Aegiphila integrifolia</i>	Laminaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	3
21	Tapiá	<i>Alchornea glandulosa</i>	Euphorbiaceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	7
22	Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i>	Fabaceae	Preenchimento	Pioneira	Aut	9
23	Fumo Bravo	<i>Solanum granuloso</i>	Solanaceae	Preenchimento	Pioneira	Zoo	9
24	Ingá-do-brejo	<i>Inga vera subsp</i>	Fabaceae	Preenchimento	Pioneira	Zoo	9
25	Mulungu	<i>Eritrina verna</i>	Fabaceae	Preenchimento	Pioneira	Zoo	7
26	Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Preenchimento	Não pioneira	Zoo	9
27	Taiuva	<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	Diversidade	Pioneira	Zoo	5
28	Guapuruvú	<i>Schizolobium parahyba</i>	Fabaceae	Preenchimento	Pioneira	Aut	9
29	Ingá-de-metro	<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Preenchimento	Não pioneira	Zoo	9
TOTAL							140

Fonte: Crescente Fértil.

Figura 37 – Exemplo de espécies utilizadas nos tratamentos adotados pela Crescente Fértil.

Embáuba-Prateada (*Cecropia hololeuca*)



Guapuruvú (*Schizolobium Parahyba*)



Anda Assu (*Joanesia princeps*)



Araçá-Amarelo (*Psidium cattleianum*)



Aleluia (*Senna multijuga*)



Ingá-de-metro (*Inga edulis*)



Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*)



Mutambo (*Guazuma ulmifolia*)



Goiaba (*Psidium guajava*)



Ipê Verde (*Cybistax antisyphilitica*)



Fonte: Manso, 2023.

No Sítio Vô Lisse, as atividades conduzidas durante a fase de implantação compreenderam inicialmente: o cercamento da propriedade, o aceiramento, o controle de gramíneas exóticas, o controle de formigas e pragas, passando posteriormente para as atividades de manutenção e monitoramento conforme o quadro abaixo. O detalhamento das atividades foi transcrito do relatório “Produto 12 - elaboração do plano individual da propriedade”.

Quadro 10 – Atividades implantadas para o restauro florestal pela Crescente Fértil.

Fases de execução	Atividades de implantação
Implantação	Cercamento
	Abertura de aceiros
	Controle de gramíneas exóticas
	Controle inicial das formigas cortadeiras
	Plantio da adubação verde
	Demarcação das linhas de plantio
	Abertura dos berços
	Calagem do solo
	Plantio
	Aplicação de hidrogel
	Adubação de base
Manutenção	Replanteio
	Controle das formigas cortadeiras
	Adubação de cobertura
	Coroamento
	Controle de gramíneas exóticas
	Limpeza dos aceiros
Monitoramento	Relatório de monitoramento
	Acompanhamento anual e quitação

Fonte: adaptado de Crescente Fértil, 2020.

1. Fase de implantação

Cercamento: As cercas foram compostas por mourões de eucalipto tratado (8 a 12 cm diâmetro) instalados a cada 5 metros, com 4 fios de arame liso, 2 balancins galvanizados e um conjunto de 4 catracas a cada 100 metros de cerca instalada.

Abertura de aceiros: Os 730 metros de aceiros foram implantados nos locais identificados como prioritários, sendo estimado uma margem de segurança para considerar as nuances do terreno que tornaram a medição em campo superior ao cálculo planimétrico realizado pelo mapeamento. A abertura do aceiro foi executada removendo toda a gramínea existente na faixa de 3 metros.

Controle das gramíneas exóticas: A atividade teve como objetivo a roçada mecanizada para o manejo das gramíneas exóticas presentes que dificultaram o processo de restauração florestal. Nos locais com alta infestação de capim foi utilizada roçadeira costal para o rebaixamento da biomassa vegetal.

Controle inicial das formigas cortadeiras: O controle inicial foi feito utilizando bioisca formicida aprovada pelo IBD. A atividade se estendeu aos arredores da área a ser recuperada visando um manejo eficaz dos formigueiros. A operação foi repetida periodicamente até o fim das atividades de plantio. A dosagem máxima utilizada foi de 4kg de bioisca/hectare.

Plantio da adubação verde: O plantio da adubação verde teve como objetivo controlar o crescimento das gramíneas exóticas e fornecer nitrogênio ao solo da área a ser restaurada. Foi empregado o espaçamento de 1,5m entre linha e 0,30m entre plantas. As espécies utilizadas foram feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e abóbora (*Cucurbitas sp.*). As sementes foram misturadas formando uma “muvuca” para serem semeadas na quantidade média de 5-6 unidades por covetas.

Demarcação das linhas de plantio: As entre linhas da adubação de cobertura foram roçadas novamente após 3 meses para a demarcação dos berços em nível através do coroamento com o raio aproximado 25cm, respeitando-se o espaçamento de 3m x 2m.

A coroa possui uma menor dimensão para evitar a exposição da muda recém-plantada ao sol e, conseqüentemente, perder menos umidade na área da coroa.

Abertura dos berços: Os berços foram abertos respeitando-se o espaçamento aproximado de 3m x 2m com dimensões de 30cm x 30cm x 30cm. Para abertura foi empregado um motocoveador. O berço foi perfurado no centro das coroas previamente capinadas.

Calagem/berço: A calagem foi realizada juntamente com a atividade de abertura do berço. A dosagem de 300g de calcário foi misturada ao solo com o apoio do motocoveador.

Aplicação de hidrogel/berço: Esta atividade aconteceu simultaneamente ao plantio das mudas. Foi aplicado no berço aproximadamente 0,5 litro de polímero retentor de água hidratado.

Plantio: A atividade adotou a metodologia dos Grupos Funcionais (Rodrigues *et. al.*, 2009), que consiste no plantio das 2.034 mudas formando linhas de preenchimento, compostas por espécies que se desenvolvem bem em condições adversas.

Adubação de base/berço: Esta atividade foi realizada até uma semana após o plantio das mudas. A adubação de base composta por 150 gramas de Yoorin Master 1 com certificação IBD foi depositada em um coveta lateral à muda plantada.

2. Fase de manutenção

Replantio: Após 45 dias de plantio a equipe do projeto realizou vistoria na área para estimar o índice de mortalidade das mudas. O replantio foi realizado no início do período chuvoso de 2020.

Repasse no controle das formigas cortadeiras: Durante os primeiros 6 meses da fase de manutenção, rondas quinzenais foram realizadas na área pela equipe da Crescente Fértil a fim de verificar a atividade dos formigueiros e os impactos sobre as mudas. A aplicação de formicida orgânico nos olheiros e carregadores aconteceu sempre quando

detectada a presença de formigas. Três rondas anuais foram realizadas durante os anos da fase de manutenção.

Adubação de cobertura: A adubação de cobertura foi realizada através da aplicação de 100g do Ekosil (Insumo aprovado pelo IBD) para o fornecimento de potássio para as mudas plantadas. A adubação aconteceu na projeção da copa da muda plantada, na forma de “meia lua”.

Coroamento: A atividade consistiu na capina para remoção da vegetação existente em um raio aproximado de 50cm ao redor das mudas plantadas. Foram realizadas 3 operações anuais.

Controle das gramíneas exóticas: Foram realizadas no mínimo 3 operações anuais, durante a vigência do projeto.

Limpeza de aceiros: A limpeza de aceiro consistiu na capina da vegetação existente na faixa de 3 metros ao longo da extensão aberta na fase de implantação para proteger a área e cercamento de queimadas. Foram realizadas 2 operações anuais.

3. Fase de monitoramento

Relatório de Monitoramento para Certificação da Implantação: O monitoramento em campo foi iniciado após 45 dias da implantação e seguiu as orientações do Anexo III da Resolução Inea nº 143 de 14 de junho de 2017.

Relatório de Monitoramento para fins de Acompanhamento Anual e Quitação: O monitoramento em campo aconteceu quando o plantio completou 1 ano e 2 anos. A metodologia seguiu as orientações do Anexo IV da Resolução Inea nº 143 de 14 de junho de 2017.

3.2.5 Análises Laboratoriais

a) Determinação da perda de solo

Após o período de 72 horas na estufa a 105°C, o material coletado em campo e transportado para laboratório foi pesado para se obter os totais de perda de solo para cada evento erosivo, pela diferença do peso entre o becker vazio e o becker com solo seco em estufa. O total de sedimentos foi multiplicado pelo volume de escoamento para determinar a taxa de perda de solo em gramas de cada parcela por evento, dada a equação:

$$Vt \times Ps \times (Vc \div Vp) \quad (5)$$

Onde Vt é o volume total de escoamento retido nas caixas d'água em litros, Ps o peso do solo retido nos beckers após secagem em estufa, Vc o volume das caixas d'água utilizadas no experimento, Vp o volume dos recipientes utilizados para coleta das amostras em campo após sua homogeneização.

Figura 38 – Recipientes utilizados para coleta das amostras em campo.



Fonte: Manso, 2023.

Figura 39 – Secagem em estufa das amostras dispostas em recipientes de massa conhecida.



Fonte: Manso, 2023.

b) Análise granulométrica

A análise granulométrica seguiu a metodologia exposta no Manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA, em (Teixeira *et al.*, 2017), com o intuito de quantificar o percentual das distintas frações do solo (argila, areia e silte).

Para iniciar a análise, é necessário a separação de 20g de amostra de solo seca ao ar, as quais devem ser obtidas após a quebra dos agregados manualmente, e, peneiramento na peneira de 2 mm, são utilizadas as alíquotas das amostras amolgadas. Em um becker, são adicionados: 20 g da amostra selecionada, 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) e 100 ml de água destilada. Com o auxílio de um bastão, o material é homogeneizado no interior do recipiente e armazenado por um período de pelo menos 24 horas.

Após o período de armazenamento, importante para a atuação do hidróxido de sódio (NaOH) na dispersão química das partículas, a solução é conduzida para a dispersão mecânica. Na dispersão mecânica é utilizado um agitador rotatório automático, onde a solução é mantida por 15 minutos ininterruptos. Em seguida, o material agitado é transferido para uma proveta de 1 litro mediante ao peneiramento em peneira de 0,053 mm, a fim de separar as frações areia, silte e argila. O material retido pela peneira segue em direção a estufa para secagem a 105°C por 48 horas, o produto será a fração de areia total, que pode passar por

novo peneiramento para determinação da areia fina em um jogo de peneiras de (0,200 mm - 0,053 mm).

A solução retida na proveta é submetida ao “método da pipeta” descrito em (Teixeira *et al.*, 2017), sendo agitada inicialmente por um minuto com o auxílio de um instrumento que possa deixar as partículas de silte e argila em suspensão, com o término desse processo, se marca o início do tempo da sedimentação de acordo com a lei de Stokes, onde a fração argila será coletada passando-se o período de tempo estipulado de acordo com a temperatura da solução.

A alíquota do material coletado é transferida para um recipiente e levado para a estufa, onde é seca na temperatura de 105°C por pelo menos oito horas. Importante repetir o procedimento também em uma proveta contendo apenas a solução de água destilada e o dispersante, para obter o resultado da “prova em branco”.

Figura 40 – Provetas utilizadas para análise granulométrica por “método da pipeta”



Fonte: Manso, 2023.

c) Análise de variância (ANOVA) e Teste Tukey

O resultado das análises a seguir com exceção da matéria orgânica foram submetidos ao teste estatístico ANOVA e o teste Tukey a nível de significância de 5% para identificação de variação estatística entre seus valores. O intuito do método é indicar se há tratamento

discrepantes entre os demais. A análise foi realizada através da ferramenta “análise de dados” disponível no software *Microsoft Excel* seguindo método exposto em Debortolli *et al.*, (2019).

d) Densidade de partículas

Para obtenção de dados referentes a densidade de partículas foi utilizado o método do Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017).

Figura 41 – Balão volumétrico utilizado para determinação da densidade de partículas.



Fonte: Manso, 2023.

Foram separadas em recipientes de peso conhecido 20g de solo para cada amostra, as quais foram submetidas à secagem em estufa a 105°C. Obtendo-se o valor da amostra seca, cada amostra foi introduzida em um balão volumétrico de 50ml e adicionado álcool etílico PA 95% por meio de uma bureta de 50ml. Ao preencher 15ml agita-se o balão para eliminar possíveis bolhas de ar que podem se formar, repetindo o processo ao chegar por volta dos 30ml. Completando os 50ml, o volume de álcool gasto é anotado para realizar o seguinte cálculo:

$$Dp = \frac{ma}{(vt-vu)} \quad (6)$$

Onde:

Dp – densidade de partículas

ma – massa da amostra seca a 105 °C, em g.

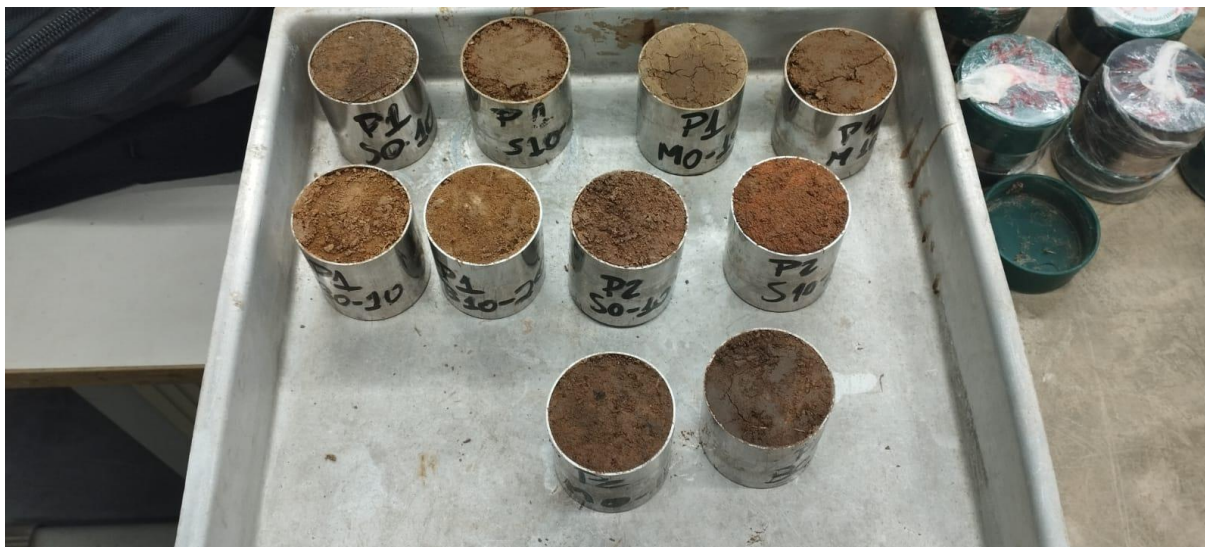
Vt – volume total aferido do balão, em mL.

Vu – volume utilizado para completar o balão volumétrico.

e) Densidade do solo

A análise de densidade do solo seguiu o método mais recente descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017).

Figura 42 – Anéis volumétricos utilizados para análise de densidade do solo.



Fonte: Manso, 2023.

O procedimento consistiu na preparação das amostras de solo com a retirada do material excedente ao corpo dos anéis cilíndricos nos quais o solo foi coletado em campo a fim de preservar sua estrutura. O peso dos anéis é previamente conhecido, o volume dos anéis pode ser mensurado com o auxílio de um paquímetro, pois o mesmo será utilizado para o cálculo da densidade. Em seguida as amostras são pesadas e inseridas em estufa a 105° C. Após 48 horas as amostras foram retiradas da estufa pesadas. A seguinte equação foi usada para o cálculo da densidade do solo:

$$Ds = \frac{ma}{V} \quad (7)$$

Onde:

Ds – densidade do solo, em cm³

ma – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

V – Volume do cilindro, em cm³

f) Porosidade total

Os valores referentes a porosidade total foram obtidos através do método “indireto” descrito em Teixeira *et al.*, (2017), estando diretamente relacionada às análises de densidade de partículas e densidade do solo.

Sendo assim, a porosidade total é expressa pela seguinte equação:

$$Pt = \left[\left(\frac{dp - ds}{dp} \right) \right] \quad (8)$$

Onde:

Pt – porosidade total

Dp – densidade de partículas sólidas do solo, em cm³

Ds – densidade do solo, em cm³

g) Carbono orgânico

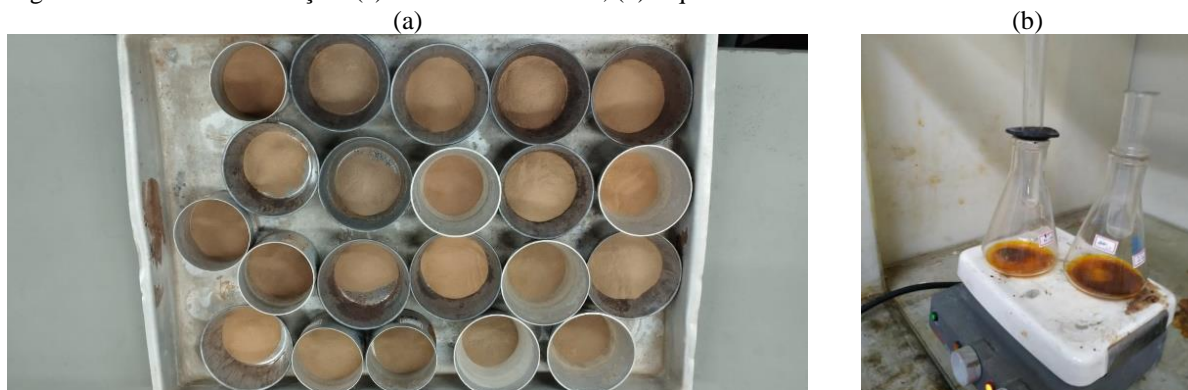
As análises de Carbono Orgânico e Matéria Orgânica foram feitas a partir de duas metodologias distintas, a primeira baseada no Manual de métodos de análise de solo da Embrapa, descrito em (EMBRAPA, 1997) com pequenas alterações, assim como no trabalho de Rodrigues (2021) que fazem uso da metodologia de Walkley & Black (1934) e a segunda na NBR 13600 que consiste na determinação de teor de matéria orgânica por queima.

A análise que consiste na titulação do carbono se iniciou com a separação de 10g de solo seco ao ar que foram passados pela peneira de 0,180mm, e desse material, foram separados 0,5g. Após a separação, adicionou-se 10ml da solução de Dicromato de Potássio em um frasco de Erlenmeyer de 250ml, junto a uma pequena porção de sulfato de prata. Tampado com um “dedo frio”, a solução é submetida a aquecimento sobre uma chapa aquecedora em 150°C até a fervura. Espera-se o resfriamento da solução e são adicionados 50ml de água destilada.

O sulfato de prata (Ag₂SO₄) foi adicionada em cada amostra para eliminação de cloretos, e 2ml de ácido fosfórico (H₃PO₄) para eliminação de sulfetos, bem como a adição de 3 gotas de difenilamina (C₁₂H₁₁N) a qual é a substância indicadora, esperou-se um período de 5 minutos. A titulação foi feita por fim utilizando o sulfato ferroso amoniacal e anotando-se o volume gasto.

É necessário que seja separado 10ml de Dicromato de Potássio para cada solução de Sulfato Ferroso Amoniacal, pois este será destinado ao “branco” das amostras. O Dicromato de Potássio oxidará (via úmida), estando em temperaturas elevadas e em meio ácido, o Carbono presente no solo, transformando o C.O em CO₂ e titulação com sulfato ferroso amoniacal medido em excesso.

Figura 43 – Ensaio de titulação. (a) Amostras utilizadas; (b) Aquecimento das amostras.



Fonte: Manso, 2023.

$$C_{org} \left(\frac{g}{kg} \right) = (40 - Vg) \times f \times 0,6 \quad (9)$$

Onde:

C_{org} – concentração de carbono orgânico no solo (g kg⁻¹)

Vg – volume gasto de sulfato ferroso amoniacal

f – 40 / volume sulfato ferroso gasto na prova em branco

$$MO \left(\frac{g}{kg} \right) = C \times 1,724 \quad (10)$$

Onde:

MO – matéria orgânica g/kg⁻¹

C – carbono orgânico g/kg⁻¹

1,724 – fator utilizado admitindo-se que na composição média do humus o C representa 58%.

A determinação de matéria orgânica seguindo a norma NBR 13600 consistiu nas seguintes etapas: Na separação de 100g de cada uma das amostras através de quarteamento; Determinação da massa de cadinhos de porcelana, nos quais as amostras foram distribuídas para serem secas primeiramente na estufa a 105°C por 24 horas e posteriormente queimadas

na mufla à 440°C por 12 horas. Das 100g, são utilizadas no mínimo 50g, mantendo a amostra distribuída no cadinho de tal forma que não exceda 3cm de espessura.

Após a seca em estufa, as amostras são conduzidas ao dessecador, tampadas com o auxílio de papel alumínio. A seguir, se determina a massa do conjunto, retira-se o papel alumínio e as amostras são conduzidas a mufla. Nesta, a temperatura é elevada gradualmente até atingir 440°C, as amostras devem permanecer em seu interior por período mínimo de 12 horas.

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

MO – teor de matéria orgânica em %

A – massa de amostra seca em estufa, à temperatura de 105°C ~ 110°C, em g

B – massa da amostra queimada em mufla, à temperatura de (440 ± 5)°C, em g

Figura 44 – Ensaio de determinação da matéria orgânica por queima. (a) pesagem da amostra disposta em cadinho de cerâmica; (b) amostras preparadas para secagem em estufa; (c) mufla utilizada no experimento.

(a)



(b)



(c)



Fonte: Manso, 2023.

h) Estabilidade dos agregados

Os blocos de solo utilizados para a realização da análise foram coletados nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, com duas repetições, possibilitando a realização de análises estatísticas. O método utilizado para condução da análise foi o descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997), utilizou-se a metodologia descrita neste volume por haver uma maior base de dados que podem ser correlacionados aos resultados aqui obtidos, em contrapartida, as equações aqui apresentadas podem ser encontradas também no manual da Embrapa mais recente de Teixeira *et al.*, (2017) e nos trabalhos de Brizzi *et al.*, (2019) e Rodrigues (2021).

O ensaio de estabilidade dos solos é uma técnica utilizada para avaliar a capacidade do solo de resistir à erosão, medindo a quantidade de agregados que se mantêm unidos mediante a aplicação de água e uma pressão mecânica. Seguindo o método da Embrapa (1997), inicialmente os blocos de solo foram suavemente quebrados e homogeneizados manualmente, retirando-se raízes e fragmentos de rocha que porventura estejam constituindo o corpo da amostra.

A partir de um primeiro peneiramento, foram separados os agregados utilizados, sendo os de tamanho $>4,76\text{mm}$ e $<2,00\text{mm}$. O material retido na peneira de 2,00mm foi quarteado e dividido em três porções de 50g em recipientes de massa conhecida. Uma destas porções foi submetida à secagem em estufa a 105°C por 24 horas para obtenção do fator F, que se trata da umidade residual, dado pela divisão do peso entre a massa do solo seco e a massa antecedente à secagem.

As outras duas porções de amostra foram colocadas separadamente na parte superior de conjuntos de peneiras de 13cm de diâmetro, os quais previamente foram tampados por um disco de papel de filtro. As peneiras foram dispostas na seguinte ordem: 2mm; 1mm; 0,50mm e 0,25mm de abertura de malha. Os agregados foram submetidos a umedecimento por capilaridade por cerca de quatro minutos, este feito suavemente com auxílio de uma pisseta.

Passado o tempo mínimo de umedecimento dos agregados, foi retirado o papel filtro de forma que a estrutura dos agregados não fosse comprometida e iniciada então a determinação da classe de agregados em via úmida por tamisamento, utilizando o aparelho de oscilação vertical “Yoder”, o qual estava previamente com seus tambores repletos de água para condução do ensaio. Os agregados foram submetidos a 32 rotações por minuto em um período de 4 minutos.

O conjunto de peneiras foi retirado do oscilador e os agregados retidos pelas diferentes peneiras foram transferidos para recipientes numerados e de peso conhecido. Os agregados finalmente foram conduzidos para a estufa onde foram secos a 105°C e posteriormente tiveram seus pesos determinados para início do cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA).

O Diâmetro Médio Ponderado (DMP) avalia o tamanho dos agregados, sendo uma relação entre o diâmetro dos agregados e sua respectiva massa, sendo obtido através da seguinte equação:

$$DMP (mm) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i}{w_t} \cdot x_i \right) \quad (12)$$

Onde:

W_i – massa retida nas peneiras

W_t – massa de amostra usada no tamisamento

X_i – diâmetro médio das classes

O Diâmetro Médio Geométrico (DMG) como também descrito no trabalho de Brizzi *et al.*, (2019), é uma estimativa do tamanho médio dos agregados que mais ocorrem no solo e foi obtido pela equação:

$$DMG (mm) = \exp \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i} \quad (13)$$

Onde:

W_i – proporção de cada classe em relação ao total

X_i – diâmetro médio das classes

\ln – função logarítmica natural

Figura 45 – Ensaio de estabilidade dos agregados. (a) Distribuição dos agregados no jogo de peneiras; (b) Agregados dispostos sobre jogo de peneiras para umedecimento por capilaridade; (c) Aparelho de oscilação vertical (Yoder); (d) Amostras de agregados retidas pelo jogo de peneiras (2 mm - 1 mm - 0,50 mm - 0,25 mm).



Fonte: Manso, 2023.

Por fim, o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) foi determinado de acordo com a equação abaixo, onde o índice é expresso em porcentagem:

$$IEA = \left(\frac{\text{Peso total dos agregados} - \text{peso dos agregados } <0,25}{\text{peso da amostra seca}} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à avaliação do efeito das diferentes estratégias de restauro florestal sob os parâmetros hidrossedimentológicos no âmbito do projeto Produtores de Água e Floresta (PAF) - sub-bacia do rio Sacra Família. Para facilitar o entendimento e a discussão dos dados, bem como, suas relações e relevância dentro da análise, a apresentação foi dividida em três subitens.

O item 4.1 aborda os resultados de cada uma das análises de solo, a fim de traçar um comparativo das propriedades do solo da área de estudo em dois momentos distintos, (T0) precede aos plantios e (T1) passados um ano do início do restauro florestal, explicando e discutindo a importância da obtenção destes dados para o desenvolvimento da pesquisa. Tais informações serão fundamentais para a discussão do subitem seguinte, onde as propriedades do solo direta e indiretamente afetam o resultado do monitoramento feito nas parcelas e pelos sensores *GMS* instalados.

O item 4.2 aborda os resultados obtidos a partir do monitoramento das parcelas de controle de erosão e dos sensores *GMS*, bem como sua relação com os dados referentes às propriedades do solo e os dados de precipitação obtidos pelos pluviômetros instalados na propriedade.

Por fim, o item 4.3 apresenta os resultados referentes ao desempenho da evolução do restauro florestal na área onde as parcelas de controle de erosão foram instaladas, a avaliação foi feita um ano após o início dos tratamentos e proporciona um breve comparativo aos dados obtidos através da “calculadora da restauração” disponibilizados pela Crescente Fértil.

4.1 Propriedades físico-químicas

4.1.1 Morfologia do solo

A morfologia se trata das características visíveis de um solo em todas suas partes, externas e internas (Lepsch, 2011). Os aspectos morfológicos do solo são indicadores para a compreensão de seu arranjo estrutural bem como do seu comportamento frente a dinâmica dos fatores abióticos e bióticos do meio em que se constitui, através dos atributos: cor, estrutura e consistência.

Foram encontradas 8 tonalidades de cor nos solos da área de estudo de acordo com a carta de Munsell, entre elas, as cores “Bruno Amarelado” e “Amarelo Brunado” representaram os maiores valores percentuais, correspondendo a 25% e 20,83% do total. A predominância da cor amarela no solo é um forte indicador de altas concentrações de óxidos de alumínio e minerais como a Goethita $\text{FeO}(\text{OH})$, comuns em argissolos como são os solos da região de acordo com o mapeamento executado pelo Pronasolos (2016).

São solos que quando secos apresentam grande resistência à quebra manual, porém quando úmidos se tornam friáveis ou muito friáveis. Apresentaram estrutura pequena em 95,83% das amostras sendo o restante de estrutura média. O tamanho dos poros foi classificado como “muito pequenos” e apresentou cerosidade em ambas as profundidades, um indicativo de concentração de argilas nas camadas analisadas.

Em áreas degradadas, a cor pode ser alterada devido à remoção da camada superficial do solo e à exposição de camadas inferiores, geralmente mais claras, logo, considera-se uma propriedade dinâmica do solo. De acordo com Silva (2014), a migração de argila pode tornar os solos mais claros, assim como a atividade biológica e o aumento de matéria orgânica podem escurecer os solos.

Em relação aos agregados, se percebeu um predomínio de blocos subangulares, os quais possuem faces arredondadas e planas, no contexto do reflorestamento, a formação de agregados em blocos subangulares é favorecida pela atividade das raízes das árvores, que promovem a circulação de água e ar no solo entre as fissuras. Agregados com características arredondadas normalmente são considerados estáveis em água, indicando uma boa resistência à erosão (Silva, 2014).

Feita a comparação entre os resultados da análise morfológica do (T0) e (T1), observou-se alteração principalmente na coloração dos solos, mas também, nos seus graus de coesão. Passados um ano do início do restauro florestal, constatou-se predominância de cores brunadas em ambas as profundidades de coleta (Bruno; Bruno Escuro e Bruno Forte), sobretudo nas parcelas que receberam os plantios, indicando que a introdução de indivíduos vegetais em área anteriormente predominada por gramíneas, provocou alteração morfológica no parâmetro cor.

Quadro 11 – Resultado da análise morfológica do solo (T0).

AMOSTRAS	Cor da Amostra		Estrutura			Consistência			Outras feições pedológicas		
	SECA	ÚMIDA	TAMANHO	GRAU	FORMA	SECO	ÚMIDO	MOLHADO	CEROSIDADE	POROSIDADE	RAÍZES
P1 S0-10	Bruno Acinzentado	Bruno Escuro	Pequena	Forte	B.Subangular	Extremament e Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajoso	Ausente	Muito Pequenos	Muito Fina
P1 S10-20	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangular	Dura	Friável	Plástica e ligeiramente pegajoso	Ausente	Muito pequenos	Muito fina
P1 M0-10	Bruno Claro Acinzentado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangular	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P1 M10-20	Bruno Claro Acinzentado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Média
P1 I0-10	Bruno Amarelado Claro	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P1 I10-20	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Média
P2 S0-10	Bruno Amarelado Claro	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajoso	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 S10-20	Amarelo Avermelhado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito pequenos	Média

P2 M0-10	Bruno	Bruno Forte	Pequena	Forte	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 M10-20	Bruno Claro Acinzentado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Muito Friável	Ligeiramente Plásticas e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 I0-10	Bruno	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Forte	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 I10-20	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 S0-10	Bruno Amarelado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Muito Friável	Ligeiramente Pegajosa e Ligeiramente Plástica	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 S10-20	Amarelo Brunado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica	Ausente	Muito Pequenos	Muito Fina
P3 M0-10	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Dura	Muito Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 M10-20	Bruno Avermelhado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Muito Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 I0-10	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Solta	Friável	Ligeiramente Pegajoso e ligeiramente	Ausente	Muito Pequenos	Média

								plástica			
P3 I10-20	Bruno Amarelado	Bruno Amarelado escuro	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Solta	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito pequenos	Média
P4 S0-10	Amarelo Brunado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Não Plástica e ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 S10-20	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Média
P4 M0-10	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 M10-20	Bruno Avermelhado	Bruno Forte	Pequena	Forte	B.Subangulares	Dura	Muito friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 I0-10	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B. Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 I10-20	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Solta	Muito Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média

Fonte: Manso, 2023.

Quadro 12 – Resultado da análise morfológica do solo (T1).

AMOSTRAS	Cor da Amostra		Estrutura			Consistência			Outras feições pedológicas		
	SECA	ÚMIDA	TAMANHO	GRAU	FORMA	SECO	ÚMIDO	MOLHADO	CEROSIDADE	POROSIDADE	RAÍZES
P1 S0-10	Bruno	Bruno Escuro	Pequena	Forte	B.Subangular	Muito Dura	Muito Firme	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajoso	Ausente	Muito Pequenos	Muito Fina
P1 S10-20	Bruno Forte	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangular	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e ligeiramente pegajoso	Ausente	Muito pequenos	Média
P1 M0-10	Bruno	Bruno Escuro	Pequena	Forte	B.Subangular	Muito Dura	Firme	Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P1 M10-20	Bruno Claro	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Média
P1 I0-10	Bruno Amarelado	Bruno Amarelado Escuro	Pequena	Forte	B.Angulares	Dura	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P1 I10-20	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Angulares	Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Média
P2 S0-10	Bruno Amarelado	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajoso	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 S10-20	Bruno	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito pequenos	Média

P2 M0-10	Bruno Claro	Bruno Escuro	Pequena	Forte	B.Subangulares	Muito Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 M10-20	Amarelo Brunado	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Muito Friável	Ligeiramente Plásticas e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 I0-10	Bruno Forte	Bruno Forte	Pequena	Forte	B.Subangulares	Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P2 I10-20	Bruno	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 S0-10	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Muito Friável	Ligeiramente Pegajosa e Ligeiramente Plástica	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 S10-20	Bruno Claro	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica	Ausente	Muito Pequenos	Muito Fina
P3 M0-10	Bruno	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 M10-20	Bruno Avermelhado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P3 I0-10	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Forte	B.Subangulares	Dura	Firme	Ligeiramente Pegajoso e ligeiramente	Ausente	Muito Pequenos	Média

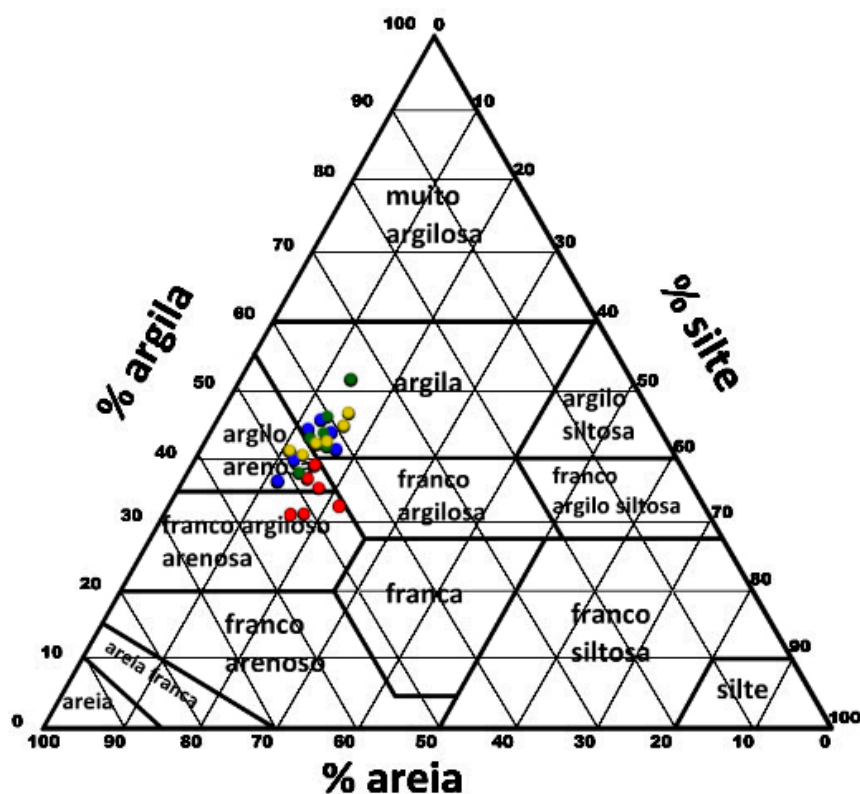
								plástica			
P3 I10-20	Bruno Forte	Bruno Escuro	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Solta	Friável	Ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito pequenos	Média
P4 S0-10	Amarelo Brunado	Bruno Escuro	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Não Plástica e ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 S10-20	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Presente	Muito Pequenos	Muito Fina
P4 M0-10	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B.Subangulares	Ligeiramente Dura	Firme	Ligeiramente Plástica e ligeiramente pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 M10-20	Bruno Amarelado	Bruno Forte	Pequena	Forte	B.Subangulares	Dura	Muito friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 I0-10	Amarelo Brunado	Bruno Forte	Pequena	Moderada	B. Angulares	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica e Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média
P4 I10-20	Bruno Amarelado	Bruno Escuro	Pequena	Fraca	B.Subangulares	Solta	Muito Friável	Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa	Ausente	Muito Pequenos	Média

Fonte: Manso, 2023.

4.1.2 Análise granulométrica

A textura é uma importante propriedade para a elaboração do diagnóstico dos solos, uma vez que a compreensão da distribuição das diferentes frações granulométricas das partículas, em diferentes profundidades e partes do relevo, nos auxilia a traçar panoramas do comportamento hídrico, da formação de agregados e da susceptibilidade a erosão face à organização e arranjo estrutural destes materiais sólidos. Conforme observado no triângulo textural a seguir e na (Tabela 5), a taxa de concentração das frações areia e argila foram as mais elevadas no material coletado, variando entre 30% e 50% com pouca diferenciação entre as profundidades e pontos de coleta. De acordo com Brady & Weil (2013), solos de textura fina como os argilosos franco-argilosos possuem menor densidade devido a formação de estruturas porosas, inclusive no interior de seus agregados, as quais podem ser potencializadas de acordo com o teor de matéria orgânica. Já os solos arenosos geralmente apresentam teor de matéria orgânica baixo e menos agregados, assim como menor presença de poros, possuindo maior densidade e menor porosidade total.

Figura 46 – Triângulo textural resultado da análise granulométrica



Fonte: Manso, 2023.

Os pontos azuis indicam as amostras da parcela 1, os pontos vermelhos, parcela 2, os pontos amarelos, parcela 3 e por fim, os pontos verdes, parcela 4. O solo da área de estudo apresentou três classes de textura distintas: Argilosa (50%); Argilo-arenosa (37,5%) e Franco argilo-arenosa (12,5%). A média geral de distribuição por profundidade encontrada foi de 46,38% de areia total, seguido de 14,11% de silte e 39,51% de argila para a profundidade de 0-10cm e 43,87% de areia total, 14,13% de silte e 42% de argila para a profundidade de 10-20cm.

O fator espacial “horizontal” se mostrou menos influente sobre a distribuição granulométrica, não sendo evidenciado uma grande discrepância entre os terços, a partir dos resultados obtidos podemos observar que o fator vertical, ou seja, a profundidade teve mais influência sobre o decréscimo de areia e acréscimo de argila na profundidade 10-20cm com exceção do terço inferior onde houve uma mínima redução da areia e acréscimo de silte.

Na profundidade mais superficial (0-10cm) para a média de cada terço foram encontrados os valores de areia, silte e argila respectivamente: Superior (46,75% - 15,27% - 37,98%); Médio (45,70% - 13,68% - 40,62%); Inferior (46,11% - 13,49% - 40,40%).

Para a profundidade de 10-20cm, os respectivos valores da média de distribuição das frações por terço foram as seguintes: Superior (43,87% - 15,33% - 40,80%); Médio (42,06% - 13,14% - 44,80%); Inferior (45,69% - 13,93% - 40,38%).

A distribuição das frações do solo possui relação direta com a sua erodibilidade, uma vez que o tamanho de suas partículas sólidas dita parcialmente a dificuldade ou facilidade de infiltração de água no perfil do solo. Não se percebeu incremento suficiente de argila nas camadas mais internas analisadas para indicar a presença de um horizonte Bt, o qual pode ocorrer em profundidades maiores. No geral houve o predomínio da fração argila seguida da areia. Se observou uma pequena disparidade na granulometria entre as profundidades que pode ser indicador de uma descontinuidade textural. Entre os terços houve pouca variação nos valores encontrados de areia, silte e argila.

A presença elevada de argila, garante aos solos da área de estudo uma boa capacidade de retenção hídrica, assim como as também elevadas taxas de areia permitem uma boa drenagem, sobretudo quando o solo se encontra com menor umidade em períodos de maior hiato entre as chuvas. Entretanto, a declividade do terreno em conjunto com a umidade antecedente tende a provocar o escoamento superficial principalmente onde o solo se encontra exposto, o que favorece a ação dos processos erosivos.

Tabela 5 – Distribuição das frações granulométricas por terços em (g/kg⁻¹)

Parcela	Terço (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura
I	Superior (0-10)	217	209	168	407	Argilosa
	Superior (10-20)	199	228	136	438	Argilosa
	Médio (0-10)	266	258	119	358	Argilo-arenosa
	Médio (10-20)	243	239	119	399	Argilo-arenosa
	Inferior (0-10)	187	262	114	437	Argilosa
	Inferior (10-20)	175	243	139	444	Argilosa
II	Superior (0-10)	273	256	170	301	Franco argilo-arenosa
	Superior (10-20)	211	243	217	329	Franco argilo-arenosa
	Médio (0-10)	223	261	161	355	Argilo-arenosa
	Médio (10-20)	220	236	149	395	Argilo-arenosa
	Inferior (0-10)	243	248	149	359	Argilo-arenosa
	Inferior (10-20)	237	284	152	327	Franco argilo-arenosa
III	Superior (0-10)	200	249	137	415	Argilo-arenosa
	Superior (10-20)	195	231	141	433	Argilosa
	Médio (0-10)	182	210	157	450	Argilosa
	Médio (10-20)	169	203	153	476	Argilosa
	Inferior (0-10)	190	286	123	401	Argilo-arenosa
	Inferior (10-20)	193	283	116	407	Argilo-arenosa
IV	Superior (0-10)	213	276	133	378	Argilo-arenosa
	Superior (10-20)	213	276	133	432	Argilosa
	Médio (0-10)	206	243	120	462	Argilosa
	Médio (10-20)	178	250	110	522	Argilosa
	Inferior (0-10)	163	210	104	419	Argilosa
	Inferior (10-20)	188	224	151	437	Argilosa

Fonte: Manso, 2023.

4.1.3 Densidade das partículas

A tabela a seguir representa os resultados da análise de densidade de partículas do solo da área de estudo, em média, os valores variaram de acordo com o indicado para solos minerais, não havendo grande distinção entre os materiais analisados. Na profundidade de 0-10 cm a média geral foi de 2,68 g/cm³ e na profundidade de 10-20 cm a média foi de 2,67 g/cm³. Já por terço e profundidade foram respectivamente para 0-10cm e 10-20cm: Superior (2,67 e 2,66); Médio (2,66 e 2,67); Inferior (2,69 e 2,66).

Tabela 6 – Densidade de partículas por profundidade e terço do solo

Parcelas	Densidade das partículas (g/cm ³)						\bar{x}
	Terço Superior		Terço Médio		Terço Inferior		
	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	
I	2,75	2,69	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
II	2,65	2,66	2,65	2,67	2,62	2,66	2,65
III	2,63	2,62	2,67	2,65	2,69	2,63	2,64
IV	2,66	2,67	2,64	2,68	2,77	2,68	2,68
Média	2,67	2,66	2,66	2,67	2,69	2,66	

Fonte: Manso, 2023.

A redução da densidade de partículas pode melhorar a permeabilidade do solo, aumentando a retenção de água e melhorando a capacidade de suporte para as plantas, tornando-o também menos suscetível à erosão. Considerando-se uma propriedade perene dos solos, assim como na análise granulométrica, não foram realizadas novas análises. De acordo com a análise estatística feita por ANOVA fator duplo com repetição, constatou-se que não houve variação estatística entre os valores observados nesta análise.

4.1.4 Densidade do solo

Em solos rurais a compactação geralmente está atrelada ao pisoteio de animais sobre o terreno e ao uso de máquinas agrícolas, entretanto, embora na região estas sejam de fato situações recorrentes, o sítio do Vô Lisse não apresenta histórico recente de uso das terras especificamente na área de estudo para a atividade agrícola e a criação animal. Um dos possíveis fatores para os elevados valores encontrados em cada uma das profundidades nos diferentes terços, pode estar relacionada ao extenso histórico de queimadas ao qual a propriedade tem enfrentado e também a própria constituição granulométrica de seus solos.

Conforme a tabela a seguir, a média da densidade do solo da área de estudo foi superior a 1,60 g/cm³, (1,64 g/cm³), indicando um alto grau de compactação dos solos. O trabalho de Neves (2015) também apontou valores acima de 1,60 g/cm³ para densidade do solo em áreas de pastagem, embora estas tenham sido descritas como de pasto ativo. De acordo com a análise estatística feita por ANOVA fator duplo com repetição, constatou-se que não houve variação estatística entre os valores observados nas tabelas e gráficos a seguir.

Tabela 7 – Densidade do solo por profundidade e terço (T0)

Parcelas	Densidade do Solo (g/cm ³)						\bar{x}
	Terço Superior		Terço Médio		Terço Inferior		
	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	
I	1,63	1,66	1,63	1,66	1,62	1,71	1,65
II	1,62	1,73	1,65	1,54	1,59	1,68	1,63
III	1,59	1,64	1,63	1,62	1,63	1,64	1,62
IV	1,69	1,67	1,69	1,63	1,64	1,64	1,66
Média	1,63	1,67	1,65	1,61	1,62	1,66	

Fonte: Manso, 2023.

Com o decréscimo de matéria orgânica provocado pelas sucessivas queimadas que ocorrem naturalmente nos períodos mais secos, mas que também são provocadas com o intuito de “limpar” os campos, segundo Guerra (1990), essa diminuição da matéria orgânica pode também levar a um aumento da densidade aparente do solo, que dificultará a infiltração de água no solo.

O resultado da análise feita um ano após o início do plantio, apontou uma densidade do solo média de (1,52 g/cm³), uma redução de 7,32% comparado ao valor obtido pela primeira análise. As parcelas 1, 2 e 3 referentes aos tratamentos adotados, apresentaram nítido decréscimo dos valores de densidade, o que não foi acompanhado na mesma proporção pela parcela 4, que embora tenha diminuído sua média, pelo fato de ter sua cobertura vegetal removida, esteve ao longo de um ano sujeita a compactação proporcionada pelo impacto da chuva.

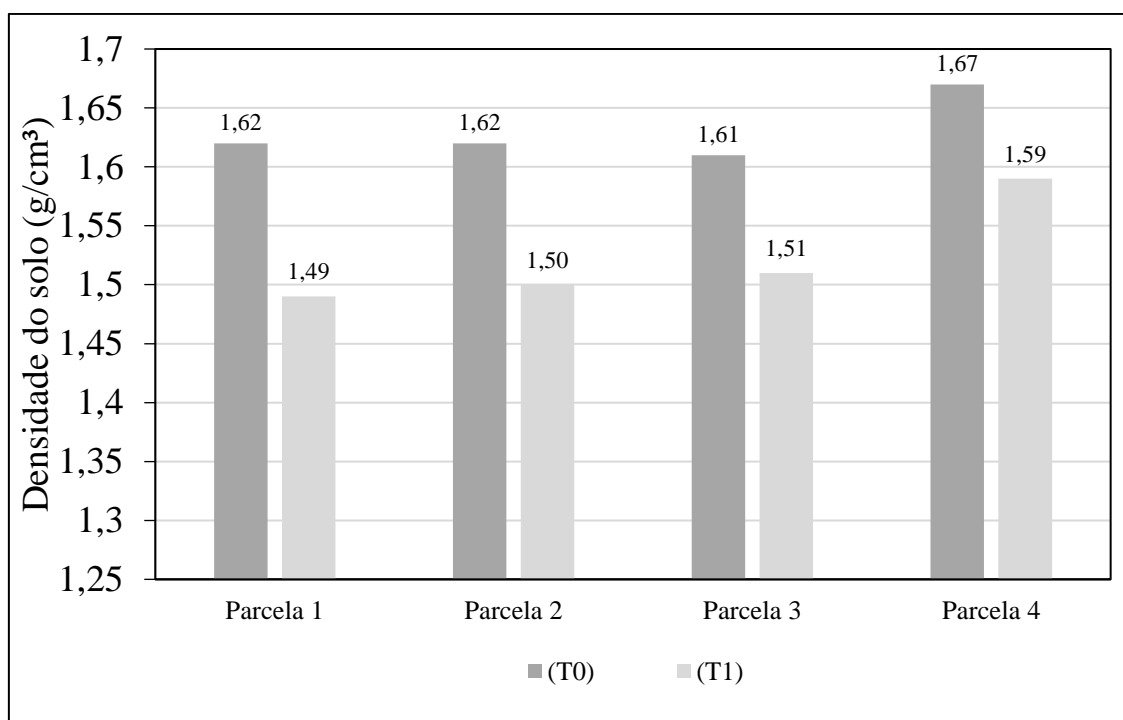
O aumento da cobertura vegetal em um primeiro momento proporcionou a diminuição da densidade do solo nas parcelas que receberam plantio (parcelas 1 e 2) ou mantiveram sua vegetação em pousio (parcela 3). O aumento de raízes presentes no solo é um forte indicador da contribuição dos tratamentos adotados para mudanças do aspecto desta propriedade no solo analisado.

Tabela 8 – Densidade do solo por profundidade e terço (T1)

Parcelas	Densidade do Solo (g/cm ³)						\bar{x}
	Terço Superior		Terço Médio		Terço Inferior		
	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	
I	1,54	1,44	1,50	1,53	1,44	1,48	1,48
II	1,54	1,52	1,48	1,46	1,50	1,49	1,49
III	1,52	1,47	1,50	1,53	1,51	1,49	1,50
IV	1,65	1,67	1,58	1,58	1,56	1,60	1,60
Média	1,56	1,52	1,51	1,52	1,50	1,51	

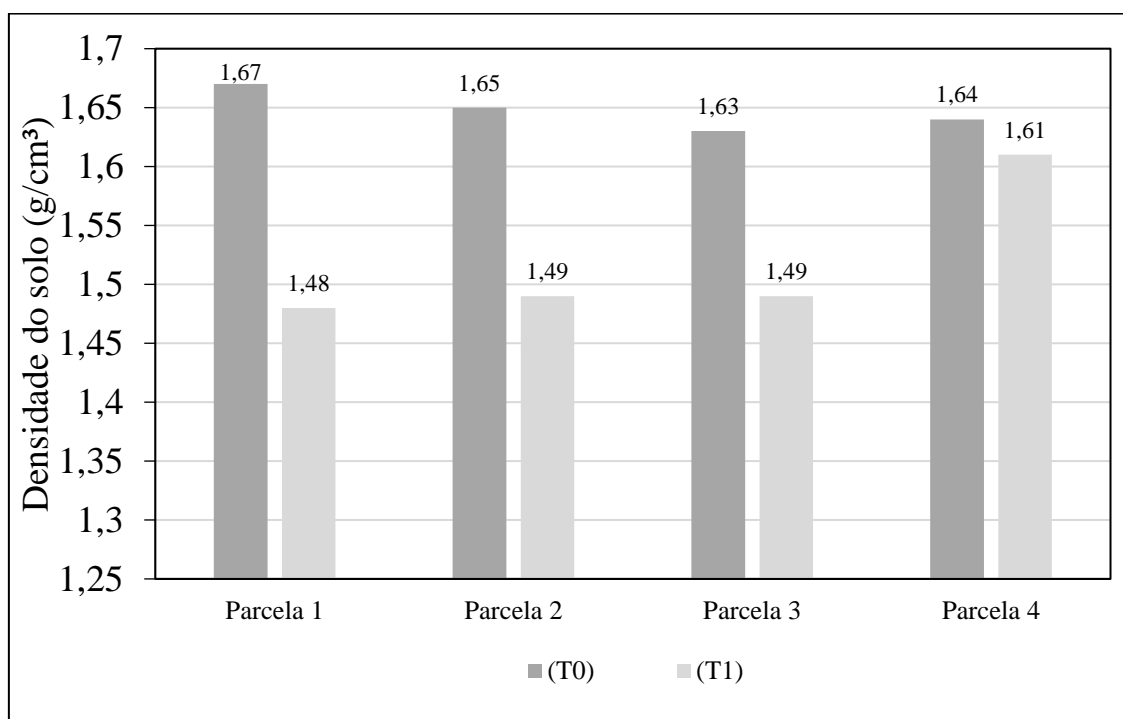
Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 7 – Densidade do solo na profundidade 0-10cm



Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 8 – Densidade do solo na profundidade 10-20cm



Fonte: Manso, 2023.

4.1.5 Porosidade

A porosidade do solo na área de estudo teve valores médios em torno de 38,56% que de acordo com a literatura estão na média de valores encontrados para solos de regiões tropicais, variando entre 30% e 60%. A porosidade média na profundidade 0-10cm foi de 39,02% e na profundidade de 0-20cm de 38,11%. As médias referentes às duas profundidades distintas por parcela podem ser observadas nas tabelas a seguir. Ainda de acordo com a análise estatística feita por ANOVA fator duplo com repetição, constatou-se de quatro a cinco classes estatísticas distintas para cada profundidade analisada de acordo com o teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 9 – Porosidade total do solo por terços na profundidade 0-10cm (T0)

Parcelas	Porosidade Total (%)			\bar{x}
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	
I	40,69 b	39,59 b	41,37 b	40,55
II	38,83 b	37,69 ab	39,29 b	38,60
III	39,52 b	38,91 b	39,36 b	39,26
IV	36,40 ab	35,92 a	40,75 b	37,69
Média	38,86	38,02	40,19	

Fonte: Manso, 2023.

Tabela 10 – Porosidade total do solo por terços na profundidade 0-10cm (T1)

Parcelas	Porosidade Total (%)			\bar{x}
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	
I	44,00 b	44,44 b	47,92 c	45,45
II	41,88 ab	44,15 b	42,74 ab	42,92
III	42,20 ab	43,82 b	43,86 b	43,29
IV	37,96 a	40,15 a	43,68 b	40,59
Média	41,51	43,14	44,55	

Fonte: Manso, 2023.

Sendo um indicador relacionado a propriedades como a densidade do solo e das partículas, devido a diminuição da densidade do solo, de modo geral, observou-se um aumento significativo da porosidade em todas as parcelas, tanto em superfície quanto na profundidade de 10-20cm. As maiores variações entre as médias foram registradas na Parcela 1, onde em superfície a diferença do resultado de porosidade total foi da ordem de 4,9%, enquanto que na profundidade de 10-20cm foi de 7,19%, fato este que pode ser relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas e aumento da atividade da microfauna do solo.

Os menores valores de variação das médias de porosidade total foram registrados na Parcela 4, onde em superfície houve aumento de 2,9% e na profundidade de 10-20cm de 1,16%. Embora a vegetação desta parcela tenha sido completamente removida, e tenha sido feitas manutenções periódicas de capina para que o solo continuasse exposto, é fato que nos períodos de intervalo entre estas atividades, as quais ocorreram a cada dois meses, a vegetação retornou espontaneamente, colonizando o interior da parcela.

A constatação de tal dinâmica pode responder a hipótese de que o crescimento vegetal especificamente nesta parcela tenha contribuído para o decréscimo, embora mínimo, da densidade do solo, bem como, o acréscimo de sua porosidade total. Dessa forma, o fato de a vegetação ser periodicamente removida, justifica a maior variação em superfície, uma vez que se privou o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em maiores profundidades, ou seja, uma maior influência do crescimento vegetal nesta parcela foi restrita aos primeiros centímetros do solo.

Pela razão de segundo a metodologia fosse importante que não houvesse este tipo de situação na parcela de controle, faz-se necessário pontuar aqui tais explanações afim de oferecer esclarecimento entre os dados apresentados.

Tabela 11 – Porosidade total do solo por terços na profundidade 10-20cm (T0)

Parcelas	Porosidade Total (%)			\bar{x}
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	
I	38,24 ab	39,34 bc	36,69 ab	38,09
II	34,88 a	42,32 c	36,78 ab	37,99
III	37,36 ab	38,83 bc	37,60 ab	37,93
IV	37,40 ab	39,14 bc	38,76 b	38,43
Média	36,97	39,90	37,45	

Fonte: Manso, 2023.

Tabela 12 – Porosidade total do solo por terços na profundidade 10-20cm (T1)

Parcelas	Porosidade Total (%)			\bar{x}
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	
I	46,46 cd	44,14 bc	45,26 c	45,28
II	42,85 bc	45,31 c	43,98 bc	44,04
III	43,89 bc	42,26 b	43,34 bc	43,16
IV	37,45 a	41,04 b	40,29 b	39,59
Média	42,66	43,18	43,21	

Fonte: Manso, 2023.

4.1.6 Estabilidade dos agregados

A ocorrência de agregados maiores na maioria das vezes está atrelada aos processos biológicos, enquanto que os menores são associados aos processos físicos e químicos principalmente em relação ao comportamento das argilas. O alto teor de matéria orgânica de um solo pode tornar seus agregados mais estáveis, uma vez que os resíduos vegetais e compostos orgânicos revestem as frações finas do solo tornando suas ligações mais fortes, uma espécie de "colante" natural (Brady; Weil, 2013).

Brizzi *et al.*, (2019) destaca que a prática da queimada no pousio pode auxiliar no aumento do Carbono orgânico e de outros nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) que favorecem a agregação e estruturação do solo.

Os valores referentes ao DMP e ao DMG obtidos pela análise de estabilidade de agregados foram submetidos a análise estatística ANOVA e classificação pelo teste de Tukey para comparações múltiplas entre sua variância e suas médias. De acordo com análise estatística feita por ANOVA fator duplo com repetição, constatou-se que não houve diferença estatística entre os resultados encontrados tanto antes quanto após o início do restauro florestal. Em contrapartida, os valores referentes ao Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) apresentaram cinco classes estatísticas distintas de acordo com o teste Tukey ao nível de significância de 5%. Dada a diferença mínima significativa de 6,90% e 6,86% para as respectivas profundidades em (T0) e 10,20% e 5,74% em (T1) expresso nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – DMP, DMG e IEA na profundidade 0-10cm

Parcela	Terço	DMP ^{T0}	DMP ^{T1}	DMG ^{T0}	DMG ^{T1}	IEA ^{T0}	IEA ^{T1}
		(mm)				(%)	
I	Superior	3,13	1,99	2,89	1,81	91,29 c	48,17 a
	Médio	2,54	2,49	2,15	2,19	83,87 bc	61,74 b
	Inferior	2,47	2,40	2,10	2,06	81,46 b	64,26 b
II	Superior	2,79	2,70	2,48	2,42	88,96 c	66,29 b
	Médio	2,49	2,35	2,02	2,01	80,63 b	56,34 ab
	Inferior	2,48	2,52	2,49	2,22	88,64 c	64,79 b
III	Superior	2,19	2,89	1,84	2,66	73,63 a	71,34 bc
	Médio	2,49	2,50	2,17	2,17	76,89 ab	63,11 b
	Inferior	2,48	2,55	2,13	2,21	84,05 bc	67,87 b
IV	Superior	2,83	2,91	2,55	2,67	88,38 c	79,43 c
	Médio	2,22	2,52	2,11	2,19	84,56 bc	65,22 b
	Inferior	2,31	2,41	1,95	2,03	84,54 bc	78,35 c
Média		2,57	2,52	2,24	2,22	83,90	65,57

Fonte: Manso, 2023.

Os resultados aqui apresentados foram obtidos através das análises conduzidas em laboratório na EMBRAPA Solos, todos os valores aqui apresentados representam uma média da amostragem feita em duplicata no aparelho de oscilação vertical (Yoder). Observou-se em (T0), momento em que a área do experimento se encontrava completamente coberta por gramíneas, predominância de agregados com valores de DMP superiores a 2,00mm para a profundidade 0-10cm, que são tidos como agregados grandes, condição esta favorecida pela presença desta vegetação (Rangel *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2016).

Comparando os resultados de DMP em (T0) aos encontrados em (T1), houve um pequeno decréscimo na média geral (0,05mm), no entanto, é importante estabelecer uma análise comparativa individualmente entre cada uma das parcelas, uma vez que em cada uma destas, um tipo de tratamento foi conduzido, além de levar em consideração o local onde foram realizadas as coletas de solo nestes dois períodos de tempo distintos.

A Parcela 1 foi a única que apresentou redução na média das dimensões de DMP no intervalo de tempo de um ano, período em que se iniciou a condução da prática de Plantio Total, respectivamente nos espaços delimitados pelo corpo da parcela e suas áreas de borda. A média da Parcela 1 variou de (2,71mm → 2,29mm) embora tenha tido reduções no terço superior e médio, a Parcela 2 que também recebeu o Plantio Total com o incremento da adubação verde, permaneceu com a média de 2,58mm para ambos os períodos.

Padrão muito semelhante ao encontrado nos valores de DMG, onde as médias para as respectivas parcelas variaram de Parcela 1 (2,38mm → 2,02mm) e Parcela 2 (2,22mm → 2,21mm). Estes resultados indicam que a retirada da gramínea e a introdução do plantio de espécies nativas, em um primeiro momento, resulta na diminuição do diâmetro dos agregados. Importante destacar que a Parcela 2 apresentou certa resistência a esta condição, indicando uma possível contribuição sobre a conservação dos agregados, sobretudo, das espécies com maior fixação de nitrogênio, as quais foram adotadas na adubação verde.

Na Parcela 3 (Pousio), os valores de DMP assim como os de DMG aumentaram ou permaneceram iguais em todos os terços analisados, indicando influência do acréscimo de matéria orgânica no solo. Importante destacar o perfil do pousio conduzido neste espaço, periodicamente (a cada dois meses), a ONG Crescente Fértil realizou atividades de manutenção baseadas na poda da gramínea presente, deixando toda a biomassa morta cobrindo a vegetação residual desta parcela. As médias de DMP e DMG variaram respectivamente de (2,38mm → 2,64mm) e (2,04mm → 2,34mm).

Observou-se aumento do DMP e do DMG também na Parcela 4, a qual teve sua cobertura alterada da pastagem para o solo totalmente exposto (embora com crescimento de gramíneas espontaneamente no intervalo entre as manutenções). As médias observadas para cada um dos indicadores foram respectivamente (2,45mm → 2,61mm) e (2,20mm → 2,29mm).

Tabela 14 – DMP, DMG e IEA na profundidade 10-20cm

Parcela	Terço	DMP ^{T0}	DMP ^{T1}	DMG ^{T0}	DMG ^{T1}	IEA ^{T0}	IEA ^{T1}
		(mm)				(%)	
I	Superior	1,92	2,49	1,55	2,17	77,74 ab	67,27 ab
	Médio	2,45	2,73	2,08	2,46	85,26 bc	71,49 b
	Inferior	2,59	2,66	2,22	2,36	87,48 bc	67,90 ab
II	Superior	2,65	2,74	2,33	2,46	86,93 bc	71,51 b
	Médio	2,81	2,80	2,50	2,55	88,70 c	69,69 ab
	Inferior	2,52	2,91	2,15	2,70	81,79 b	74,08 bc
III	Superior	2,17	2,85	1,78	2,61	75,83 ab	70,55 b
	Médio	2,16	2,70	1,84	2,46	71,36 a	64,80 a
	Inferior	2,39	2,56	2,03	2,31	83,84 bc	63,37 a
IV	Superior	2,39	2,43	2,02	2,09	83,59 bc	67,12 ab
	Médio	2,22	2,38	1,85	2,08	84,04 bc	61,07 a
	Inferior	1,96	2,30	1,64	1,94	81,48 b	72,19 b
Média		2,35	2,63	1,99	2,35	82,33	68,42

Fonte: Manso, 2023.

É importante ressaltar o longo histórico de queimadas na área de estudo, uma vez que há estudos que ressaltam a contribuição do fogo em um primeiro momento na agregação dos solos (Santos *et al.*, 2016), como também o oposto, o papel da declividade elevada na degradação física dos solos, abordada no trabalho de (Silva *et al.*, 2014).

Já na profundidade de 10-20cm, as respostas do solo foram diferentes daquelas observadas em superfície, os resultados mostraram que houve aumento dos valores de DMP e DMG em todas as parcelas e em todos os terços, com exceção do terço médio da Parcela 2 (decréscimo de 0,01mm). Esta variação positiva é perceptível através da média geral obtida para (T0) e (T1) em cada um dos indicadores, sendo para DMP (2,35mm → 2,63mm) e DMG (1,99mm → 2,35mm).

Uma das hipóteses para esta condição recai sobre o acréscimo da matéria orgânica do solo principalmente nesta faixa de profundidade, bem como também o menor impacto das atividades de plantio e de pesquisa conduzidas na área de estudo, proporcionando menor influência externa à estrutura dos agregados, possibilitando maior grau de desenvolvimento destes, refletido em seu tamanho.

Importante destacar que dentre as parcelas, nesta profundidade, a Parcela 2 foi aquela que apresentou a menor variação (5,33%) para o DMP, seguido de (7,69%) para Parcela 4, (11,45%) para Parcela 1 e (17,03%) para Parcela 3.

Gráfico 9 – Diâmetro médio ponderado e geométrico na profundidade 0-10cm

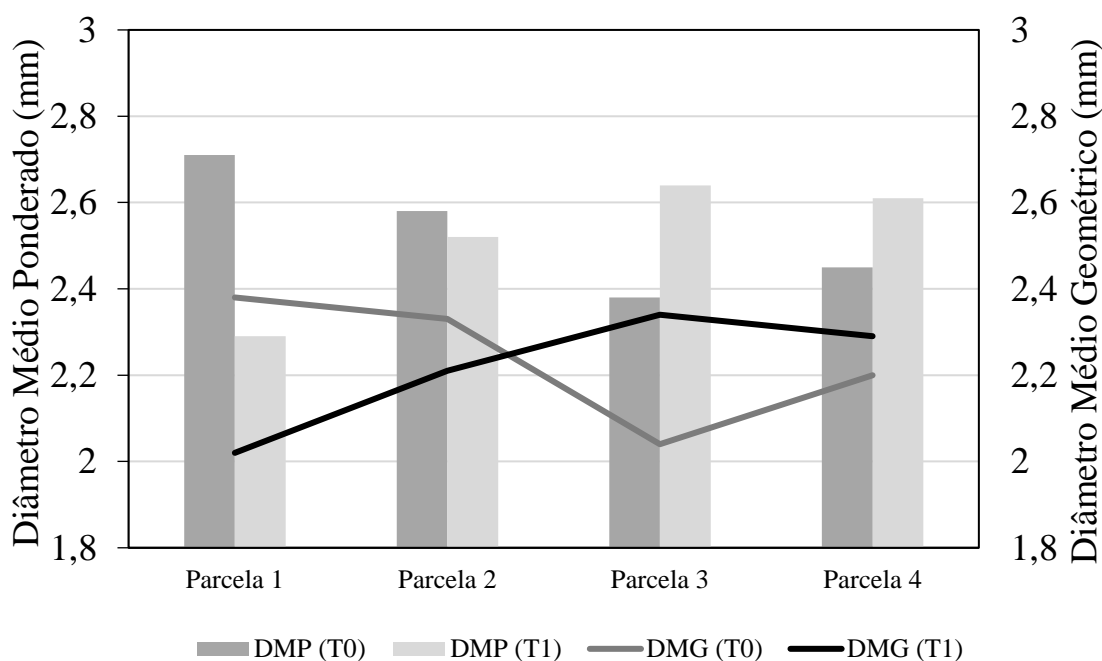
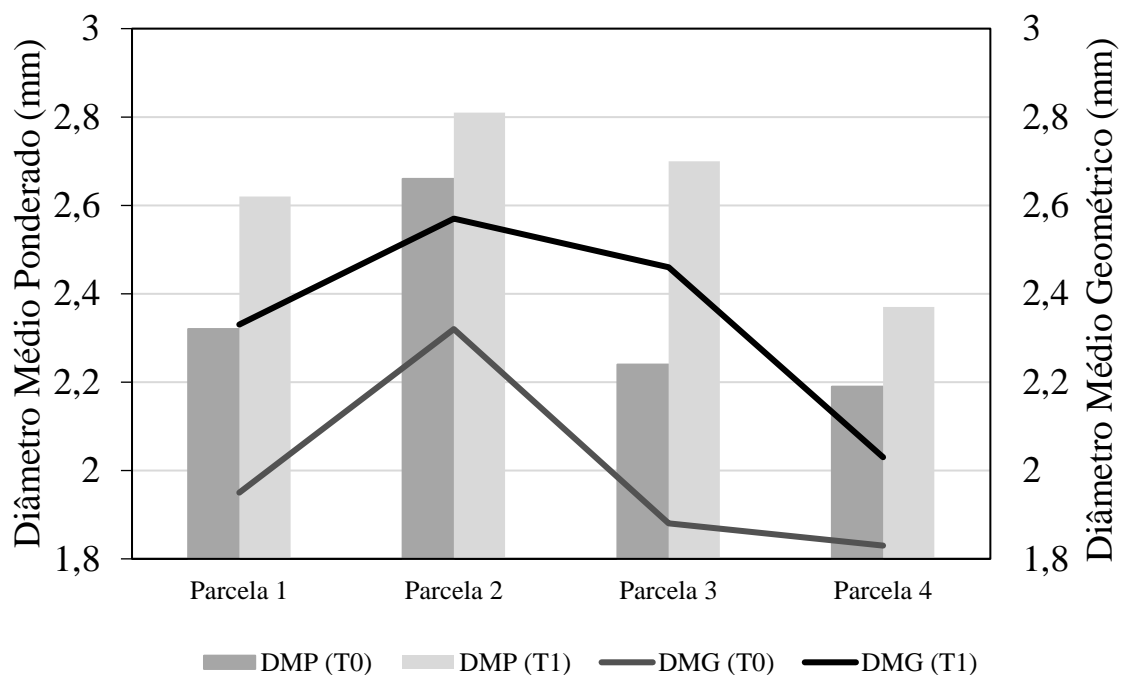


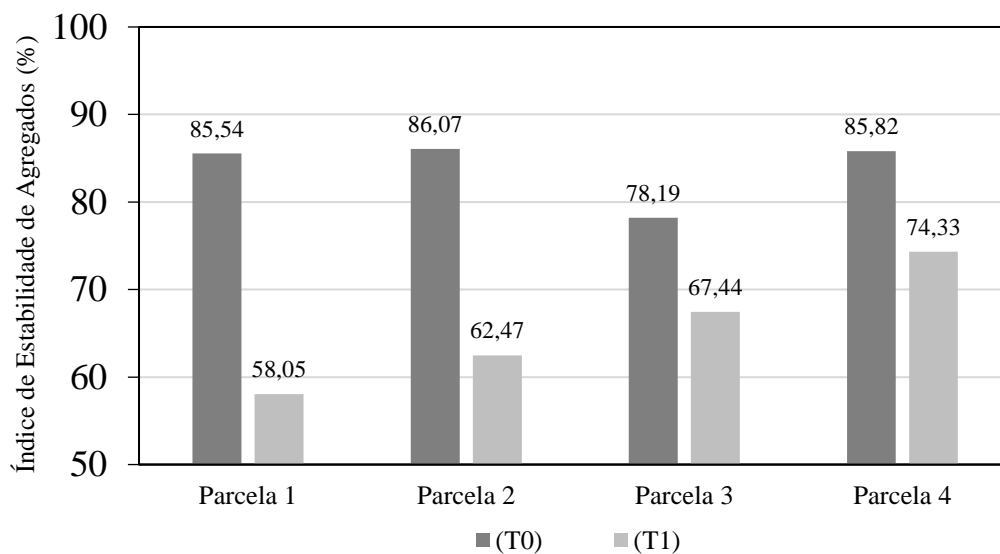
Gráfico 10 – Diâmetro médio ponderado e geométrico na profundidade 10-20cm.



Fonte: Manso, 2023.

Já em relação ao Índice de Estabilidade de Agregados, se observou resultado semelhante no que tange as médias gerais de (T0) e (T1), em ambas as profundidades, bem como, o comportamento apresentado após o intervalo temporal proposto, ressaltado quando comparadas, na qual o resultado apontou decréscimo deste indicador.

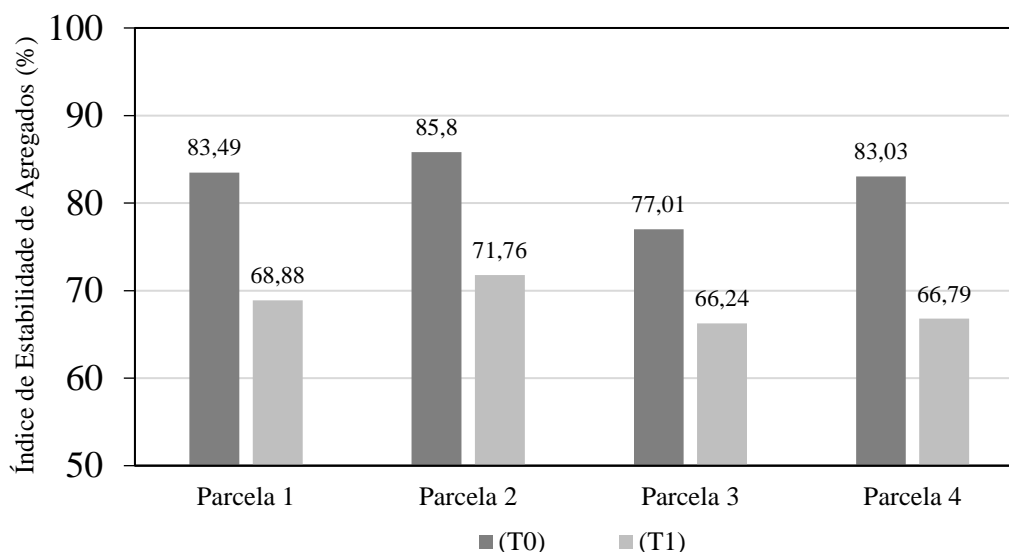
Gráfico 11 – Índice de estabilidade de agregados na profundidade 10-20cm.



Fonte: Manso, 2023.

Na profundidade de 0-10cm em (T0), a média geral de todas as parcelas foi de 83,90% enquanto que em (T1) para a mesma profundidade se observou o valor de 65,57%, um decréscimo de (27,95%), enquanto que na profundidade 10-20cm a média geral foi de 82,33% (T0) e 68,42% (T1), um decréscimo de (20,33%), ou seja, a mudança do uso e cobertura do solo exerceu maior influência nas camadas mais superficiais do solo.

Gráfico 12 –Índice de estabilidade de agregados na profundidade 10-20cm



Fonte: Manso, 2023.

Curiosamente a Parcela 4 apresentou os melhores valores relacionados ao IEA em (T1) na profundidade mais superficial uma média de (74,33%), ainda sim, menores do que os (85,82%) observados em (T0) quando esta se encontrava coberta por gramíneas. Em contrapartida, na profundidade 10-20cm, a Parcela 4 apresentou junto a Parcela 3 os menores valores médios em (T1), (66,79%) e (66,24%).

Dentre os três indicadores envolvendo agregação do solo, apenas o IEA apresentou diferença estatística constatada pelo teste ANOVA e Teste Tukey ao nível de significância de 5%,. Neste sentido, em (T0), a diferença estatística pode ser atribuída à distribuição dos pontos de amostragem no espaço. Isso se deve ao fato de que o uso da terra observado no momento da coleta da amostra era caracterizado por gramíneas que constituíam uma pastagem sem o emprego de qualquer tipo de atividade. Em (T1), a variação espacial dos pontos de coleta provavelmente permaneceu influente, juntamente com a transformação do uso e cobertura do solo, mantendo as disparidades estáticas. Vale ressaltar que a diferença

mínima significativa (dms) na área de superfície escalou de 6,90% para 10,20%, enquanto que na profundidade de 10-20cm de 6,86% para 5,74%.

Uma série de trabalhos foi consultada para estabelecer comparação entre os valores de IEA encontrados neste trabalho, sobretudo para áreas de pastagens, como em (Portugal *et al.*, 2010; Rangel *et al.*, 2011; Wendling *et al.*, 2012; Santos, *et al.*, 2016) com valores de IEA na faixa de 80%-90% e em (Salton, 2008; Rangel; Guerra, 2017; Freitas, 2020) com valores superiores a 90%.

A presença de uma maior quantidade de agregados de classe $< 0,25\text{mm}$ é um dos principais indicativos para que os valores referentes ao IEA tenham sofrido diminuição em superfície, porém o mesmo não foi observado na profundidade 10-20cm, uma vez que a variação média em relação aos microagregados foi mínima.

A partir da distribuição das diferentes classes de agregados representada nas tabelas 15 e 16, constatou-se que as classes que tiveram variação “positiva” de (T0) para (T1) foram $2,00\text{mm}>1,00\text{mm}$ e $<0,25\text{mm}$ na profundidade 0-10cm e $4,75\text{mm}>2,00\text{mm}$ e $<0,25\text{mm}$ na profundidade 10-20cm. Vale ressaltar que nesse sentido, a classe $4,75\text{mm}>2,00\text{mm}$ apresentou a maior variação em sua média (10,6%), sendo provavelmente uma das principais razões para o aumento dos valores encontrados referentes ao DMP e ao DMG, embora a influência sobre o IEA seja pouco percebida.

Por fim, deve se considerar também a diferença média encontrada nos valores referentes ao “fator f”, o qual para as primeiras 24 amostras analisadas foi de 1,04 e para as 24 amostras posteriores de 1,17.

Tabela 15 – Classes de macroagregados e microagregados na profundidade 0–10cm

Parcela	Terço	Macroagregados (%)				Microagregados (%)
		4,75 > 2,00	2,00 > 1,00	1,00 > 0,50	0,50 > 0,25	< 0,25
I	Superior	87,10	4,84	3,90	3,54	0,62
	Médio	67,75	10,50	9,59	8,06	4,10
	Inferior	65,53	10,90	9,56	7,20	6,81
II	Superior	77,62	7,22	5,69	4,94	4,53
	Médio	63,03	10,98	9,49	7,81	8,69
	Inferior	77,62	7,45	5,33	4,92	4,68
III	Superior	56,15	11,85	10,75	9,04	12,21
	Médio	66,79	10,44	7,92	5,76	9,09
	Inferior	65,48	12,26	8,65	6,61	7
IV	Superior	79,56	6,16	5,18	4,28	4,82
	Médio	64,94	12,59	9,25	6,98	6,24
	Inferior	56,90	19,10	10,53	7,21	6,26
Média		69,03	10,35	7,98	6,36	6,25

(T1)

I	Superior	50,77	13,74	6,72	6,31	22,46
	Médio	66,22	12,19	6,71	5,21	9,67
	Inferior	62,84	13,08	7,68	7,00	9,4
II	Superior	74,43	8,78	4,93	4,48	7,38
	Médio	61,48	12,69	7,80	7,65	10,38
	Inferior	66,53	14,54	5,52	5,26	8,15
III	Superior	81,83	6,30	2,90	3,61	5,36
	Médio	66,51	12,05	6,19	6,75	8,5
	Inferior	66,87	14,91	5,76	6,39	6,07
IV	Superior	82,19	6,42	4,50	3,10	3,79
	Médio	67,36	11,64	6,37	6,21	8,42
	Inferior	59,67	19,39	11,25	6,33	3,36
Média		67,22	12,14	6,36	5,69	8,57

Fonte: Manso, 2023.

Tabela 16 – Classes de macroagregados e microagregados na profundidade 10–20cm

Parcela	Terço	Macroagregados (%)				Microagregados (%)
		4,75 > 2,00	2,00 > 1,00	1,00 > 0,50	0,50 > 0,25	< 0,25
I	Superior	43,92	18,41	16,02	12,50	9,15
	Médio	64,05	13,06	9,43	7,06	6,4
	Inferior	69,49	10,55	8,61	6,57	4,78
II	Superior	70,96	12,50	7,03	4,97	4,54
	Médio	78,33	7,03	5,73	4,74	4,17
	Inferior	66,44	12,29	8,43	7,21	5,63
III	Superior	52,65	17,43	12,89	9,90	7,13
	Médio	52,45	18,01	13,54	6,15	9,85
	Inferior	61,66	14,04	9,86	7,33	7,11
IV	Superior	61,39	14,19	10,01	7,66	6,75
	Médio	54,32	18,26	11,49	8,92	7,01
	Inferior	41,93	27,63	13,43	8,73	8,28
Média		59,79	15,28	10,53	7,64	6,73

(T1)

I	Superior	64,31	16,13	8,19	4,97	6,4
	Médio	74,87	10,20	5,50	3,65	5,78
	Inferior	72,10	11,28	5,40	4,64	6,58
II	Superior	75,60	9,24	5,48	7,86	1,82
	Médio	78,22	7,95	4,08	3,56	6,19
	Inferior	81,93	7,31	3,46	2,32	4,98
III	Superior	80,53	6,28	3,71	3,71	5,77
	Médio	74,56	9,25	4,51	3,04	8,64
	Inferior	62,30	14,12	6,26	4,48	12,84
IV	Superior	61,95	17,21	8,35	6,00	6,49
	Médio	61,95	15,81	7,06	5,38	9,8
	Inferior	56,40	19,05	12,02	6,61	5,92
Média		70,39	11,98	6,16	4,68	6,76

Fonte: Manso, 2023.

4.1.7 Carbono orgânico e matéria orgânica

Os resultados referentes ao carbono orgânico e a matéria orgânica obtidos por via úmida no ensaio de titulação, variaram em torno de 7,29 g/kg⁻¹ a 13,41 g/kg⁻¹ em (T0) para o carbono e de 12,56 g/kg⁻¹ a 23,11 g/kg⁻¹ para a matéria orgânica. As médias para cada um dos indicadores nas respectivas profundidades analisadas (0-10cm e 10-20cm) foram de 11,56 g/kg⁻¹ e 9,43 g/kg⁻¹ para o carbono e de 19,93 g/kg⁻¹ e 18,67 g/kg⁻¹ para a matéria orgânica, valores estes, referentes a condição propiciada pela presença de cobertura vegetal da espécie forrageira *Bachiaria (Brachiaria Decumbens)*, presente em todas as parcelas naquele momento.

Os valores referentes a (T1) variaram em torno de 5,53 g/kg⁻¹ e 11,07 g/kg⁻¹ para o carbono orgânico e de 9,54 g/kg⁻¹ a 19,08 g/kg⁻¹ para matéria orgânica. Se constatou que no primeiro ano de condução do restauro florestal na área designada ao experimento houve redução do carbono orgânico e matéria orgânica presente no solo.

O aumento da atividade de capina, assim como abertura de coroas para os plantios podem ser as principais mudanças no manejo do solo que justifiquem tais alterações nos valores encontrados, embora, ainda sim, indicadores como a cor, a densidade do solo e a porosidade tenham possivelmente sofrido forte influência do aumento numérico e de diversidade de indivíduos vegetais.

Em relação a agregação dos solos, a redução da matéria orgânica em todas as parcelas analisadas pode ser um forte indicador para estabelecer correlação com a diminuição do IEA observado, embora os valores médios de DMG e DMP tenham aumentado, a estabilidade dos agregados claramente foi reduzida, bem como, como observado na tabela 17, o carbono orgânico e a matéria orgânico, decréscimo semelhante em ambos os indicadores, também, no que tange as profundidades.

O decréscimo de carbono orgânico e de matéria orgânica ocorrem entre a camada superficial e a profundidade 10-20cm, resultado observado também em trabalhos como o de Rodrigues (2021), para áreas de pastagem, reflorestamento de 5 e 15 anos. Neste trabalho, as áreas de reflorestamento mais antigos apresentaram valores de CO e MO superiores ao de áreas de pastagens ou de pasto queimado, o que pode ser um indicativo para que não se espere grandes alterações “positivas” em áreas que estão em recente condução de Projetos de Restauração Florestal (PRF).

Embora realizada de forma secundária para complementação dos dados aqui apresentados, a análise de matéria orgânica realizada a partir da combustão das amostras em mufla, expressou quase que em sua totalidade, o decréscimo de matéria orgânica do período (T0) para (T1), assim como observado no resultado da titulação, com exceção do valor encontrado para Parcela 1 na profundidade 10-20cm. No entanto, pode existir a necessidade de retornar a análise em questão, visando garantir a fidedignidade dos dados, realizando amostragens em duplicata ou triplicata.

Tabela 17 – Valores de carbono orgânico e matéria orgânica

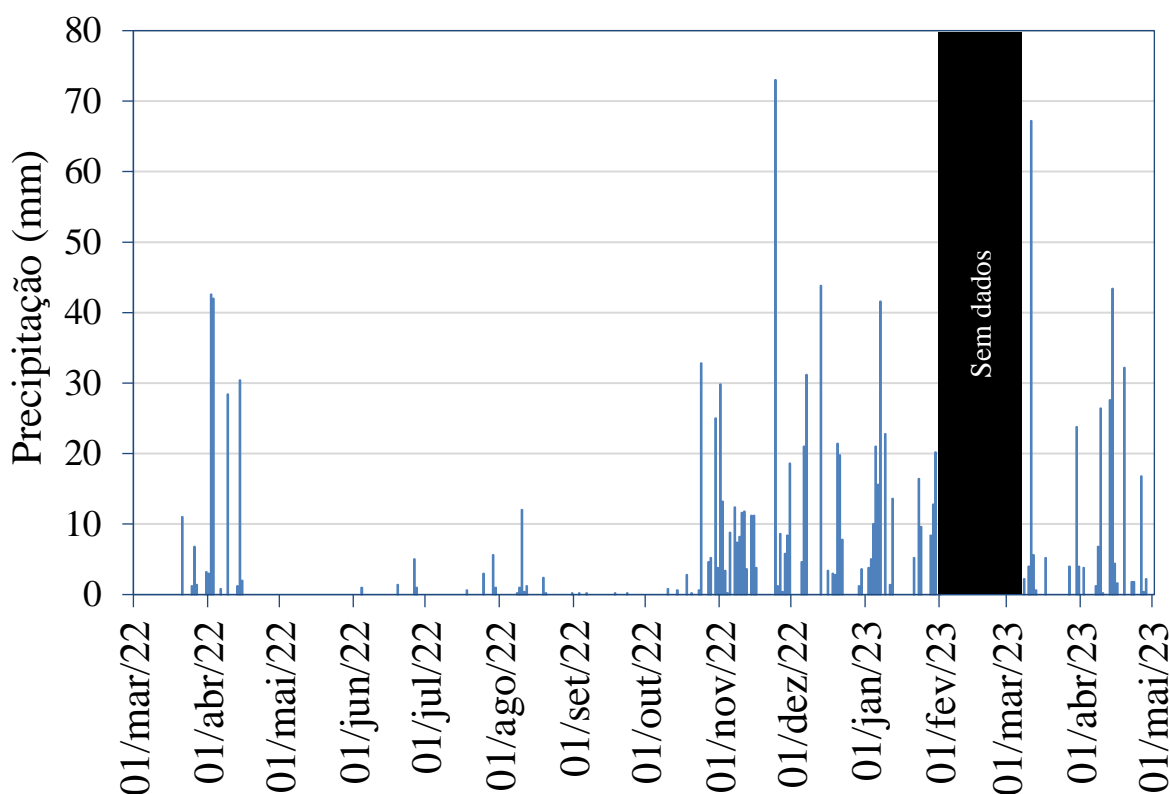
Parcelas	Profundidade	Titulação (via úmida)				Mufla (via seca)	
		(T0)		(T1)		(T0)	(T1)
		C (g/kg ⁻¹)	M.O (g/kg ⁻¹)	C (g/kg ⁻¹)	M.O (g/kg ⁻¹)	M.O (%)	M.O (%)
I	0-10cm	12,10	20,86	10,85	18,71	7,30	7,05
	10-20cm	10,08	17,37	7,37	12,70	6,27	7,95
II	0-10cm	13,41	23,11	10,80	18,61	7,82	7,73
	10-20cm	12,51	21,56	5,53	9,54	7,31	5,67
III	0-10cm	11,38	19,62	11,07	19,08	8,62	7,20
	10-20cm	7,87	13,57	6,21	10,70	8,64	7,45
IV	0-10cm	9,36	16,13	6,75	11,63	7,64	6,84
	10-20cm	7,29	12,56	5,53	9,54	8,27	7,38

Fonte: Manso, 2023.

4.2 Monitoramento hidrossedimentológico

O monitoramento da precipitação ocorreu ao longo de 406 dias, iniciando no dia 21/03/2022 até a última medição realizada no dia 30/04/2023, destes, em 116 houve precipitação, totalizando 1221,8 mm de chuva. O único período em que não houve monitoramento efetivo da chuva foi entre os dias 01/02/2023 e 07/03/2023 uma vez que a leitura do pluviômetro digital foi interrompida por esgotamento de sua bateria e o responsável pelas coletas do pluviômetro “*Ville de Paris*” se ausentou no período entre estas datas.

Gráfico 13 – Precipitação total do período monitorado



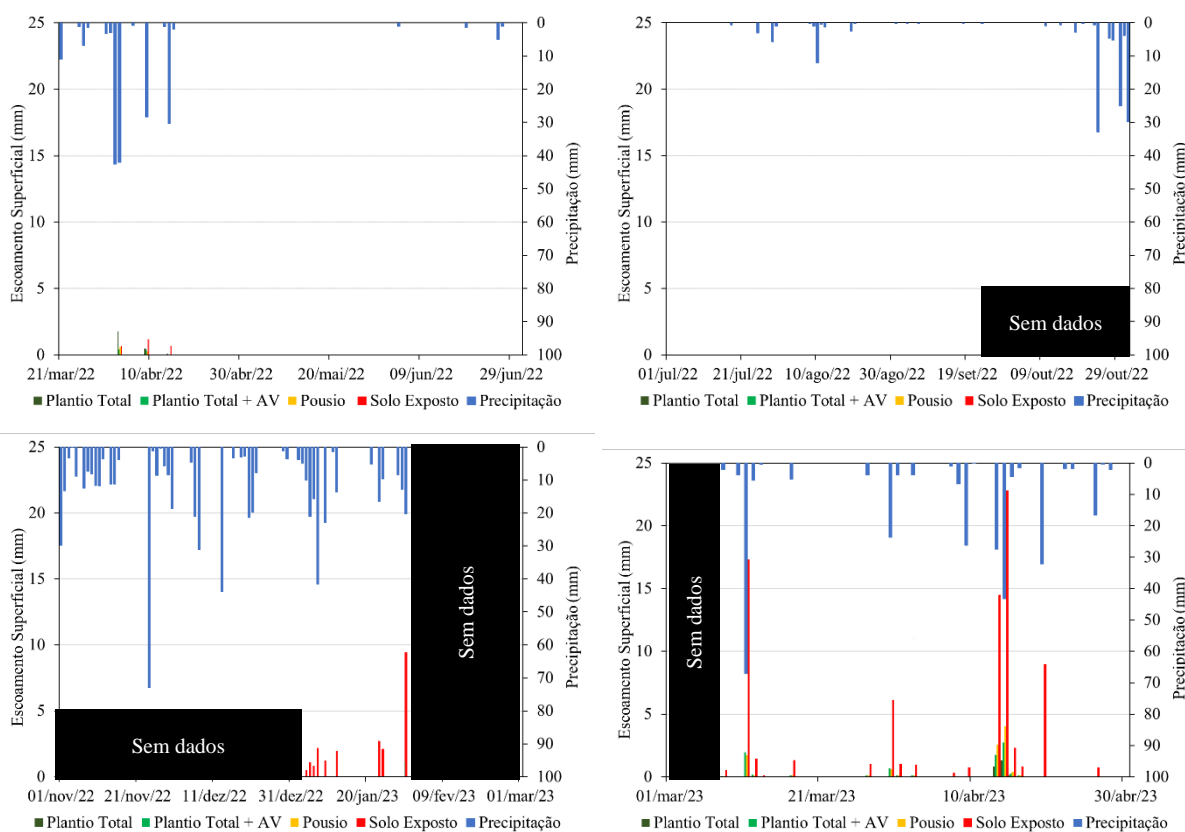
Fonte: Manso, 2023.

A precipitação dos meses monitorados foi de: final de março/22 (26,6 mm), abril/22 (150,4 mm), maio/22 (0 mm), junho/22 (8,4 mm), julho/22 (10,2mm), agosto/22 (17,6 mm), setembro/22 (0,8 mm), outubro/22 (76,4 mm); novembro (252,6 mm); dezembro (163,6 mm); janeiro/23 (207,4 mm). março/23 (116,60 mm), abril/23 (170,6 mm). Portanto, o mês de maior índice pluviométrico foi novembro, entretanto, como será visto a seguir, neste mês não houve monitoramento das parcelas.

4.2.1 Escoamento superficial

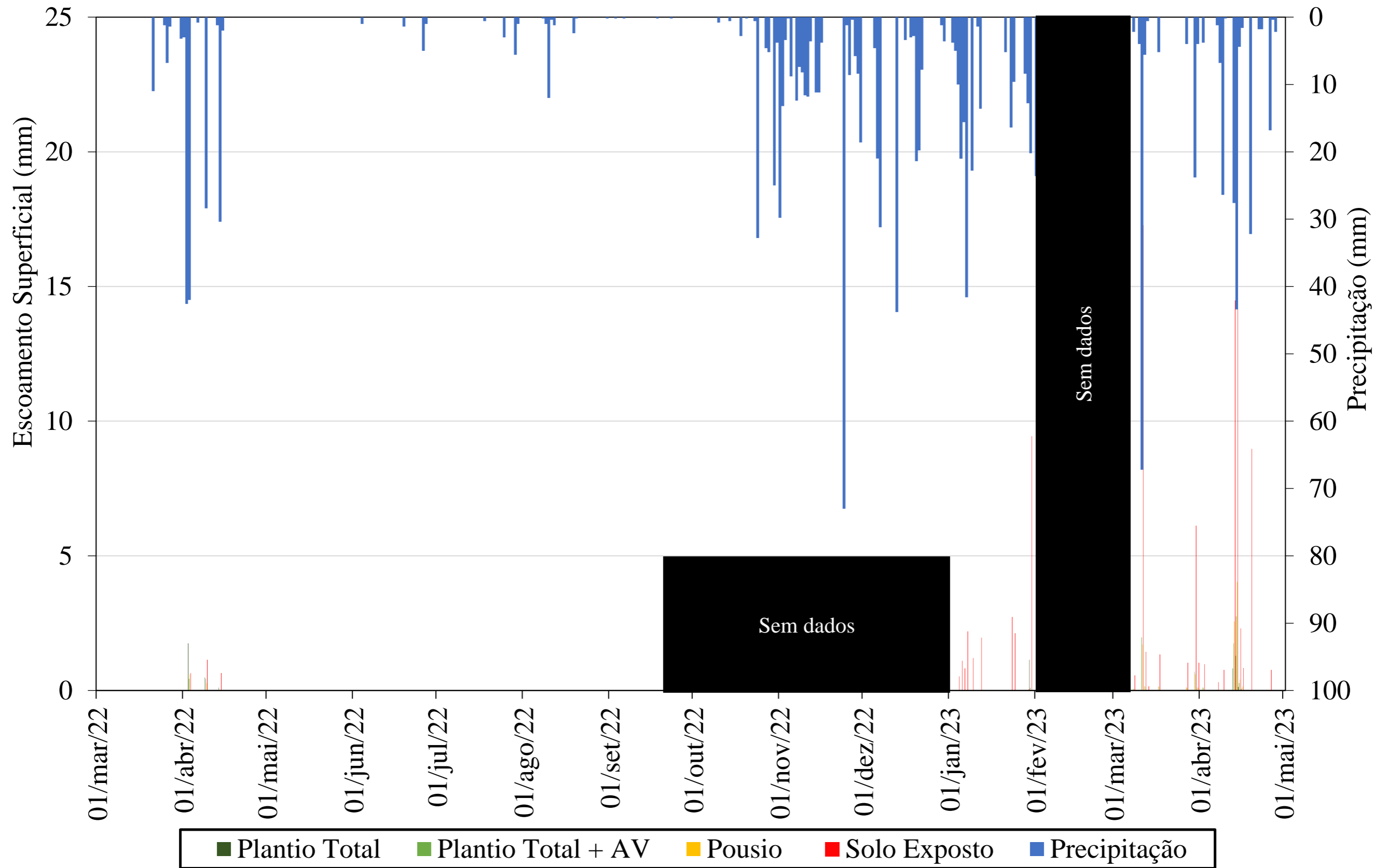
A primeira parte do monitoramento do escoamento superficial e da taxa de perda de solo se iniciou no dia 21/03/2022, ainda no começo do outono, e se encerrou no dia 23/09/2022, começo da primavera. O experimento voltou a ser monitorado no início de janeiro de 2023 ainda durante o verão, o hiato durante a primavera se deu pela ausência do responsável pela mensuração do volume das caixas e outras dificuldades logísticas que impossibilitaram idas a campo durante este período. Desconsiderando o período em que não houve monitoramento efetivo do experimento, o total de eventos de chuva registrados foi de 72 e 729,2 mm, ou seja, 62,93% de possíveis dados de escoamento superficial e perda do solo não foram coletados. Um total de 47 leituras do escoamento superficial foram realizadas, totalizando também, esse mesmo número referente às amostras de sedimento. Nos meses de janeiro/23 e março/23 onde eventualmente ocorreram acúmulos de amostragem, o total coletado foi dividido proporcionalmente para o volume de chuva registrado.

Gráfico 14 – Gráficos trimestrais do escoamento superficial



Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 15 – Gráfico completo do escoamento superficial



Fonte: Manso, 2023.

No período monitorado, ao todo, foram registrados 17 eventos de escoamento superficial ao longo dos 12 meses de monitoramento (26 considerando os acumulados do mês de janeiro/23 e março/23) e desconsiderando os meses de outubro, novembro, dezembro e fevereiro onde não houve mensuração do volume d'água nas caixas, seguido da coleta do material quando este se encontrava retido.

Percebe-se um comportamento sazonal marcante em relação a distribuição das chuvas na região, com o final do outono e ao longo do inverno mais secos, e verão e início de outono mais chuvosos. O escoamento superficial foi percebido apenas nos meses monitorados de abril/22, janeiro/23, março/23 e abril/23, foram coletados respectivamente 6,528 mm por m², 23,459 mm por m², 35,125 mm por m² e 66,867 mm por m², para as quatro parcelas, totalizando 131,979 mm. A distribuição dos totais mensais para os meses em que houve ocorrência de escoamento é representada nas tabelas a seguir:

Tabela 18 – Escoamento superficial do período total de monitoramento

Parcela	Escoamento superficial (mm/m²)	(%)
I	5,773	4,37
II	9,353	7,08
III	11,073	8,38
IV	105,783	80,15
Total	131,979	100

Fonte: Manso, 2023.

Em visita registrada em vídeo disponibilizado em: <https://www.youtube.com/watch?v=UpMRCXvhx0g> constatou-se que o escoamento superficial encontrou facilidade para ocorrer posteriormente a dias em que houve algum volume de chuva, caracterizando a influência da umidade antecedente para início do fenômeno. Nestes dias, em geral, a precipitação foi de mais de 20mm.

Percebeu-se que ao longo da parcela 4 a qual durante todo o período monitorado apresentou as maiores taxas de escoamento e perda de solo, o caminho preferencial da água se deu pelas bordas da parcela, destacando a influência da morfologia da vertente a qual possui um perfil convexo, evidenciando a dispersão de fluxos da montante em direção a jusante do relevo. Os fluxos ocorreram seguindo as pequenas concavidades do solo, que ora geravam pequenas poças, possibilitando o acúmulo d'água em superfície, ora possibilitavam a convergência dos fluxos, aumentando consideravelmente a força destes.

Tabela 19 – Escoamento superficial dos meses de ocorrência

Parcela	Escoamento superficial (mm/m²)	(%)
Abril/2022		
I	2,339	35,83
II	0,871	13,34
III	0,871	13,34
IV	2,446	37,46
Total	6,528	≈ 100
Janeiro/2023		
I	1,142	4,86
II	0,098	0,41
III	0,027	0,11
IV	22,189	94,58
Total	23,459	≈ 100
Março/2023		
I	0	0
II	3,312	9,42
III	2,861	8,14
IV	28,952	82,42
Total	35,125	≈ 100
Abril/2023		
I	2,291	3,42
II	5,070	7,58
III	7,31	10,93
IV	52,193	78,05
Total	66,867	≈ 100

Fonte: Manso, 2023.

4.2.2 Taxa de perda do solo

Em relação a perda de solo, houve um total de 4112,89 (g/m²) desde o início do monitoramento, equivalente a 41,128 (ton/ha). Deste total, 4078,60 (g/m²) foram oriundos da Parcela 4 (Solo Exposto), ou seja, 99,16%, estes seguidos de 15,77 (g/m²), 0,383%, da Parcela 1; 18,47 (g/m²), 0,449%, da Parcela 2 e 0,03488 (g/m²), 0,0008%, da Parcela 3 (Pousio). Afim de facilitar a visualização destes resultados, as tabelas a seguir demonstram a perda de solo total ao longo do período de monitoramento, bem como, o total para cada um dos meses em que houve ocorrência de erosão.

Gráfico 16 – Gráficos trimestrais de perda do solo

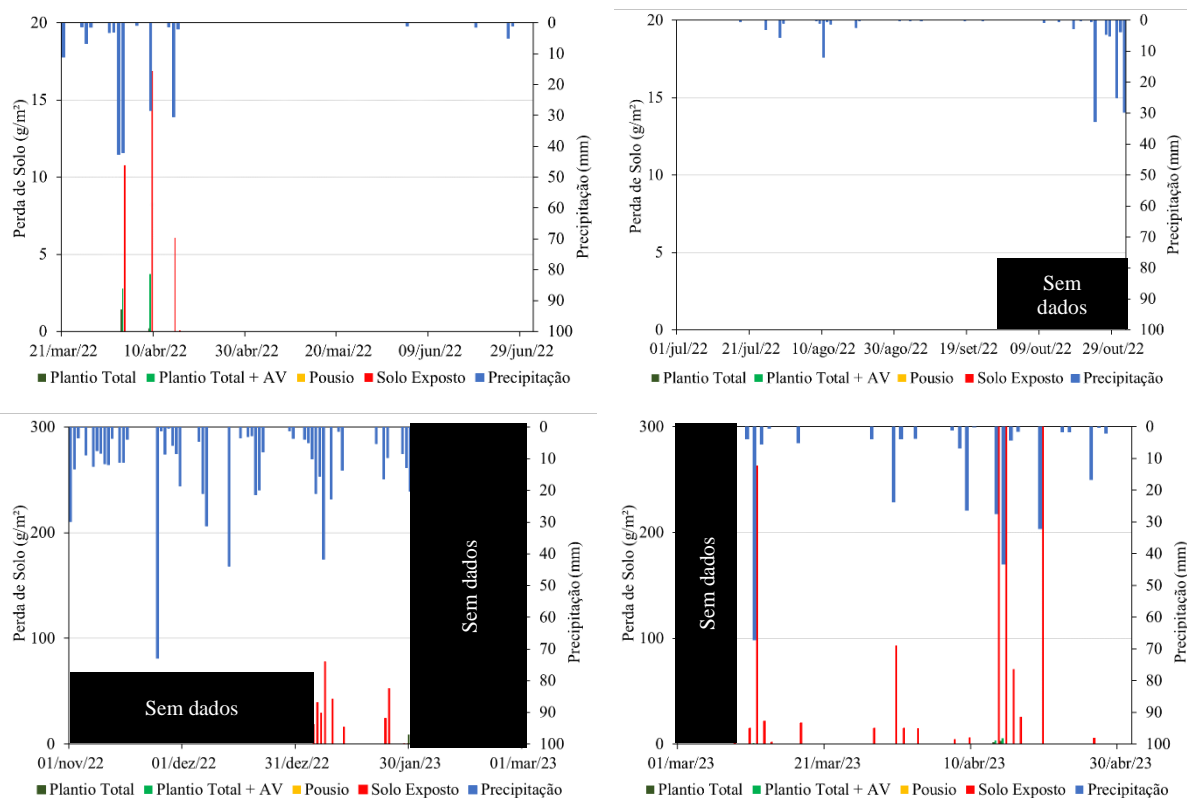


Gráfico 17 – Gráfico da perda de solo completo.

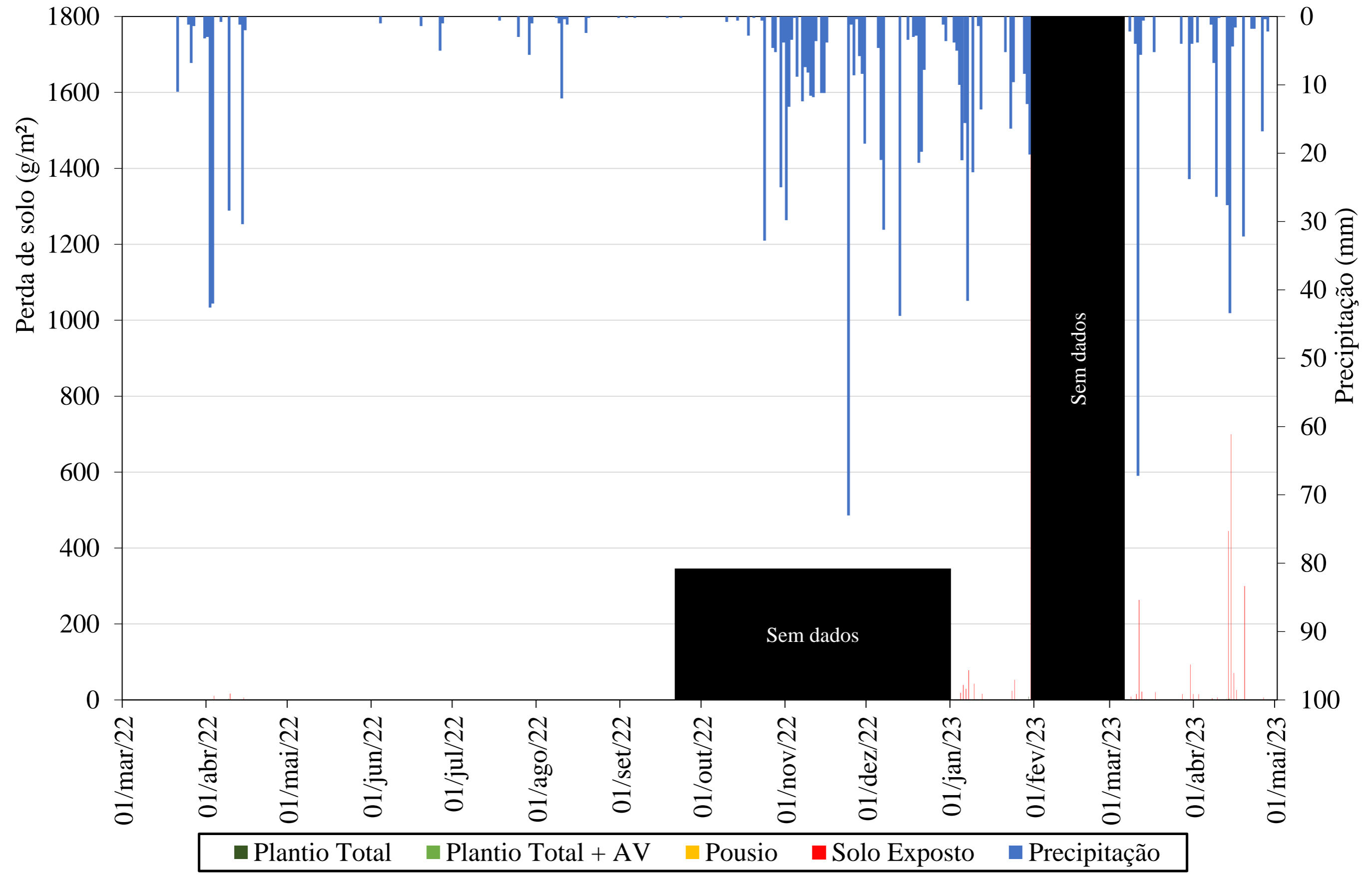


Tabela 20 – Perda de solo do período total de monitoramento

Parcela	Perda de solo total em (g/m²)	(%)
I	15,774	0,38
II	18,473	0,44
III	0,03488	0,0008
IV	4078,609	99,16
Total	4112,892	≈ 100

Fonte: Manso, 2023.

A partir dos resultados obtidos, constatou-se que a exposição do solo aos diversos fatores climáticos propiciou ao mesmo maiores impactos relacionados a erosão, uma vez que se observou as maiores taxas de perda de solo na parcela 4 (Solo exposto). Tal resultado acompanhou também as maiores concentrações de escoamento superficial observadas, ou seja, o solo exposto além de condicionar a ocorrência de mais fluxos hídricos, possibilitou também que uma maior quantidade de partículas sólidas fosse transportada ao longo da área da parcela.

Neste sentido, o mesmo comportamento não foi observado nas parcelas restantes, onde embora a taxa de escoamento tenha variado em torno de 4% e 8%, a perda de solo foi ínfima comparada aos resultados obtidos na parcela 4. Ainda assim, vale ressaltar que as parcelas 1 (Plantio Total) e 2 (Plantio Total + Adubação Verde) tiveram taxas de perda de solo consideravelmente superiores às encontradas na parcela 3 (Pousio).

Tabela 21 – Perda de solo dos meses de ocorrência

Parcela	Perda de solo (g/m²)	(%)
Abril/2022		
I	1,638	3,90
II	6,464	15,42
III	0,019	0,05
IV	33,783	80,61
Total	41,905	≈ 100
Janeiro/2023		
I	8,911	0,44
II	0,130	0,006
III	0,002	0,0004
IV	2014,310	99,55
Total	2023,355	≈ 100
Março/2023		
I	0	0
II	1,920	0,41
III	0,001	0,0002
IV	456,909	99,58
Total	458,832	≈ 100
Abril/2023		
I	5,224	0,32
II	9,958	0,62
III	0,011	0,0006
IV	1573,604	99,04
Total	1588,798	≈ 100

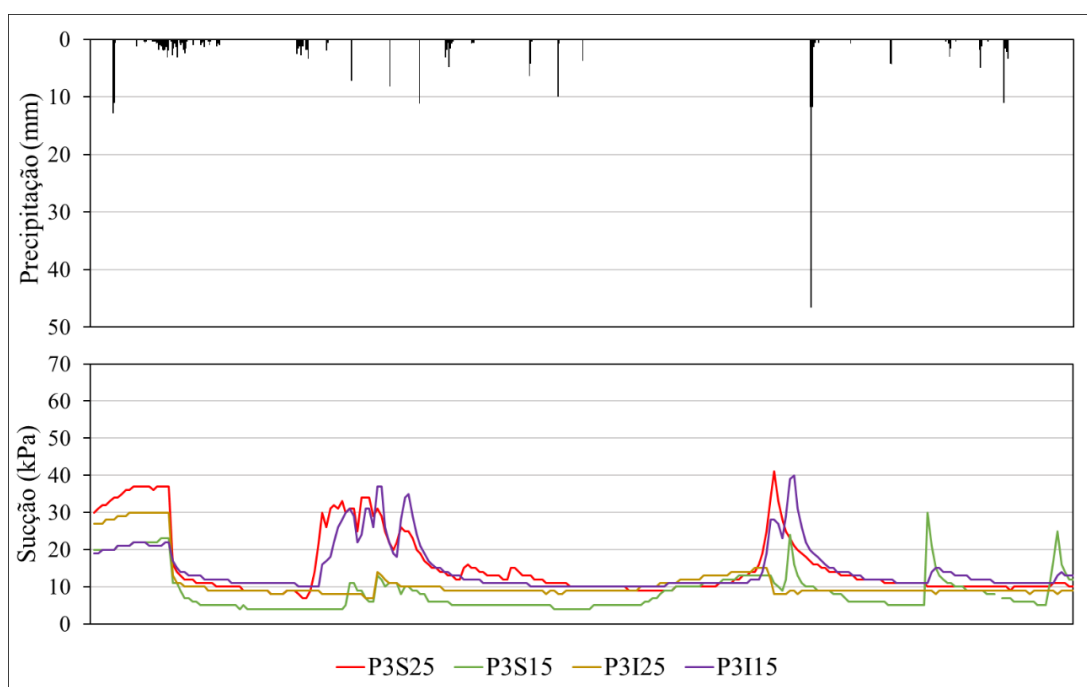
Fonte: Manso, 2023.

4.2.3 Sucção matricial

O monitoramento da sucção matricial se iniciou em novembro e foi interrompido em janeiro, os gráficos a seguir representam um período amostral referente ao mês de novembro. Os dados foram registrados a cada 1 hora, totalizando 720 registros da sucção matricial, onde através do pareamento com os dados do pluviômetro, se observou que em 118 dos registros houve recarga hídrica oriunda da chuva de pelo menos 0,2mm e máximo de 46,6mm. Com a entrada de água no sistema, a resposta da sucção monitorada pelos sensores foi rápida, fazendo com que os valores de sucção diminuíssem, nos períodos de estiagem, a sucção gradualmente aumentou. Para a parcela 3, com a pastagem presente, observou-se uma média mensal para cada um dos sensores instalados.

No terço superior, nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm respectivamente: 11,82 kPa e 16 kPa; No terço inferior os valores para cada uma das profundidades foi: 13,65 kPa e 12,39 kPa. As maiores amplitudes da curva de sucção foram evidenciadas em períodos de estiagem, onde a sucção chegou em valores próximos de 40 kPa em alguns dos sensores, entretanto, a resposta não foi igual em todos os eventos para cada sensor, pelo fato de que também, a distribuição e intensidade dos eventos de chuva não podem ser considerados iguais ao longo do tempo.

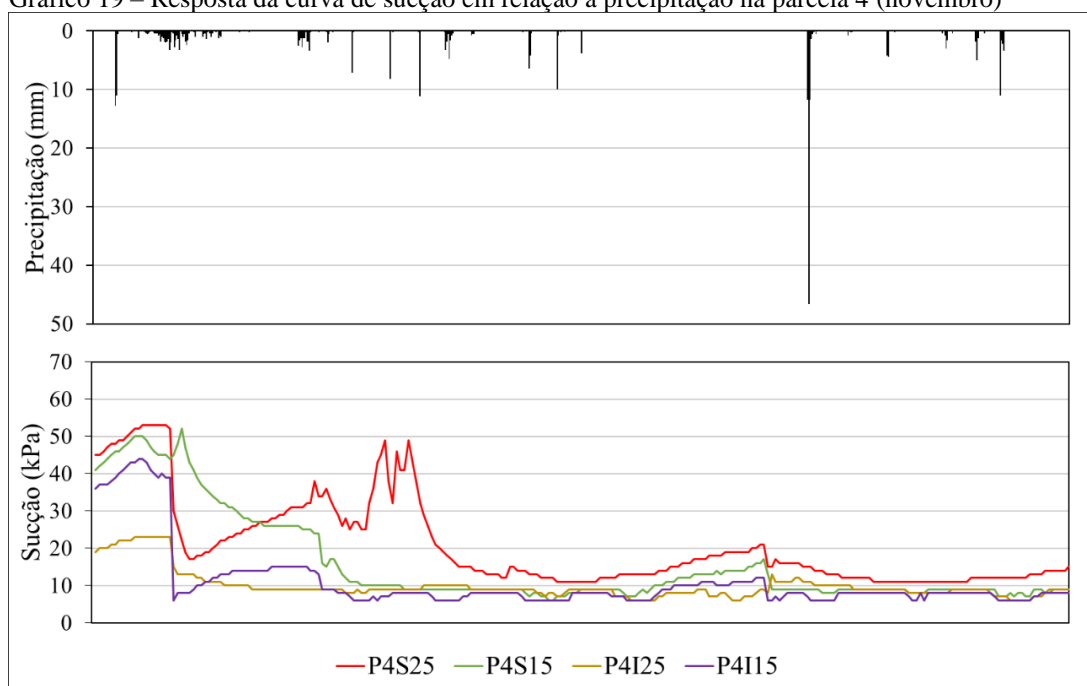
Gráfico 18 – Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 3 (novembro)



Fonte: Manso, 2023.

Na parcela 4, onde o solo se encontra totalmente exposto, observou-se as seguintes médias para cada um dos sensores; No terço superior, nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm respectivamente: 18,31 kPa e 30,76 kPa; No terço inferior os valores para cada uma das profundidades foi: 11,90 kPa e 11,58 kPa. Realizando um comparativo entre as médias obtidas, pode se interpretar que o terço superior da parcela coberta por pastagem teve um desempenho melhor sobre a retenção de umidade ao longo do período observado, enquanto que no terço inferior ambas tiveram um desempenho semelhante, com um pequeno desempenho melhor na parcela com o solo exposto.

Gráfico 19 – Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 4 (novembro)



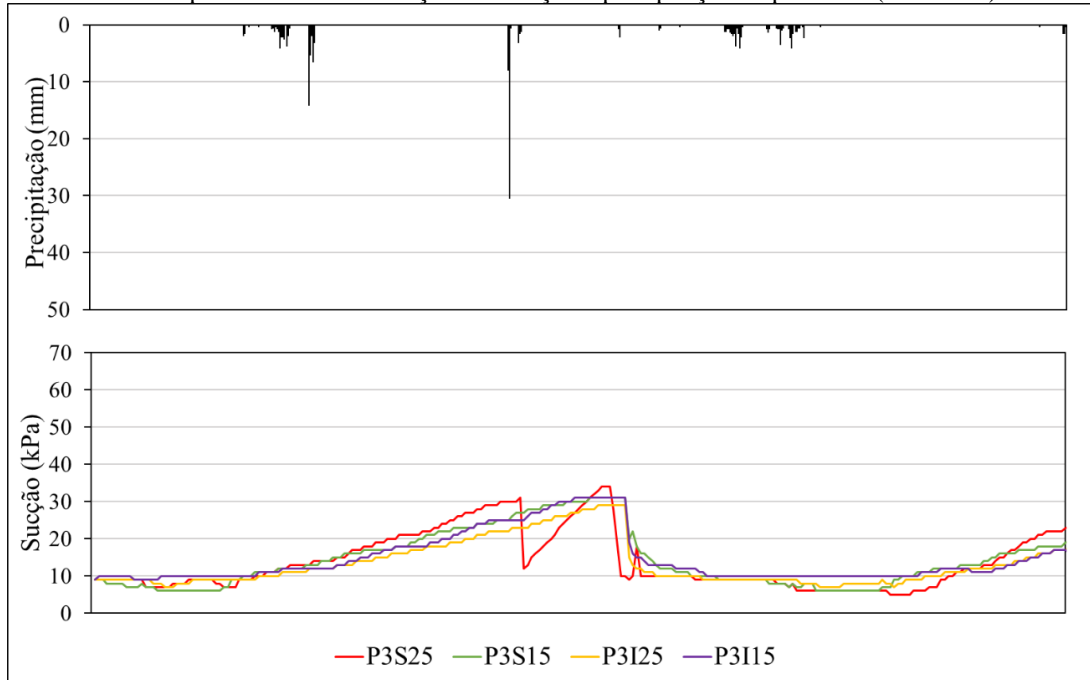
Fonte: Manso, 2023.

No mês de dezembro a diferença do comportamento da sucção matricial entre as parcelas 3 e 4 fica mais evidente, sobretudo no período entre os dias 23/12/2022 e 30/12/2022 onde houve um período considerável de estiagem, fazendo com que fossem registrados valores máximos de 151 kPa e 63 kPa nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm respectivamente do terço superior da Parcela 4 e 123 kPa e 163 kPa nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm respectivamente do terço inferior. Neste mesmo período destacado, os valores observados para a Parcela 3 foram de 41 kPa e 57 kPa nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm do terço superior e 35 kPa e 46 kPa nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm do terço inferior.

As médias de sucção observadas ao longo do mês de dezembro para a Parcela 4 nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm no terço superior foram: 36,36 kPa e 35,53 kPa e do

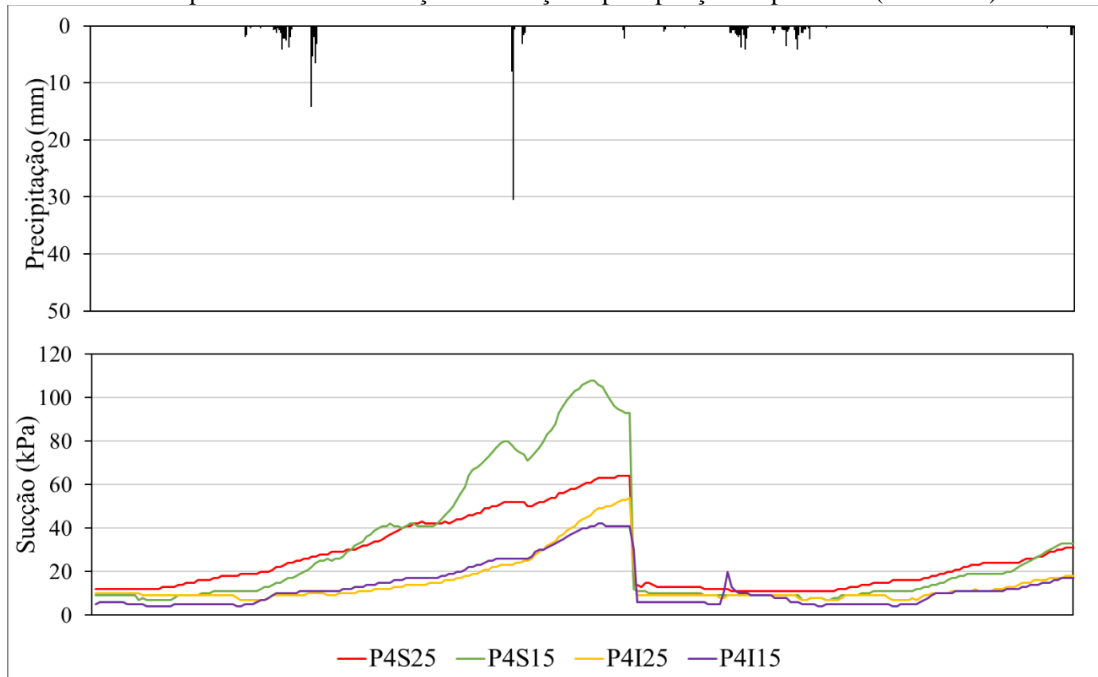
terço inferior: 22,31 kPa e 30,65 kPa. Já as médias observadas na Parcela 3 foram: 17,47 kPa e 17,98 kPa para o terço superior nas profundidades de 0-15cm e 15-25cm respectivamente e 16,16 kPa e 16,18 kPa no terço inferior para as mesmas profundidades.

Gráfico 20 – Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 3 (dezembro)



Fonte: Manso, 2023.

Gráfico 21 – Resposta da curva de sucção em relação a precipitação na parcela 4 (dezembro)



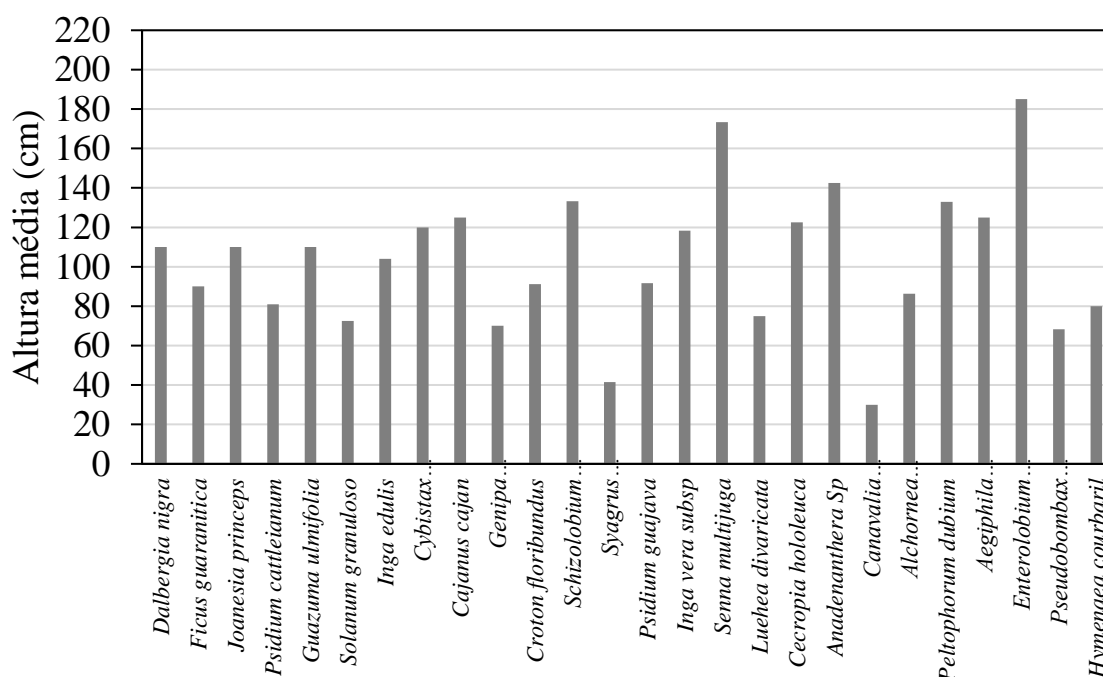
Fonte: Manso, 2023.

4.3 Desempenho da evolução do restauro florestal

Os resultados aqui apresentados foram obtidos através da mensuração dos seguintes parâmetros em campo: altura total, diâmetro da base e diâmetro à primeira bifurcação dos indivíduos vegetais distribuídos na área de 400 m² referente as parcelas 1 (Plantio Total) e 2 (Plantio Total + Adubação Verde) e seus espaçamentos, onde foram também conduzidos plantios referentes aos respectivos tratamentos.

A mensuração representa cerca de 104 indivíduos, dos quais a grande maioria faz parte das 140 árvores destinadas a área do experimento e um pequeno número as espécies utilizadas na adubação verde, Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*).

Gráfico 22 – Altura média total dos indivíduos vegetais

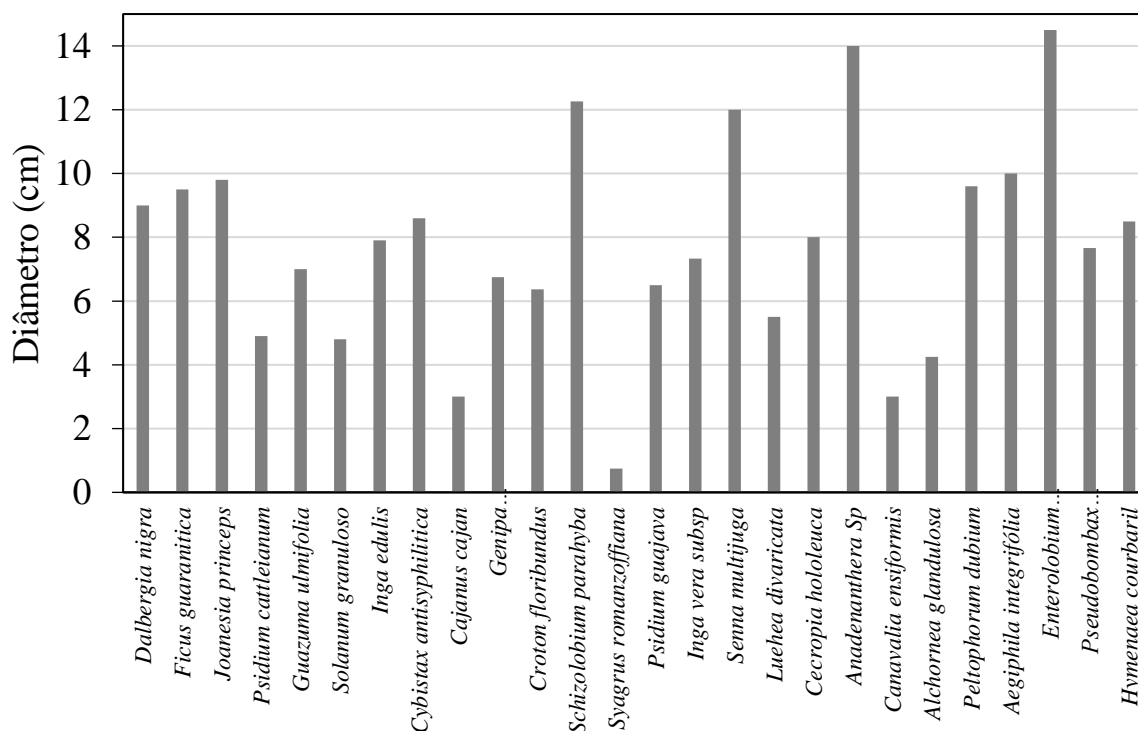


Fonte: Manso, 2023.

A altura total das plantas é um parâmetro amplamente utilizado para caracterizar o tamanho e estrutura dos indivíduos vegetais. É um indicador diretamente relacionado ao crescimento vertical da planta, sendo influenciado por fatores como: disponibilidade de luz, nutrientes e água. Tal indicador oferece informações referentes ao nível de desenvolvimento da planta, sendo possível estimar sua biomassa assim como a sua produção de matéria orgânica, o que pode ser fundamental para compreensão do estoque de carbono. A altura total média dos indivíduos analisados foi de 1 metro, 0,32 cm a mais comparado a média obtida na

primeira avaliação feita pela Crescente Fértil utilizando a "Calculadora da Restauração Florestal", disponível em: <http://www.crescentefertil.org.br/psasacrafamilia/VL.html>.

Gráfico 23 – Diâmetro médio da base dos indivíduos vegetais



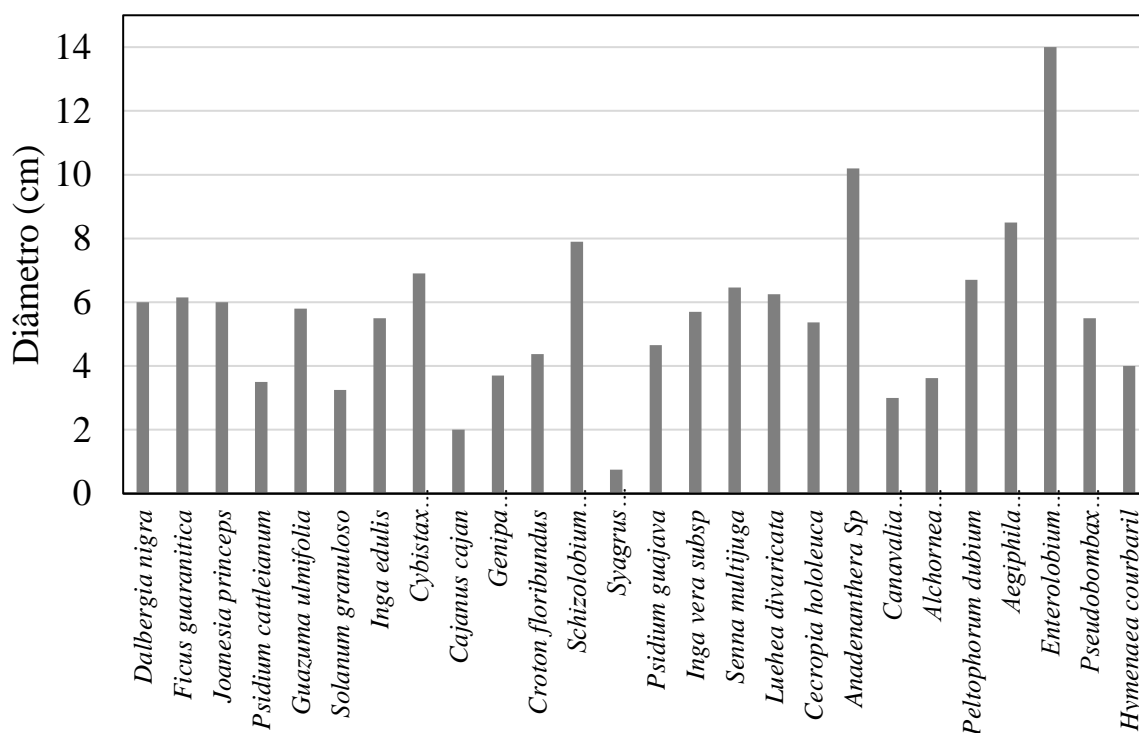
Fonte: Manso, 2023.

A média do diâmetro da base observada nas plantas mensuradas foi de 7,02cm, sendo este um parâmetro importante por fornecer informações sobre o desenvolvimento e estabilidade da comunidade vegetal. Tal indicador está relacionado ao crescimento radial e diretamente ligado à capacidade da planta de sustentar sua própria massa e resistir a condições ambientais adversas, como ventos fortes.

Individualmente observou-se maiores valores de diâmetro nas plantas da família Fabaceae, leguminosas, como a Canafistula (*Peltophorum dubium*) – 23cm; Orelha de Negro (*Enterolobium contortisiliquum*) – 18cm; Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) – 17,8cm e o Angico Vermelho (*Anadenanthera Sp*) – 15cm. Foi observada uma relação direta entre os maiores valores de diâmetro da base e a altura total dos indivíduos, destas quatro espécies destacadas, todas superaram a altura média encontrada de 1m, com destaque a um dos exemplares de Canafistula que foi estimada em 3,5m, sendo, portanto, também, o maior indivíduo mensurado na área do experimento. Vale ressaltar também que destas espécies destacadas, as três primeiras são classificadas como pioneiras, portanto, espera-se que essa

“vantagem” observada no desenvolvimento da fitofisionomia destas plantas em um estágio inicial de reflorestamento ofereça subsídios para que os indivíduos adjacentes desempenhem também sua evolução.

Gráfico 24 – Diâmetro médio à primeira bifurcação dos indivíduos vegetais



Fonte: Manso, 2023.

O diâmetro médio à primeira bifurcação entre os indivíduos observados foi de 4,95cm e é um parâmetro importante para entender o desenvolvimento da arquitetura da planta. Este parâmetro influencia diretamente os aspectos ligados à área de copa, bem como indica a forma com que o indivíduo interage com o ambiente circundante, possibilitando que a compreensão da competição intraespecífica, uma vez que plantas com maior diâmetro à primeira bifurcação podem ter vantagens competitivas em termos de acesso à luz e recursos.

Assim como no parâmetro anterior, as espécies que apresentaram os maiores valores de diâmetro à primeira bifurcação foram: Orelha de Negro (*Enterolobium contortisiliquum*) – 15cm; Canafistula (*Peltophorum dubium*) – 15cm; Angico Vermelho (*Anadenanthera Sp*) – 10,4cm e Guapuruvú (*Schizolobium parahyba*) – 10cm.

5 DISCUSSÃO

Ao final das atividades de monitoramento dos parâmetros hidrossedimentológicos e o efeito que as diferentes estratégias de restauro florestal adotadas no PAF exerceram sobre estes e sobre os indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos, na propriedade Sítio do Vô Lisse, podemos discutir as potencialidades e limitações do experimento.

A observação destes parâmetros ao longo de pouco mais de um ano, datando do início da condução dos tratamentos no interior das parcelas (março de 2022) e o fim do projeto (junho de 2023), foi marcado por imprevisibilidades que não tornaram a obtenção de dados um sucesso total e por isso devem aqui constar para que tal metodologia possa ser aperfeiçoada e difundida, buscando cobrir o maior número de indicadores e de áreas de projetos do mesmo caráter.

Entre as potencialidades a serem apontadas, está o fato de que a realização de um diagnóstico dos solos pode responder muito sobre a hidrologia de uma determinada área e a forma com que a vegetação irá influenciar a dinâmica da água no solo. O levantamento das propriedades físico hídricas dos solos destinados a restauração, pode ser uma metodologia facilmente aplicada em iniciativas de PSA, visando uma melhor gestão das áreas destinadas a condução de práticas de conservação, tornando mais eficiente o emprego de insumos e recursos, uma vez que se conhece o substrato no qual a vegetação será plantada.

Este diagnóstico também pode abordar, como feito neste trabalho, indicadores que possibilitam a compreender a capacidade dos solos resistirem aos processos erosivos, reterem água e nutrientes, seu grau de compactação e porosidade (o que influencia diretamente o crescimento do sistema radicular das plantas), a sua mineralogia e distribuição textural. As limitações envolvendo as análises dos solos para seu diagnóstico, podem surgir em relação a: Ausência de espaços para condução dos ensaios; Falta de material e insumos para as análises; Falta de pessoal capacitado para coleta e análise de amostras de solo.

Em relação ao monitoramento da erosão por meio das parcelas experimentais, sua potencialidade está ligada a capacidade de estimar o total de sedimentos que estão sendo transportados pela água nas áreas de condução dos projetos, e quantificar o total de escoamento superficial, ou seja, o quanto de água não está se infiltrando no solo e está sendo conduzida superficialmente a pontos mais baixos do relevo, conseqüentemente as calhas fluviais, influenciando diretamente a característica dinâmica de drenagem de uma bacia hidrográfica.

As limitações encontradas relacionadas ao monitoramento das parcelas implantadas na propriedade Sítio do Vô Lisse se deram muito por conta de dois aspectos: O primeiro, ligado a impossibilidade de acesso à propriedade em determinados períodos, sobretudo naqueles onde os proprietários não se encontravam no imóvel, dificultando a manutenção das parcelas, uma vez que por questões logísticas, o agendamento de muitas das visitas de campo não podiam ser feitos em datas que pudessem conciliar a disponibilidade dos pesquisadores, proprietários e técnicos.

O segundo, relacionado a ausência do responsável pelas coletas diárias por longos períodos, o que ocorreu entre outubro de 2022 e início de janeiro de 2023, bem como, durante fevereiro e março de 2023. Embora tenha-se estabelecido um acordo verbal entre as partes envolvidas no projeto, envolvendo a coleta de amostras e leitura do pluviômetro em intervalo diário, a adoção de tal acordo se mostrou ineficiente.

A proposta de estabelecer esta metodologia de coleta teve dois objetivos: 1 - minimizar custos, uma vez que a ida de um pesquisador do LGA a campo se tornaria extremamente onerosa e provavelmente inviável, dada as distâncias a serem percorridas; 2 - criar vínculo entre a pesquisa e os proprietários, de certa forma este objetivo foi alcançado, uma vez que os proprietários se mostraram preocupados em compreender os resultados obtidos por essa pesquisa e interesse em compartilhá-los com a vizinhança e a secretária de meio ambiente da prefeitura municipal de Mendes. Vale ressaltar que os mesmos receberam compensação financeira pelo trabalho de monitoramento prestado.

Dentre os indicadores físicos e químicos da qualidade do solo utilizados nesta pesquisa, vale ressaltar os resultados obtidos nas análises de densidade do solo, porosidade total, estabilidade de agregados e carbono orgânico/matéria orgânica. Tais análises podem facilmente integrar as metodologias hoje empregadas na avaliação de Projetos de Restauração Florestal (PRF), sejam estes empregados em programas de PSA hídricos ou outros projetos e políticas de mesmo caráter.

Nesse sentido, vale ressaltar a importância ao fomento a pesquisas relacionadas ao monitoramento de programas PSA hídrico, sejam estas realizadas em âmbito acadêmico pelas universidades ou por meio de outras instituições públicas e privadas, uma vez que esta é uma das principais lacunas apontada na literatura, bem como, a pequena integração e interação entre os coordenadores dos diferentes projetos em vigor no Brasil, diminuindo o compartilhamento de informações e experiências.

Dentro de uma perspectiva crítica, destaco algumas perguntas que no decorrer da construção deste trabalho surgiram e que sugerem novas pesquisas para que sejam respondidas adequadamente.

1 – Qual o real impacto da restauração florestal no âmbito da sub-bacia do rio Sacra Família? A condução das práticas de conservação e restauro florestal conduzidas nas propriedades contempladas pelo PAF são suficientes para garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos e o equilíbrio do meio ambiente a nível da bacia hidrográfica?

2 – O abatimento da erosão de fato ocorreu na sub-bacia do rio Sacra Família de acordo com o restauro florestal proposto? Houve alteração na qualidade da água dos mananciais e rios próximos as propriedades contempladas? A vazão, taxa de sedimentos suspensos e a própria dinâmica hidráulica do rio Sacra Família sofreram influência?

Para responder algumas destas perguntas, novas pesquisas em diferentes pontos do curso da sub-bacia do rio Sacra Família devem ser conduzidas, associando dados do monitoramento hidroerosivo, que podem ser obtidos através de um “*upgrade*” da metodologia aqui apresentada, a partir da automatização e mobilidade da estação experimental, inegavelmente esta tarefa demandara uma profunda revisão bibliográfica afim de estabelecer o melhor caminho para tal.

Há também a possibilidade da aplicação de metodologias que complementem ou respondam parcialmente os questionamentos aqui abordados. Métodos que empreguem a utilização de ferramentas como os VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) aplicando o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para monitoramento da consolidação do restauro florestal, associados a modelagem hidráulica-hidrológica por meio de softwares como o HEC–HMS e HEC–RAS, os quais têm sido amplamente empregados em estudos de disponibilidade hídrica, desta forma, concedendo uma gama de dados cada vez maior e precisos, o quais podem ser apropriados afim de se transformar em subsídios para uma gestão mais efetiva dos recursos da área monitorada.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados aqui apresentados, pode-se considerar que o trabalho conseguiu atingir o principal objetivo estabelecido, que consistiu em realizar a avaliação de indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos e parâmetros hidrossedimentológicos no âmbito do projeto: Produtores de Água e Floresta (PAF) - sub-bacia do rio Sacra Família (RJ).

Embora algumas lacunas tenham ocorrido durante a fase do monitoramento hidrossedimentológico, a condução da coleta de amostras de solos e a análise laboratorial deste material possibilitaram a realização de um comparativo das diferentes estratégias de restauro florestal um ano após o início do processo. A avaliação forneceu informações valiosas dos diferentes efeitos proporcionados pelo restauro florestal sobre os indicadores físicos e químicos dos solos, destacando-se os pontos:

1 – A presença de vegetação garantiu que as taxas de perda de solo fossem efetivamente menores do que em solos totalmente expostos.

2 – Os impactos provocados pela introdução das práticas de restauro florestal envolvendo o plantio total e plantio total + adubação verde em um primeiro momento de monitoramento, são notados pelo acréscimo da erosão e do escoamento superficial comparado aos valores observados na vegetação em pousio.

3 – Os valores referentes a umidade do solo observados pelo potencial matricial monitorado pelos sensores GMS, indicou que o solo exposto possui menor capacidade de retenção hídrica enquanto que o solo coberto por vegetação.

O escoamento superficial não necessariamente acompanha a redução da perda de solo, uma vez que os solos de regiões tropicais podem se encontrar saturados por boa parte do ano, principalmente aqueles com maior potencial de retenção hídrica, assim, a umidade antecedente tem um papel chave no desenvolvimento do escoamento em áreas reflorestadas, porém, as partículas mais finas antes transportadas passam a serem retidas pelo substrato vegetal em crescimento.

Em contrapartida, percebeu-se um aumento das taxas de perda de solo já nos primeiros meses de implementação das estratégias adotadas pelo PAF, comparando as parcelas que receberam o plantio total e a parcela que se manteve em pousio, no qual aquelas que tiveram algum tipo de manutenção envolvendo coroamento e coveamento apresentaram maiores taxas de perda de solo, sendo este um forte indicador de que o manejo do solo e a intensidade que o mesmo é utilizado pode ser determinante no desencadeamento de processos erosivos.

Em relação a análise do efeito do restauro florestal sob os indicadores físicos e químicos da qualidade do solo, vale ressaltar que esta demanda certo tempo, até que seja possível apontar a real influência sobre as propriedades dos solos, sobretudo aquelas de caráter “perene” e sobre os parâmetros hidrossedimentológicos. Entretanto, passados um ano do início do restauro florestal, a partir das novas análises realizadas foi possível constatar o aumento da cobertura vegetal em uma área com longo histórico de solos mal manejados e de pastagens degradadas, propiciando o aumento de matéria orgânica, conseqüentemente alteração no grau de coesão dos agregados do solo e em sua coloração, bem como o aumento do diâmetro dos agregados na profundidade de 10-20cm, a diminuição da densidade do solo e o aumento da porosidade total.

Embora tenha se observado o aumento do DMP e DMG sobretudo na profundidade 10-20cm, houve uma considerável diminuição do índice de estabilidade dos agregados (IEA), assim como diferença estatística nos valores obtidos para este indicador, tanto em (T0) quanto em (T1). Trabalhos como os de (Portugal *et al.*, 2010; Rangel *et al.*, 2011; Wendling *et al.*, 2012; Santos, *et al.*, 2016), apresentam resultados de IEA com valores em torno de 80% e 90%, semelhantes aos apresentados nesta pesquisa.

A média dos valores de IEA observados em (T0) são também próximos com aqueles apresentados no trabalho de Freitas (2020), onde a média superou os 90% para pastagens consideradas em boas condições visuais sobre Argissolos na microbacia do Ribeirão José Pereira em Itajubá – MG. Rangel & Guerra (2017) encontraram para as profundidades de 0-10cm e 10-20cm em áreas de pasto respectivos valores de IEA 93,07% e 89,04%, já estes em Cambissolo Háptico na Bacia do Córrego dos Micos em Paraty – RJ. O trabalho de Salton (2008), embora tenha utilizado a equação $DMPu/DMPs$ para determinação do IEA, também encontrou uma média superior a 90% para áreas de pastagens permanentes na cidade de Dourados – MS.

Em (T0) a diferença estatística pode ser associada diretamente a distribuição espacial dos pontos de amostragem, uma vez que o uso do solo no momento em que as amostras foram coletadas era caracterizado pela predominância de gramíneas constituindo uma pastagem sem qualquer tipo de uso naquele dado momento. Em (T1) a diferença espacial dos pontos de coleta, assim como a mudança do uso-cobertura do solo mantiveram as diferenças estáticas, destacando, porém, que a diferença mínima significativa (dms) em superfície aumentou de 6,90% para 10,20%.

A diminuição da densidade e aumento da porosidade, estabelecem relação direta com o aumento de cobertura vegetal, o crescimento do sistema radicular das plantas nos primeiros

centímetros do solo propicia uma melhor circulação de ar e água maior presença de raízes, a introdução de matéria orgânica oriunda dos plantios realizados principalmente na área entre as parcelas 1 e 2. Embora seja importante destacar que o aumento da diversidade de espécies vegetais em um primeiro momento não indicou aumento da matéria orgânica presente no solo, mas sim um decréscimo desta em todas as parcelas analisadas, principalmente na Parcela 4 a qual teve sua cobertura vegetal totalmente removida por quase todo período do experimento.

Vale destacar também que o processo sucessional das espécies durante o início do restauro florestal teve grande importância para a consolidação das estratégias adotadas. Como foi observado que as pioneiras desempenharam um importante papel nos estágios iniciais, conforme tiveram vantagem em seu crescimento, diminuindo a exposição do solo ao impacto direto das gotas de chuva assim como a incidência de energia luminosa em uma determinada área por meio do aumento da cobertura de copa, favorecendo o crescimento de espécies mais sensíveis a condições de exposição contínua aos raios solares.

Pesquisas futuras relacionadas a esta temática podem estabelecer passos que visem tornar a avaliação dos indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos e o monitoramento hidroerosivo etapas para valoração de propriedades contempladas por iniciativas de PSAs. Em relação as estratégias adotadas pelo PAF, pode-se considerar que os resultados são satisfatórios, sobretudo aqueles sobre os indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos, uma vez que houve alterações notáveis sobre o teor de matéria orgânica e a estrutura do substrato pedológico. Estes dados serão disponibilizados à Crescente Fértil para que um relatório seja confeccionado em conjunto da avaliação feita a partir da “Calculadora da Restauração Florestal”.

Por fim, a sugestão para tornar o monitoramento dos parâmetros hidrossedimentológicos mais efetivo recai sobre a metodologia que prevê a automatização do experimento, tal como aplicada em (Portocarrero, 2017), de forma que mais áreas contempladas por PSAs hídricas que adotam a restauração florestal possam ser monitoradas, com redução efetiva dos gastos relacionados a diárias de trabalho de campo e de recurso humano nas atividades de campo.

Espera-se que as respostas obtidas aqui acerca do efeito das práticas de restauro florestal adotadas pela Crescente Fértil sobre os indicadores físicos e químicos da qualidade do solo e sobre a dinâmica dos parâmetros hidrossedimentológicos da área de estudo, sejam um caminho para o aprimoramento das políticas que envolvem a compensação daqueles que provêm serviços ambientais em áreas prioritárias para conservação, tornando cada vez mais

representativo o inerente valor dessas atividades, visando a sustentabilidade e a gestão dos recursos naturais no âmbito das bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial. 4a edição. 2007.
- AGEVAP. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes**. 2014.
- ANACHE, J.A.A., WENDLAND, E.C., OLIVEIRA, P.T.S., FLANAGAN, D.C., NEARING, M.A. *Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: a meta-analysis of the Brazilian experience*. Catena 152, 29–39, 2017.
- ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de. **Prevenção do avanço da degradação e recuperação de terras degradadas**. In: VILELA, G. F.; BENTES, M. P. de M.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. (Ed.). *Vida terrestre: contribuições da Embrapa*. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13.600 – Determinação do Teor de Matéria Orgânica por Queima a 440 Graus Celsius**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1996.
- BARTLEY, R.; POESEN, J.; WILKINSON, S.; VANMAERCKE, M. *A review of the magnitude and response times for sediment yield reductions following the rehabilitation of gullied landscapes*. *Earth Surface Process and Landforms*, 45, 2020.
- BATISTA, D. C. L.; VIEIRA, A. F. S. G.; MARINHO, R.R. **Uso do "Google Earth Pro" no Mapeamento de Voçorocas na área urbana de Manaus (AM)**. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 10, n. 20, 2019.
- BECKER, B. K. **Amazônia: nova geografia, nova política regional e nova escala de ação**. In: COY, M.; KOHLHEPP, G. (Coords.). *Amazônia Sustentável: Desenvolvimento Sustentável entre Políticas Públicas, Estratégias Inovadoras e Experiências Locais*. Rio de Janeiro: Editora Garamond, 2005.
- BECKER, B. K. **Significado geopolítico da Amazônia: elementos para uma estratégia**. In: VIEIRA, Ima C. G. (ORG.). *As Amazônia de Bertha K. Becker: ensaios sobre geografia e sociedade na região amazônica*. Vol 3. 1a edição. Rio de Janeiro: Garamond. 2015. p. 411 – 432.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Icone, 2012.
- BERTONI, J. **Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão**. Bragantina, Campinas – São Paulo, 1949.
- BITAR, O.Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na RMSP**. São Paulo, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**: Nyle C. Brady, Ray R. Weil; tradução de Igo Fernando Lepsch. 3a edição. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

BRASIL. Decreto Nº 97.632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Portal da Legislação: Leis ordinárias. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em Abr/2023.

_____. LEI Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Portal da Legislação: Leis ordinárias. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em Abr/2023.

_____. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: Jun/2021.

_____. LEI Nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Portal da Legislação: Leis ordinárias. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em Abr/2023.

_____. LEI Nº 14.119 DE 13 DE JANEIRO DE 2021 Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>> Acesso em: Ago/2021.

BRIZZI, R. R. **Avaliação Da Influência Do Manejo Agrícola No Uso E Cobertura Das Terras Através De Ferramentas De Geoprocessamento E Indicadores De Qualidade Dos Solos Na Bacia Hidrográfica Do Córrego Da Caçada - Paraty/RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

BRIZZI, R. R.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. **Relação entre a Infiltração da Água nos Solos e a Estabilidade dos Agregados em Sistemas de Manejos Diferentes na Bacia Hidrográfica do Rio São Romão - Nova Friburgo/RJ**. Caminhos da Geografia (UFU. Online), v. 19, 2018.

BRIZZI, R.R; PORTOCARRERO, H.; SOUZA, A.P; COSTA, A. J. S. T; RANGEL, L. A. **Avaliação Macro e Microestrutural de Solos Sob Diferentes Usos a Partir de Análises Físicas, Microscopia Eletrônica e Espectroscopia por Energia Dispersiva**. Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, v.46, 2019.

CAMPELLO, M. M. C.. **A Questão Ambiental e a Nova Geopolítica das Nações: Impactos e Pressões sobre a Amazônia Brasileira**. Espaço Aberto, v. 3, p. 123-140, 2013.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S. da; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. de A. **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990.

CARRETTA, L.; TAROLLI, P.; CARDINALI, A.; NASTA, P.; ROMANO, N.; MASIN, R. **Evaluation of runoff and soil erosion under conventional tillage and no-till management: A case study in northeast Italy.** Catena, 197, 2021.

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D. R. **Field capacity and available water capacity.** In: KLUTE, A. (Ed). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986.

CASSETI, V. **Fisiologia da Paisagem.** In: CASSETI, V. Geomorfologia. 2007.

CASTRO, B.S.; YOUNG, C.E.F. **Coordination issues in the implementation of a National Policy of Payments for Ecosystem Services in Brazil.** In: *3rd International Conference on Public Policy*, 3., 2017, Cingapura Anais. Cingapura, 2017.

CHAVES, T. de A.; ANDRADE, A. de G.; LIMA, J. A. de S.; PORTOCARRERO, H. **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural.** Niterói - RJ: Programa Rio Rural, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução à Geomorfologia** In: CHRISTOFOLETTI, A. (Org). Geomorfologia. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1980.

COELHO, N. R.; GOMES, A. da S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R.B. **Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental. 2021.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia.** In: Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos. (Orgs). A.J.T. Guerra e S.B. Cunha. Ed. Bertrand Brasil, 15a edição, 2021.

COMITÊ-GUANDU. **Resolução nº 143 de 09 de setembro de 2019.** Dispõe, ad referendum, sobre a aprovação da atualização da metodologia de valoração do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais – PRO-PSA na Região Hidrográfica II do Guandu – RH II. 2019. Disponível em: <<https://www.comiteguandu.org.br/resolucoes/2019/resolucao-143.pdf>> Acesso em: abr/2023.

CONCEIÇÃO, A. A. B. **O Café no Vale do Paraíba: Origem e Decadência.** III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Universidade de Taubaté - Taubaté - SP. 2014.

COSTA, J. P. O. **O Caminho do Ouro em Paraty e sua paisagem.** Paraty, Comitê Executivo pró-Unesco. 2008.

CPRM. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Engenheiro Paulo de Frontin - RJ.** 2015a. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15067>> Acesso em: set/2022.

CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Mendes - RJ. 2015b. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15075>> Acesso em: set/2022.

CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: Vassouras, RJ. 2017. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18017>> Acesso em: set/2022.

CPRM. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. (Orgs.) HEILBRON, M. EIRADO, L.G; ALMEIDA, J. Belo Horizonte - MG, 2016.

CRESCENTE FÉRTIL. Manual de Orientação ao Proponente para Participação no Projeto Produtores de Água e Floresta. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2019.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 7 - Relatório do evento de mobilização do PSA. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2019a.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 8 - Relatório de análise documental das propriedades inscritas. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2019b.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 9 - Visita técnica às propriedades habilitadas. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2019c.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 10 - Relatório de propriedades hierarquizadas. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2019d.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 12 - Elaboração do Plano Individual da Propriedade. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2020.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 13 - Documento consolidado das áreas contempladas. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2020.

CRESCENTE FÉRTIL. PRODUTO 18 - Relatório anual do monitoramento dos serviços ambientais. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2021

CRESCENTE FÉRTIL. Relatório de valoração das propriedades de Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes e Vassouras do PSA/2021 do PAF Sacra Família. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2022.

CRESCENTE FÉRTIL. Relatório de valoração das propriedades de Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes e Vassouras do PSA/2022 do PAF Sacra Família. Agulhas Negras - Resende – RJ. 2023.

CUNHA, J. C. da. Retenção hídrica da serrapilheira como indicador para avaliar o desempenho de projetos de restauração florestal em PSA hídrico. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA). Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

DANTAS, M. E; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. M; SILVA, C. R.; PIMENTEL, J.;

LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S.B. **Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

DEBORTOLLI, C.; DALBOSCO, L.; OPPELT, D., RUIZ, W. A., PEDROSO, R. B.; JENSEN, L. A. **Tutorial excel para parametrização de curvas analíticas**. *Vetor-*. Revista de Ciências Exatas e Engenharias, v. 29, n. 1-2, p. 52-68, 2019.

DE PLOEY, J.; POESEN, J. **Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion**. In: RICHARDS K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (org.). *Geomorphology and soils* [S.l.], [s.n.], 1985.

EIRADO, L. G. S.; DANTAS, M. E; COELHO NETTO, A.L. **Condicionantes litoestruturais na formação de níveis de base locais ("knickpoints") e implicações geomorfológicas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul**. In: III Simpósio de Geologia do Sudeste - Rio de Janeiro/RJ - Atas, P. 96-102,1993.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1997.

FAO. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Rome, Italy, 2015.

FAO. **A importância da conservação dos solos para a produção de alimentos no mundo**. Brasília, 2018.

FIDALGO, E.C.C; PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.D.; SCHULER, A.E. **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. 1ª ed. Editoras técnicas. – Brasília, DF. Embrapa, 2017.

FORNASARI FILHO, N.; AMARANTES, A. **Relação entre os conceitos de degradação, restauração, recuperação e reabilitação com base em ABNT, 1989**. In: BITAR, O. Y. et al. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. Publicação ABGE/ IPT, série Meio Ambiente, 1995.

FREITAS, I. C. de. **Agregação de solo em pastagens sob diferentes índices de qualidade e sua influência na infiltração de água**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá. 2020.

GANTZER, C. J.; ANDERSON, S. H.; Miles, R. J. **The centennial of the first erosion plots**. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(3), 57A-59A. 2018.

GARRITANO, F. N; LOUREIRO, H. A. S; GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; PEREIRA, L. dos S.; GARRITANO, F. N. **Diagnóstico da degradação dos solos em voçorocas no alto curso do rio Piraí - RJ**. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2019.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; de GROOT, R.; LOMAS, P.; MONTES, C. **The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes**. *Ecological Economics*, 69, 2010.

GUERRA, A. J. T. **O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos**. Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 13, 1990.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e conservação de solos*. 7a edição. Rio de Janeiro: Bertrand, 2012.

GUERRA, A. J. T. **Processos Erosivos nas Encostas**. In: **Geomorfologia - Uma Atualização de Bases e Conceitos**. (Orgs). A.J.T. Guerra e S.B. Cunha. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 15a edição, 2021.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, p. 93-114, 1996.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.; RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. S.; GARRITANO, F. N. **Soil Erosion, Different Approaches and Techniques Applied to Gullies and Trail Erosion**. William Morris Davis - Revista de Geomorfologia, 2020.

GUESRI, Mourad. **Influence de la variabilité climatique sur la production des sédiments**. 2021.

GURSKI, B.; GONZAGA, R.; TENDOLINI, P. **Conferência de Estocolmo: Um Marco na Questão Ambiental**. Administração de Empresas em Revista, v. 1, n. 7, p. 65-79, 2012.

HEILBRON, M.; MOHRIAK, W. ; VALERIANO, C. ; MILANI, E. ; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M. **From Collision To Extension: The Roots Of The Southeastern Continental Margin Of Brazil**. In: Webster Mohriak; Manik Talwani. (Org.). *Geology and Geophysics of Continental Margins, Special Number of International Geophysical Association*, 2000.

HEILBRON, M.; PEDROSA SOARES, A.C.; NETO, M.C.C.; SILVA, L.C.; TROW, R.A.J.; JANASI, V.A. **A Província Mantiqueira**. In: Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Editora Beca, São Paulo-SP. Cap. XIII, 2004.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Academic Press, New York. 2004.

HILLEL, D.; HATFIELD, J. L. **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Amsterdam: Elsevier, 2005.

IBAMA. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília. Ibama. 1990.

IBGE. Substituição da base de dados da Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias. **Divisão Regional do Brasil**. 2017

IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, **Estimativas da população residente**, 2021.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente (Rio de Janeiro). **Manual de procedimentos para o monitoramento e avaliação de áreas em restauração florestal no Estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. Rio de Janeiro: INEA, 2019. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp->

[content/uploads/2019/05/Manual-Monitoramento-%C3%81reas-Reflorestadas_WEB.pdf](#)>. Acesso em: out/2022.

INEA. **Resolução INEA n° 143 de 14 de junho de 2017**. Institui o sistema estadual de monitoramento e avaliação da restauração florestal (SEMAR) e estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre elaboração, execução e monitoramento de projetos de restauração florestal no estado do Rio de Janeiro. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. (2017). Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-INEA-N%C2%BA-143.pdf>>. Acesso em: out/2022

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. 2021.

JARDIM, H. L.; FERNANDES, N. F.; SOUZA, A. P. de. **Perda de solo em parcelas deerosão, sob diferentes culturas e técnicas de manejo e a análise de estratégias de conservação**. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (orgs.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017.

KIRKHAM, M. B. *Principles of soil and plant water relations*. London: Elsevier, 2005.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LAGO, A. A. C. do. **Conferências de desenvolvimento sustentável**. Brasília: FUNAG, 2013. p.202.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEPSCH, I. F. **Degradação e Conservação dos Solos**. In: LEPSCH, I. (Org). 19 lições de pedologia. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2011.

LIMA, A. P. M. **Distribuição espacial dos processos de voçorocamento no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ**. Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2019.

LIMA, P. A; GUERRA, A. J. T. **Degradação do Solo em Municípios do Sul do Estado de Mato Grosso do Sul Decorrente da Implantação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados – CAND**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Vol. 42 – 1, 2019,

LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; **Monitoramento da Erosão Hídrica no Brasil: dos Métodos Manuais aos Digitais**. In: Júnior, O. A. C. Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira. 2022

LOU, Y.; GAO, Z.; SUN, G.; WU, T.; ZHOU, F.; AI, J.; CEN, Y.; XIE, J. *Runoff scouring experimental study of rill erosion of spoil tips*. CATENA, Volume 214, 2022.

MANSO, A. D.; BACELAR, C. G., PORTOCARRERO, H.; ANDRADE, A. G. **Monitoramento do Escoamento Superficial em um Programa de Pagamento por Serviços Ambientais Hídrico**. Congresso Latino Americano de Hidráulica, Foz do Iguaçu – Curitiba. 2022.

MAP BIOMAS. Relatório **Anual do Desmatamento no Brasil 2020** - São Paulo, Brasil - Map Biomas, 2021.

MATTHES, L.A.F.; MARTINS, F.R. **Conceitos em Sucessão Ecológica**. Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais. Campinas - São Paulo, v.2, n.2. 1996.

MEURER, E. J.. **Fundamentos de Química do Solo**. 6. ed. Porto Alegre – RS. 2017.

MORGAN, R. P. C. *Soil degradation and erosion as a result of agricultural practice. Geomorphology an Soils*. 1984.

MORGAN, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation*. 3 ed. England: Blackwell, Oxford, 2005.

NEPOMUCENO, A. N.; NACHORNIK, V. L. **Estudos e técnicas de recuperação de áreas degradadas**. Curitiba: Intersaberes, 2015.

NEVES, S.; GUERRA, A. J. T.; NUNES, G. F. R. **A erodibilidade dos solos no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty, RJ)**. In: Territórios Brasileiros: Dinâmicas, Potencialidades e Vulnerabilidades, 16., 2015, Teresina, Piauí: v. 16, 2015.

ONU, **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: O Valor da Água**. Unesco, FAO e Rede Brasil do Pacto Global. 2021.

PAZ Y.; SILVA, J.; HOLANDA, R.; GALVÍNCIO, J. **Avaliação espacial da produção de sedimentos e estratégias para redução dos processos erosivos em bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil**. Derbyana, 2022.

PEREIRA C.; SOBRINHO, T. A. **Cenário mundial dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSAS) para conservação hídrica**. *Ambiência*, 13. 2017.

PEREIRA, M. P. S; FRANCELINO, M. R.; QUEIROZ, J. M. **A cobertura florestal em paisagens do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. *Floresta e Ambiente*, v. 24, 2017.

PILLANS, B.; GIBBARD, P. *The Quaternary Period*. In: GRADSTEIN, F. M.; OGG, J. SCHMITZ, M.; OGG, G. (Eds). *The Geologic Time Scale*, Elsevier B.V., 2012.

PORTOCARRERO, Hugo. **Avaliação do Efeito de Técnicas de Bioengenharia em Parâmetros Hidrossedimentológicos Utilizando Instrumentação Automatizada**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, 2009.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C.E.R.G.; NEVES, J.C. de L. **Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata**. *Revista Ceres*, v. 57, p. 545-553, 2010.

Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos no Brasil (PRONASOLOS). **Solos do Brasil – 1:250.000**. Embrapa Solos. 2016. Disponível em: <<https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

RANGEL, L.D.A.; DONAGEMMA, G.K.; MACEDO, J.R.; PRADO, R.; SCHULER, A. **Estabilidade de agregados em solos sob pastejo rotacionado em São José de Ubá-RJ**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33., 2011.

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T. **Qualidade física de um cambissolo háplico sob diferentes usos na bacia do córrego dos micos, Paraty (RJ)**. Boletim Goiano de Geografia, v. 37, n. 1, p. 91-105, 2017.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Santana de Parnaíba - SP: Editora Manole, 2022.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, 1997.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM**. 2006.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R., LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. **Compactação do solo: causas e efeitos**. Seminário: Ciências Agrárias, 26(3), 2005.

RODRIGUES, R. P. **Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

RODRIGUES, R.R.; LIMA, R.A.F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. **On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest**. *Biological Conservation*, v.142, n.6, p.1242-1255, 2009.

SALTON, J. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia, 2008.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**. 4a edição. São Paulo: Edusp. 2006.

SANTOS, J. A. G. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Cruz das Almas, Bahia: UFRB, 2017.

SOS Mata Atlântica. **Observando os Rios: O Retrato da Qualidade da Água nas Bacias Hidrográficas da Mata Atlântica**. 2021.

SOANE, B.D. **Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it**. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. Land clearing and development in the tropics. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986.

SANTOS, R.C.; GUERRA, A.J.T.; NUNES, G.F.R. **Avaliação da erodibilidade dos solos em encostas na zona de amortecimento do parque nacional da serra da bocaina: estudo**

de caso na bacia hidrográfica do rio pequeno, Paraty–RJ. IV Seminário de Pós-Graduação em Geografia. Juiz de Fora – MG, 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SERVIDONI, L. E.; AYER, J. E. B.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. **Erosão Hídrica na Sustentabilidade Agrícola dos Solos do Sul de Minas Gerais.** In: HAYASHI, Carmino (ed.). Ciências Ambientais: Diagnósticos Ambientais. Ribeirão Preto: Câmara Brasileira do Livro, p. 23-40. 2020.

SILVA, A. A. **Panorama da aplicação de práticas de conservação de solo e água nos programas de Pagamento por Serviços Ambientais hídricos do Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. 2018.

SILVA, A. S. **Análise Morfológica dos Solos e Erosão.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. 8ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

SILVA, A. S.; SILVA, I. D. F. D.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. D. O.; SILVA NETO, L. D. F. D. **Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo.** Ciência rural, 44, 1783-1789. 2014.

SILVA, L. C. da; CUNHA, H. C. S. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM. 2a edição revista em 2001.

SILVA, P. J. **A análise geográfica do risco da população residente às margens do Rio Piraí: um diálogo entre fragilidade e vulnerabilidade.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, L. J. R. ; LAURINDO, L. K.; KORMANN, S.; LUCENA, E. O.; SILVA, S. I. A.; AUGUSTO, T. **Ciclagem de nutrientes, dinâmica da matéria orgânica, manutenção da estrutura do solo e sua influência na produção primária líquida.** In: O agronegócio da Pera asiática no Sul do Brasil, 2020.

SILVA, K. de A., Martins, S. V., MIRANDA NETO, A.; DEMOLINARI, R. de A.; LOPES, A. T. **Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas.** Floresta e Ambiente, 23 - Floresta Ambiente, 2016.

SOUZA, R. A. ; SILVA, S. E. L. ; PAIXAO, R. W. ; Freitas, M. M. . **A Ocorrência dos Knickpoints e sua Relação com a Litoestrutura do Substrato Geológico na Evolução da Rede de Drenagem no Médio Vale do Paraíba do Sul.** In: Archimedez Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed. Campinas: Instituto de Geociências da UNICAMP, 2018.

TEIXEIRA, G. M.; SANTOS, C. L.; FILHO, D. T.; ANTUNES, J. C. O. **Serviços Ambientais e Gestão dos Recursos Hídricos: a experiência em Rio Claro (RJ)**. Revista Ineana Especial, Rio de Janeiro: INEA, 2019.

TEIXEIRA, W.G. (Eds.) **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3a edição. Brasília: Embrapa, 2017.

USDA–ARS. *Science documentation: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2*. USDA–ARS, Washington, DC, 2013.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. D.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. **Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto**. Biosci. j.(Online), 2012.

WILLIAMS, J.R. *Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor, present and prospective technology for predicting sediment yield and sources*. ARS-S-40. Brooksville, FL: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244-252, 1975.

WISCHMEIER, W. H. *A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation 1*. Soil Science Society of America Journal, 23(3), 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. Eos, Transactions American Geophysical Union, 39(2), 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses in the Eastern US—a guide to conservation planning*. Agricultural Handbook, (282), 1965.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning*. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning, 1978.

WUNDER, S. *Revisiting the concept of payments for environmental services*. *Ecological Economics*, 117, 234–243, 2015

WUNDER, S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. *Taking Stock: A Comparative Analysis of Payments for Environmental Services Programs in Developed and Developing Countries*. *Ecological economics*, v. 65, n. 4, p. 834-852, 2008.

APÊNDICE A Planilha de resultado dos indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos (T0).

Parcela	Terço	Profundidade (cm)	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)	Dp (cm ³)	Ds (cm ³)	Porosidade (%)	MO (g/kg ⁻¹)	MO (%)	Classe Textural
1	Superior	0-10	3,13	2,89	91,29	2,75	1,63	40,69			Argilosa
		10-20	1,92	1,55	77,74	2,70	1,66	38,24			Argilosa
	Médio	0-10	2,54	2,15	83,87	2,71	1,63	39,59	20,86	7,30	Argilo-arenosa
		10-20	2,45	2,08	85,26	2,74	1,66	39,34	17,37	6,27	Argilo-arenosa
	Inferior	0-10	2,47	2,10	81,46	2,77	1,62	41,37			Argilosa
		10-20	2,59	2,22	87,48	2,70	1,71	36,69			Argilosa
2	Superior	0-10	2,79	2,48	88,96	2,65	1,62	38,83			Franco argilo-arenosa
		10-20	2,65	2,33	86,93	2,67	1,73	34,88			Franco argilo-arenosa
	Médio	0-10	2,49	2,02	80,63	2,65	1,65	37,69	23,11	7,82	Argilo-arenosa
		10-20	2,81	2,50	88,70	2,68	1,54	42,32	21,56	7,31	Argilo-arenosa
	Inferior	0-10	2,48	2,49	88,64	2,62	1,59	39,29			Argilo-arenosa
		10-20	2,52	2,15	81,79	2,66	1,68	36,78			Franco argilo-arenosa
3	Superior	0-10	2,19	1,84	73,63	2,63	1,59	39,52			Argilo-arenosa
		10-20	2,17	1,78	75,83	2,62	1,64	37,36			Argilosa
	Médio	0-10	2,49	2,17	76,89	2,67	1,63	38,91	19,62	8,62	Argilosa
		10-20	2,16	1,84	71,36	2,65	1,62	38,83	13,57	8,64	Argilosa
	Inferior	0-10	2,48	2,13	84,05	2,69	1,63	39,36			Argilo-arenosa
		10-20	2,39	2,03	83,84	2,63	1,64	37,60			Argilo-arenosa
4	Superior	0-10	2,83	2,55	88,38	2,66	1,69	36,40			Argilosa
		10-20	2,39	2,02	83,59	2,67	1,67	37,40			Argilosa
	Médio	0-10	2,22	2,11	84,56	2,64	1,69	35,92	16,13	7,64	Argilosa
		10-20	2,22	1,85	84,04	2,68	1,63	39,14	12,56	8,27	Argilosa
	Inferior	0-10	2,31	1,95	84,54	2,77	1,64	40,75			Argilosa
		10-20	1,96	1,64	81,48	2,68	1,64	38,76			Argilosa

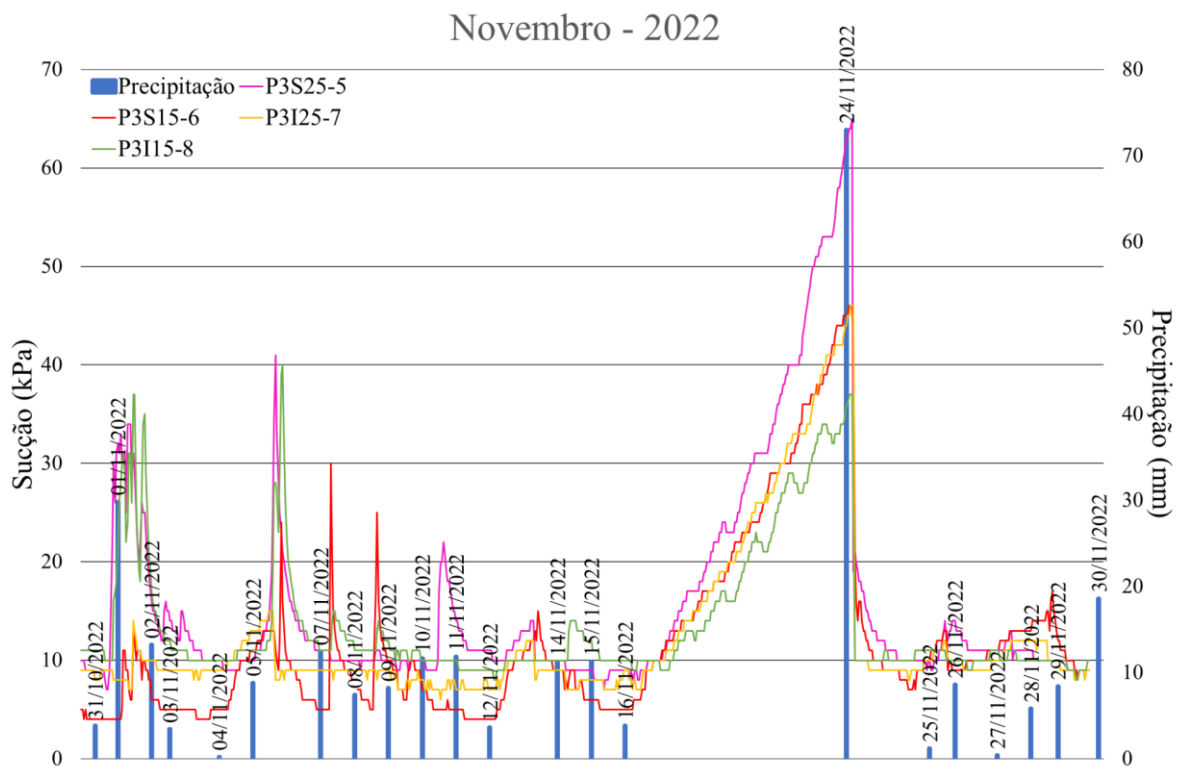
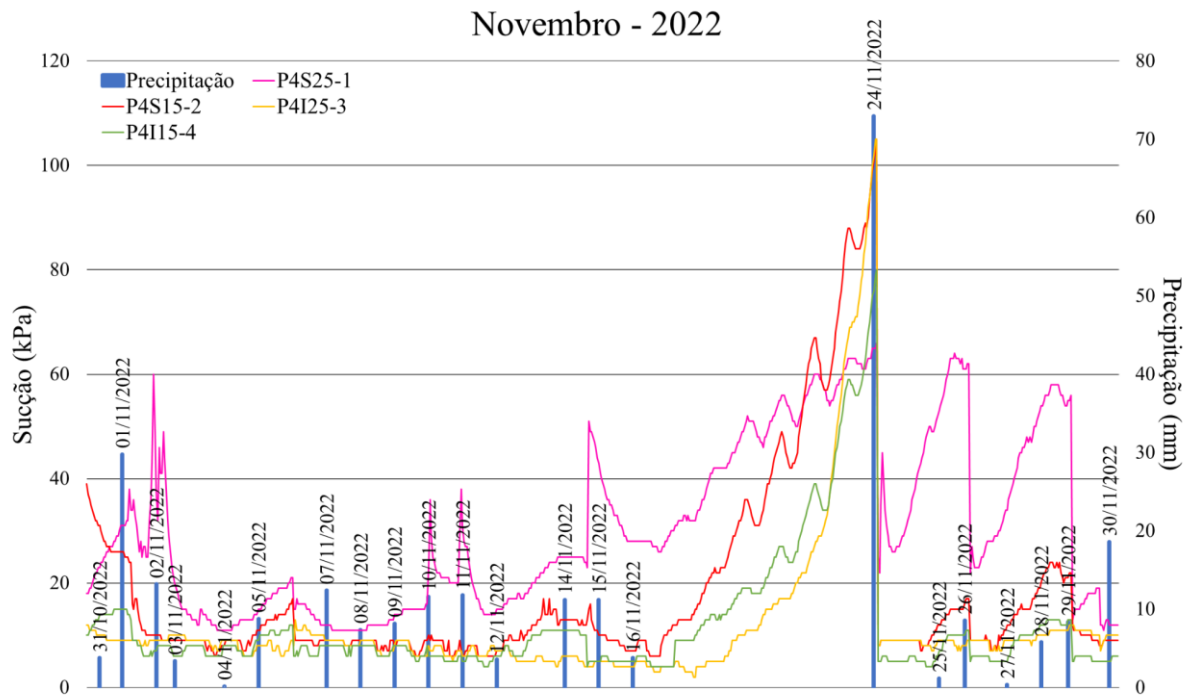
Fonte: Manso, 2023.

APÊNDICE B Planilha de resultado dos indicadores físicos e químicos da qualidade dos solos (T1).

Parcela	Terço	Profundidade (cm)	DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)	Dp (cm ³)	Ds (cm ³)	Porosidade (%)	MO (g/kg ⁻¹ .)	MO (%.)	Classe Textural
1	Superior	0-10	1,99	1,81	48,17	2,75	1,54	44,00			Argilosa
		10-20	2,49	2,17	67,27	2,70	1,44	46,46			Argilosa
	Médio	0-10	2,49	2,19	61,74	2,71	1,50	44,44	10,85	7,05	Argilo-arenosa
		10-20	2,73	2,46	71,49	2,74	1,53	44,14	7,37	7,95	Argilo-arenosa
	Inferior	0-10	2,40	2,06	64,26	2,77	1,44	47,92			Argilosa
		10-20	2,66	2,36	67,90	2,70	1,48	45,26			Argilosa
2	Superior	0-10	2,70	2,42	66,29	2,65	1,54	41,88			Franco argilo-arenosa
		10-20	2,74	2,46	71,51	2,67	1,52	42,85			Franco argilo-arenosa
	Médio	0-10	2,35	2,01	56,34	2,65	1,48	44,15	10,80	7,73	Argilo-arenosa
		10-20	2,80	2,55	69,69	2,68	1,46	45,31	5,53	5,67	Argilo-arenosa
	Inferior	0-10	2,52	2,22	64,79	2,62	1,50	42,74			Argilo-arenosa
		10-20	2,91	2,70	74,08	2,66	1,49	43,98			Franco argilo-arenosa
3	Superior	0-10	2,89	2,66	71,34	2,63	1,52	42,20			Argilo-arenosa
		10-20	2,85	2,61	70,55	2,62	1,47	43,89			Argilosa
	Médio	0-10	2,50	2,17	63,11	2,67	1,50	43,82	11,07	7,20	Argilosa
		10-20	2,70	2,46	64,80	2,65	1,53	42,26	6,21	7,45	Argilosa
	Inferior	0-10	2,55	2,21	67,87	2,69	1,51	43,86			Argilo-arenosa
		10-20	2,56	2,31	63,37	2,63	1,49	43,34			Argilo-arenosa
4	Superior	0-10	2,91	2,67	79,43	2,66	1,65	37,96			Argilosa
		10-20	2,43	2,09	67,12	2,67	1,67	37,45			Argilosa
	Médio	0-10	2,52	2,19	65,22	2,64	1,58	40,15	6,75	6,84	Argilosa
		10-20	2,38	2,08	61,07	2,68	1,58	41,04	5,53	7,38	Argilosa
	Inferior	0-10	2,41	2,03	78,35	2,77	1,56	43,68			Argilosa
		10-20	2,30	1,94	72,19	2,68	1,60	40,29			Argilosa

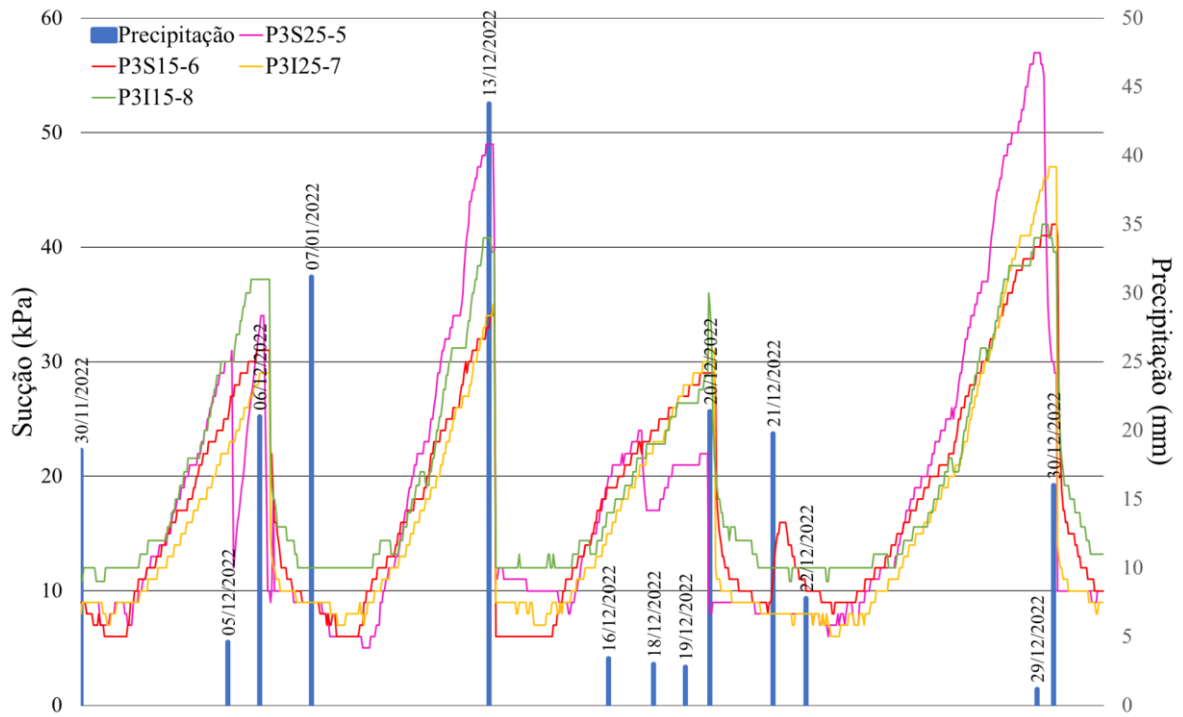
Fonte: Manso, 2023.

APÊNDICE G – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (novembro).

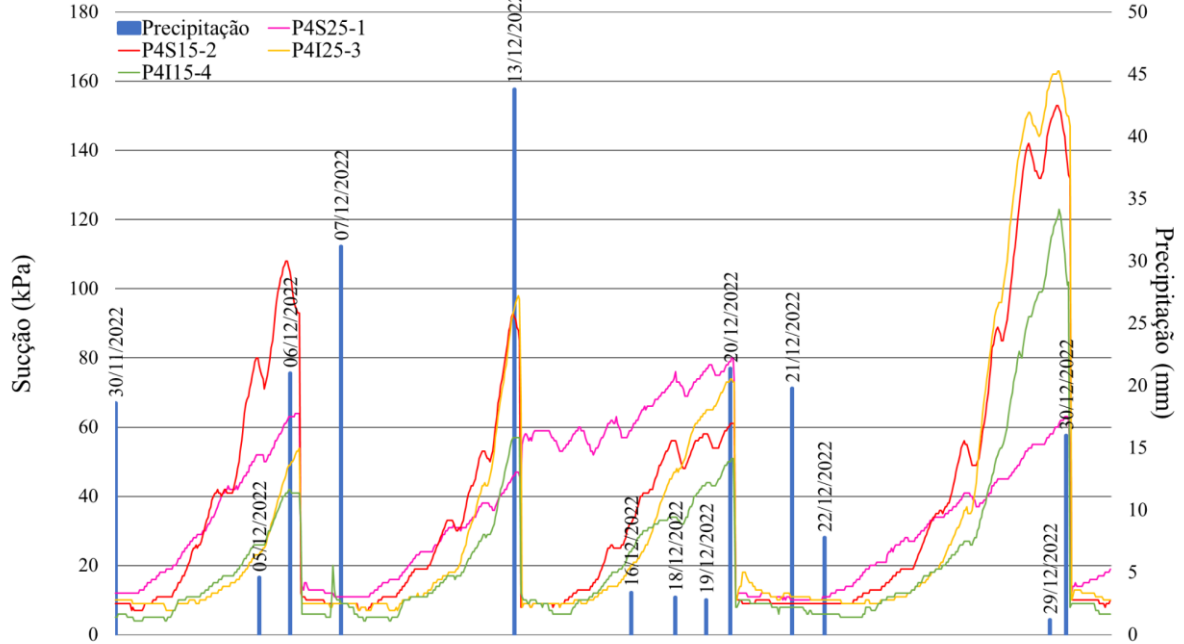


APÊNDICE H – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (dezembro).

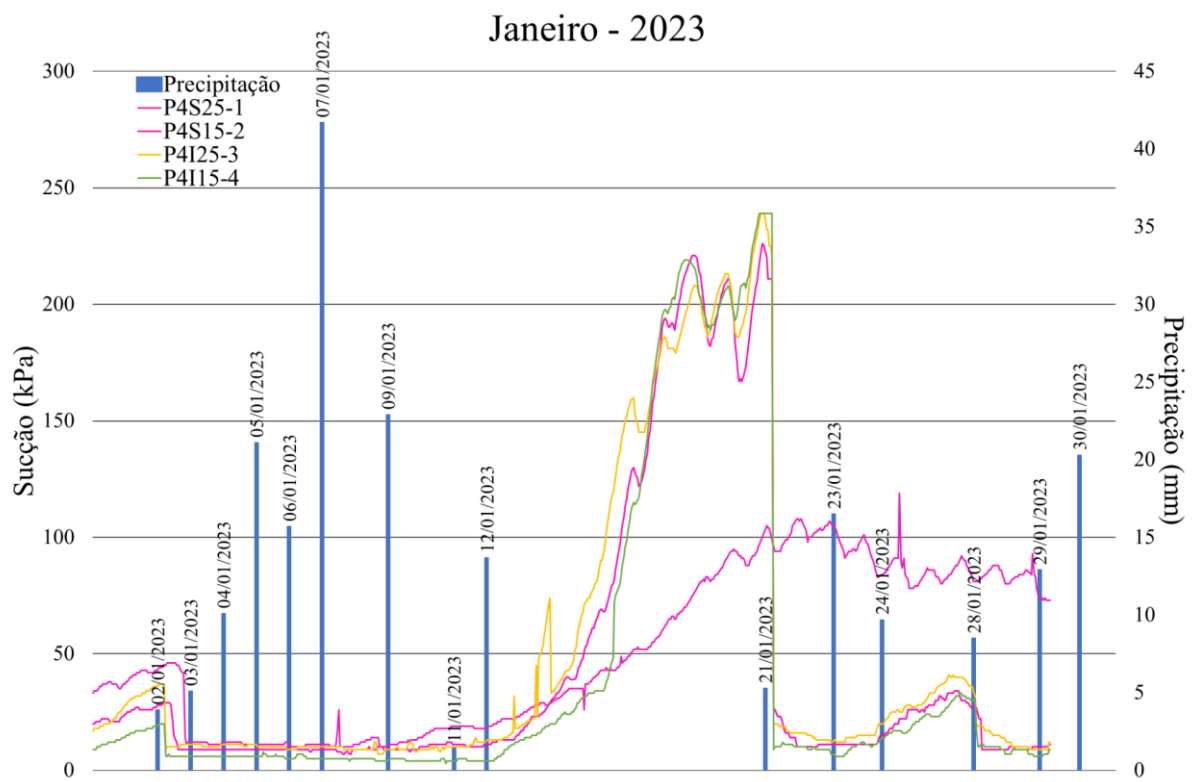
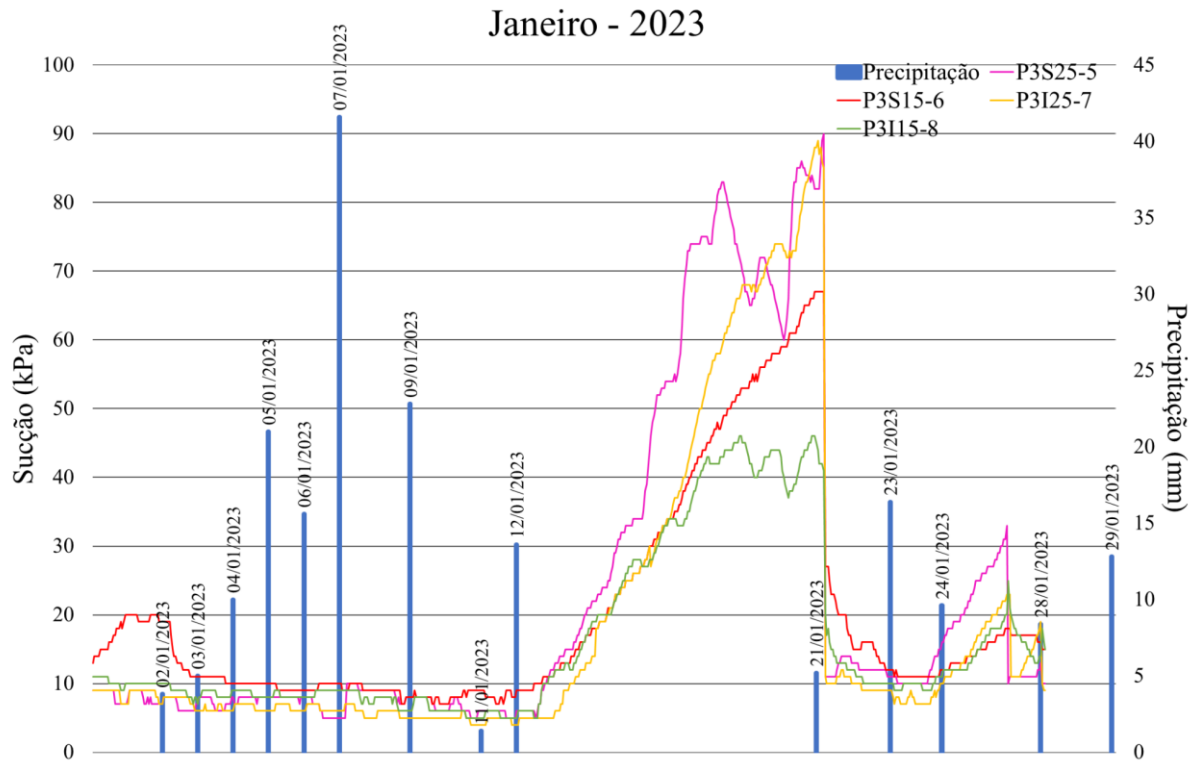
Dezembro - 2022



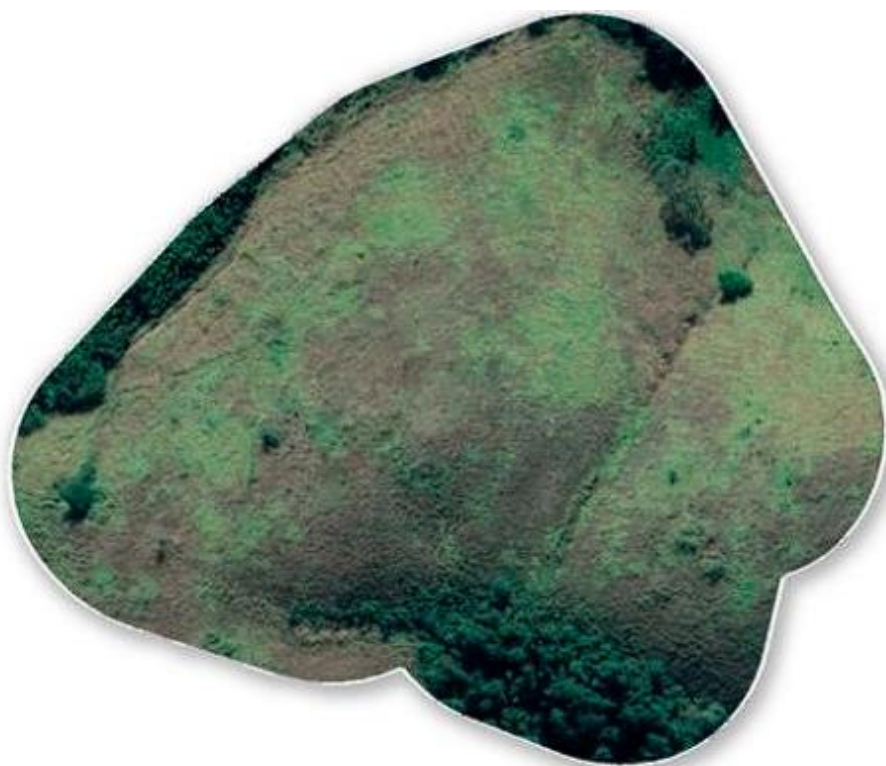
Dezembro - 2022



APÊNDICE I – Gráficos de monitoramento da sucção matricial dos solos (janeiro).



APÊNDICE J – Área de estudo antes e após o término das atividades do projeto Produtores de Água e Floresta.



06/2019



04/2023