



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

CONTENÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE EROSÕES LINEARES POR MEIO DE TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA EM PROPRIEDADE DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO TIMBURI, PRESIDENTE PRUDENTE-SP

*EROSION CONTROL AND STABILIZATION THROUGH BIOENGINEERING TECHNIQUES IN A
PROPERTY WITHIN ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA OF TIMBURI, PRESIDENTE
PRUDENTE-SP*

*LA CONTENTION ET STABILISATION DES ÉROSIONS LINÉAIRES PAR DES TECHNIQUES DE
BIO-INGÉNIERIE, SUR UNE PROPRIÉTÉ DE LA ZONE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
DU TIMBURI, À PRESIDENTE PRUDENTE-SP*

(Recebido em 20-06-2023; Aceito em: 03-09-2023)

Leonardo Cruz Mendes da Silva

Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
Mestrando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
leonardo-cruz.silva@unesp.br

Gustavo Fávaro Lopes

Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
Mestrando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
gustavo.favarolopes@unesp.br

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Livre Docente pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
Professor Associado da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Presidente Prudente, Brasil
joao.o.nunes@unesp.br

Resumo

O ser humano tem provocado inúmeras alterações no relevo desde seu surgimento, sobretudo nos tempos atuais, com o advento tecnológico-científico e o crescimento acelerado da produção e do consumo. A intensificação dos processos erosivos e da degradação do solo são problemas que afetam diretamente os pequenos agricultores e requerem amplo trabalho de diagnóstico, intervenção e capacitação, para possibilitar uma melhor relação com o meio e qualidade de vida. Este trabalho teve como objetivo principal o controle e estabilização de processos erosivos lineares em duas ravinas localizadas em uma propriedade rural, na Área de Proteção Ambiental – APA do Timburi, em Presidente Prudente – SP. Para tanto, foi realizado um levantamento sobre os aspectos físicos e históricos da área de estudo, coleta de amostras de solos para análises física e química, ensaio de permeabilidade do solo e implantação de técnicas de bioengenharia, utilizando barramentos de bambu (paliçadas) e telas de sombrte de polietileno. Os dados da análise física apontaram solos com predomínio de classe textural arenosa. A análise química indicou presença de acidez. O ensaio de

permeabilidade resultou em condições de drenagem de lenta à moderada e presença de hidromorfismo, o que mostra que a área está bastante alterada. As estruturas de barramentos foram eficazes na contenção dos processos erosivos, promovendo a estabilização e favorecendo o crescimento da vegetação.

Palavras-chave: Erosão Linear; Bioengenharia; Solos; Análise textural; Permeabilidade.

Abstract

Humanity has been causing numerous changes to the landscape since its genesis, especially in modern times with technological-scientific evolution and the accelerated growth of production and consumption. The increase of erosive processes and soil degradation is a problem that directly affects small farmers and requires extensive work in the diagnosis, intervention, and professional qualification, to enable a better relationship between the environment and quality of life. This study aimed to control and stabilize linear erosive processes in two ravines located on a rural property in the Environmental Protection Area (EPA) of Timburi, in Presidente Prudente - SP, Brazil. To accomplish the goals of this research, a survey was conducted on the physical and historical characteristics of the study area, soil samples were collected for physical and chemical analyses, soil permeability tests were performed, and bioengineering techniques were implemented, using bamboo barriers (palisades) and polyethylene shading screens. The physical analysis data indicated soils predominantly of sandy soil, the chemical analysis revealed high acidity, the permeability test resulted in slow to moderate drainage conditions, and the presence of hydromorphism indicated significant alteration of the area. The barrier structures proved effective in containing erosive processes, promoting stabilization, and facilitating vegetation growth.

Key words: Linear Erosion; Bioengineering; Soils; Textural Analysis; Permeability.

Résumé

L'être humain a provoqué de nombreuses modifications dans le relief depuis son apparition, surtout à l'époque actuelle, avec l'avènement de la technologie et de la science, ainsi que la croissance rapide de la production et de la consommation. L'intensification des processus d'érosion et de dégradation des sols est un problème qui affecte directement les petits agriculteurs et il faut réaliser un travail approfondi de diagnostic, d'intervention et de qualification, afin de permettre une meilleure relation entre l'environnement et qualité de vie. Les objectifs principaux de ce travail étaient le contrôle et la stabilisation des processus d'érosion linéaire dans deux ravins situés sur une propriété rurale, dans la Zone de Protection de l'Environnement du Timburi, à Presidente Prudente - SP. Pour atteindre ces objectifs, une étude a été réalisée sur les aspects physiques et historiques de la zone d'étude, des échantillons de sol ont été prélevés pour des analyses physiques et chimiques, des tests de perméabilité des sols ont été effectués, et des techniques de bio-ingénierie ont été mises en œuvre, notamment l'utilisation de barrages en bambou (palissades) et de toiles d'ombrage en polyéthylène. Les données de l'analyse physique ont indiqué que les sols étaient majoritairement de texture sableuse, l'analyse chimique a présenté une certaine acidité, le test de perméabilité a montré des conditions de drainage de lentes à modérées et la présence d'hydromorphie indiquait que la zone avait été fortement altérée. Les structures de barrages se sont avérées efficaces pour contenir les processus d'érosion, favorisant ainsi la stabilisation et la croissance de la végétation.

Mots-clés: Érosion linéaire; Bio-ingénierie; Sols; Analyse texturale; Perméabilité.

Introdução

A ciência geográfica objetiva compreender como se dão as relações entre a sociedade e a natureza em diversas escalas espaciais e temporais, recortes metodológicos e de abordagem, enfatizando aspectos que melhor componham a análise para a qual se propõe. Com o avanço

tecnológico-científico dos meios de produção em maior volume, escala e velocidade, mudanças abruptas nos processos de transformação do ambiente e do próprio relevo se intensificaram. Os diferentes usos e ocupações da terra provocam sucessivos desequilíbrios no meio natural, acelerando o desgaste, a perda da fertilidade de solos e a formação de depósitos nas camadas superficiais do relevo, processos esses ocorridos na escala de tempo histórica, ou no tempo “que faz” (SUERTEGARAY; NUNES, 2001).

O estudo dessas mudanças fez com que os geógrafos passassem a buscar uma abordagem mais integrada da relação sociedade-natureza, e a privilegiar as análises dos processos morfodinâmicos ocorridos na escala de tempo mais curta - tempo histórico - em vez de análises morfogenéticas relacionadas ao tempo profundo - tempo geológico - (SUERTEGARAY; NUNES, 2001; NUNES, 2002; SOUTO, 2016; AZEVEDO, 2017).

A erosão é um fenômeno natural de modelamento do relevo pela desagregação, transporte e aporte de sedimentos e rochas de áreas elevadas para áreas mais baixas. O estrato geográfico está em constante movimentação ao longo de milhares e milhões de anos para constituir o panorama que observamos atualmente (GRIGORIEV, 1993). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999) e Lepsch (2011), esse tipo de erosão é denominada de geológica ou natural.

Outro tipo de erosão é aquela acelerada pelos processos antrópicos. Em regiões de climas tropicais, devido ao alto índice pluviométrico em determinado período do ano, como também as características dos solos (especialmente se forem arenosos e friáveis), são mais comuns as erosões hídricas (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999; LEPSCH, 2011). Quando as chuvas ocorrem sobre solos sem proteção, geram intensos processos de degradação, provocando o aumento na erosividade dos mesmos.

Promover a estabilização e recuperação de áreas degradadas é fundamental para que o ambiente natural volte a desempenhar suas funções. Neste sentido, a bioengenharia torna-se uma alternativa tecnicamente viável e sustentável para contenção de erosão nas mais diversas situações em termos de características do relevo e composições de solos, reduzindo a energia potencial hídrica e a perda de solo, proporcionando maior absorção da água e estabilidade (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016). Devido a sua versatilidade, a bioengenharia é utilizada em taludes, encostas, sistemas de trilhas, aterros sanitários, áreas mineradas, reservatórios, canais de irrigação, rios e tantas outras situações (SCHMEIER, 2013).

O presente estudo foi realizado em uma propriedade rural situada na Área de Proteção Ambiental - APA do Timburi, município de Presidente Prudente - SP, cujo local ocorrem processos erosivos intensificados pela ação humana (supressão da vegetação, uso intenso e manejo

inadequado). Atualmente, o local que se tornou área de pastagem apresenta duas ravinas que convergem numa voçoroca a jusante da sua planície. Este trabalho teve como objetivo principal o controle e estabilização dos processos erosivos nas duas ravinas.

Área de estudo

Para uma melhor contextualização, cabe traçar um panorama do município no qual a área de estudo se encontra. Presidente Prudente localiza-se na Coordenada Central 22° 07'S e 51° 23'W. Abrange uma área de 562,8 km² e tem uma população estimada de 231.953 habitantes (IBGE, 2021). A mesma se encontra no Oeste Paulista, região em que há alto grau de suscetibilidade à processos erosivos, em decorrência de fatores naturais geomorfológicos e litológicos (BOIN, 2000).

O município está situado no Planalto Ocidental Paulista, que abrange 50% do território Estado de São Paulo. Geologicamente, predominam rochas pertencentes ao Grupo Bauru, representadas pelas Formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá. E morfologicamente, os Depósitos Aluviais, com declive em direção ao Rio Paraná, formando relevos estruturais (BRISTRICHI, 1981).

Oliveira (1999), no Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:500.000, do Oeste Paulista, identificou oito tipos de solos, sendo eles: Argissolos Vermelho-Amarelos; Argissolos Vermelhos; Latossolos Vermelhos; Nitossolos Vermelhos; Gleissolos Háplicos; Neossolos Quartzarênicos; Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos.

No decorrer das décadas, desde a ocupação do município por frentes pioneiros e pelos mineiros nos séculos XIX e XX, houve sucessivas transformações no relevo e na paisagem, a começar pelo desmatamento e queimadas de árvores, caça predatória e exploração de habitats e espécies nativas, para dar espaço aos cultivos e loteamentos para pecuária. Com a expansão do cultivo, inicialmente de café, passando pelo algodão, amendoim e a pecuária para criação de gado bovino, os solos foram intensamente explorados, ao passo que a área urbana foi expandida sobremaneira para dar suporte ao crescimento populacional (SPOSITO, 1983).

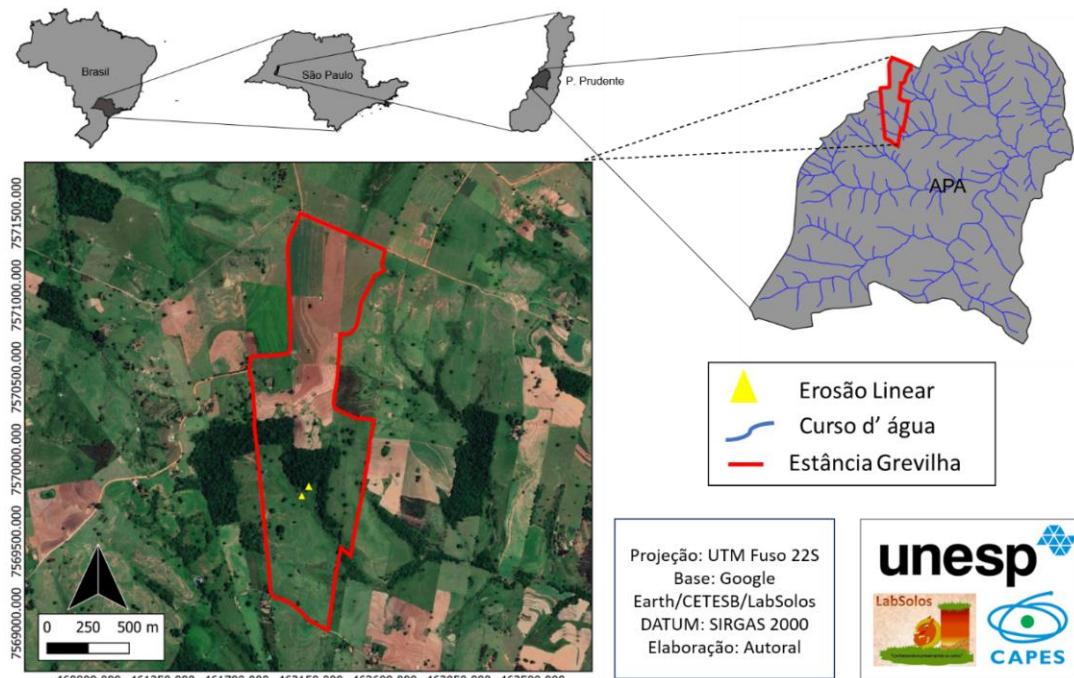
Outro impacto do crescimento urbano e populacional foi a alta produção de resíduos sólidos e rejeitos, seja dos frigoríficos e curtumes, ou dos resíduos sólidos domésticos da população, o que resultou na criação de áreas de descarte irregular (também conhecidos como lixões) por várias partes do perímetro urbano (NUNES, 2002; SILVA, 2012; SILVA, 2017). Como explica Silva (2017), essas práticas foram responsáveis por provocar alterações no relevo e na superfície, tanto de forma direta (depósitos de resíduos sólidos domésticos a céu aberto) quanto indireta (retirada da cobertura vegetal, ocasionando alteração nos processos hidrodinâmicos e erosivos).

A destinação dos resíduos sólidos em Presidente Prudente é um desafio que perdura até os dias atuais, e foi nesse contexto que se deu a criação da Área de Proteção Ambiental de Uso Sustentável no Timburi, a primeira APA criada no município de Presidente Prudente - SP. A mesma, fruto da mobilização conjunta de moradores dos assentamentos rurais do Timburi e 1º de Maio, juntamente com servidores públicos e instituições de ensino superior, com destaque a Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCT/UNESP).

Após intensos debates sobre um projeto de instalar um aterro sanitário na Fazenda Santa Apolônia, localizada próxima aos assentamentos rurais (NUNES *et al.*, 2021; LOPES; SILVA, 2022), a comunidade local se mostrou contrária, alegando que causaria impactos ambientais e afetaria diretamente a qualidade ambiental e de vida dos moradores.

Com isso, foi criada a Área de Proteção Ambiental - APA do Timburi, por meio da Lei Complementar nº235/19, com o objetivo de promover a recuperação das áreas degradadas, adotando práticas adequadas e mais conscientes de uso e manejo da terra. O presente estudo foi realizado em uma das propriedades rurais da APA (Figura 1) denominada Estância Grevilha, pertencente ao Sr. José.

Figura 1: Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental de uso sustentável no Timburi, Presidente Prudente, SP.

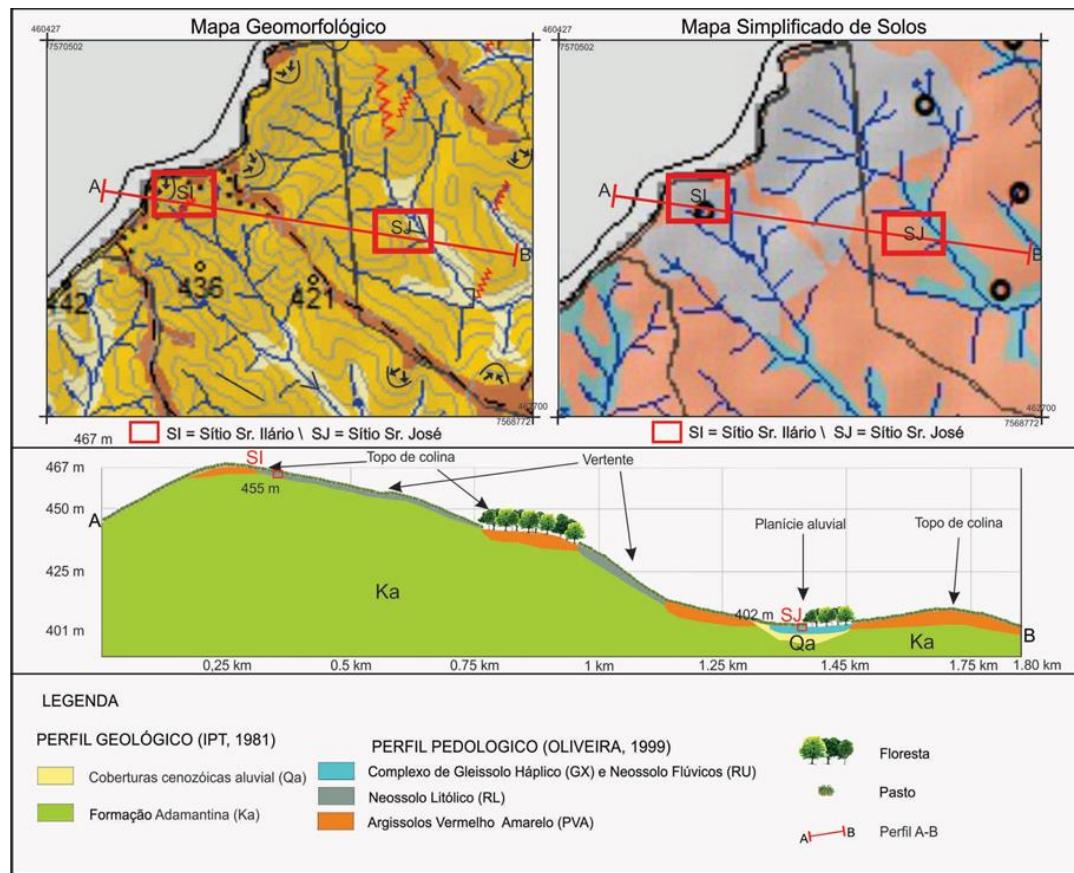


De acordo com a Base Digital Planialtimétrica da prefeitura de Presidente Prudente, na área da pesquisa existia a delimitação de um canal fluvial, que no decorrer das últimas décadas foi assoreado por sedimentos provenientes das áreas montante e do entorno das vertentes.

Atualmente o local tornou-se uma área de pastagem, com a cobertura vegetal predominante de gramíneas e fragmentos de mata residual no entorno. Em situações de chuvas intensas, volumes grandes de águas pluviais se concentram na planície (NUNES *et al.*, 2021). Quando o solo atinge o ponto de saturação, o escoamento superficial concentrado carrega uma densa carga de partículas e sedimentos, esse processo levou à formação dos dois braços ravinados na cabeceira da voçoroca, que estão em atividade contínua.

No que se refere à geologia e pedologia, a propriedade do Sr. José é composta em quase toda a superfície da Formação Adamantina I (Ka). No local do entorno dos experimentos tem características de sedimentos Aluvionares (Qa) e início/final de uma fratura geológica inferida. A Figura 2 de Nunes *et al.* (2021) mostra o perfil geológico e pedológico que foi traçado entre a área de pesquisa e uma propriedade rural vizinha (propriedades do Sr. Ilário).

Figura 2: Perfil Geológico e Pedológico entre a localização dos experimentos nas propriedades do Sr. Ilário e Sr. José.



Fonte: Nunes *et al.* (2021).

Como pode ser observado, a área encontra-se em uma planície aluvial cuja superfície é composta em parte por um complexo de Gleissolo Háplico (GX) e Neossolo Flúvico (RU), além de Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), seguida por uma camada logo abaixo, composta de Cobertura Cenozoica Aluvial.

O perfil também mostra a superfície do entorno da área, que é composta por vertente e topos de colina, áreas essas que além de serem naturalmente mais elevadas, possuem pouca cobertura vegetal, predominando no geral as gramíneas, alguns resquícios de vegetação arbórea e fragmentos de mata residual.

Materiais e método

A pesquisa contou com um levantamento bibliográfico de referencial teórico, análise de manuais técnicos de coleta e análise de solos, leitura de pesquisas anteriores sobre a APA do Timburi, e checagem de materiais cartográficos disponíveis a fim de auxiliar na escolha da área e caracterização inicial do meio físico, relevo e uso e cobertura do solo.

Os trabalhos de campo compreenderam: o reconhecimento da área, coletas de amostras de solo para análise física e química, ensaio de permeabilidade, implantação das estruturas de bioengenharia, monitoramento e manutenção dos barramentos. Outra etapa consistiu nos procedimentos em laboratório, como a análise granulométrica, e no tratamento e síntese dos dados coletados e produzidos.

Nas seções a seguir, serão descritas as técnicas empregadas na área de estudo, bem como as principais referências que serviram de fundamento para o emprego das mesmas. Respectivamente, as descrições começarão pela coleta de amostras de solo, seguidas pelas análises laboratoriais (física e química), ensaio de permeabilidade e, por fim, a bioengenharia.

A coleta de amostras de solo para análise física foi feita com o auxílio de um trado do tipo holandês. Ao todo foram efetuadas 8 coletas, a uma profundidade de 20cm (Figura 3) e dentro das erosões, seguindo as recomendações do Manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS *et al.*, 2015), nos locais onde seriam efetuadas as intervenções com estruturas de contenções. Os materiais dos pontos de coleta foram registrados e armazenados em sacos plásticos.

A análise granulométrica das amostras de solo foi realizada no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos na FCT/UNESP e teve por base os procedimentos metodológicos descritos por Teixeira *et al.* (2017) no “Manual de métodos de análise de solo” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

O diagnóstico das características físicas da área de pesquisa tem como objetivo atestar suas principais características texturais, ou seja, as frações de areia, silte e argila. Este procedimento é uma forma de auxiliar na definição do quanto o solo de uma determinada área está suscetível ou vulnerável à ação da erosão, ou seja, constatar sua fragilidade.

Figura 3: Coleta de amostras de solo com o uso do trado do tipo Holandês.



Fonte: Os autores (2021).

Quanto à análise química, sua finalidade foi caracterizar as condições de fertilidade e desgaste do solo. O conceito de qualidade do solo é complexo e controverso, dependendo de parâmetros externos para a sua mensuração. De acordo com Silva *et al.* (2020) do ponto de vista da química de solos, alguns desses parâmetros são: a mensuração do pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e a presença de componentes como fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (Al). Ainda de acordo com os autores:

Entre os Indicadores químicos, para avaliar a capacidade de disponibilizar nutrientes, são levados em conta os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), no qual são facilmente mensuráveis que estão ligados à nutrição das culturas. A saturação por base (V%) expressa a porcentagem que os elementos essências tais como o Ca, Mg e K, estão ocupando a troca de cátions (SILVA *et al.*, 2020, p. 47846).

De acordo com Santos *et al.* (2017), a presença de matéria orgânica no solo (MOS) é fundamental, pois serve de suporte a diversos processos físicos, químicos e biológicos, como ciclagem e retenção de nutrientes, melhor agregação do solo, e a própria manutenção das atividades biológicas. A ausência deste componente desencadeia uma série de desequilíbrios, e, consequentemente, incide sobre a degradação. Os mesmos autores afirmam que os estudos sobre alterações no solo, decorrentes de uso e manejo, têm, em uma de suas bases, a análise da matéria orgânica (MO) e do carbono orgânico (CO).

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a acidez ou alcalinidade do solo. Desse modo, quanto menor for o pH, maior será a acidez. Já um pH mais alto indica solos mais alcalinos. Para além disso, Ronquim (2010) afirma que:

O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente apresentam: pobreza em bases (cálcio e magnésio principalmente); elevado teor de alumínio tóxico; excesso de manganês; alta fixação de

fósforo nos coloides do solo e deficiência de alguns micronutrientes. (RONQUIM, 2010, p. 11)

Com relação à saturação por bases (V%), tem-se que ela diz respeito à proporção de cátions básicos trocáveis, e também está associada à fertilidade do solo. Uma alta saturação aplica-se a solos eutróficos e férteis, e, a baixa saturação, aos solos distróficos e menos férteis (SANTOS *et al.*, 2018; RONQUIM, 2010). Quando a saturação por base está baixa, há maior absorção de elementos tóxicos (SILVA *et al.*, 2020). Conforme explicado no trecho a seguir, esta medida:

Refere-se à proporção (taxa percentual, $V\% = 100 \times S/T$) de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7 (valor S refere-se à soma de bases). A expressão “alta saturação” se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% (eutrófico) e “baixa saturação” a solos com valores inferiores a 50% (distrófico). Utiliza-se, ainda, o valor $V \geq 65\%$ para identificação do horizonte A chernozêmico. Para a distinção entre classes de solos por esse critério, é considerada a saturação por bases no horizonte diagnóstico subsuperficial (B ou C). Na ausência desses horizontes, a aplicação do critério é definida para cada classe específica. Quando o solo tiver saturação por bases alta e simultaneamente caracteres sódico e/ou sálico ou salino, a saturação por base não é indicativa de fertilidade alta, pelo teor de sódio elevado e/ou pelos altos teores de sais solúveis. Também não é indicativa de fertilidade alta nos solos com textura nas classes areia e areia franca e valor de S inferior a 1,0 cmolc kg⁻¹. (SANTOS *et al.*, 2018, p. 30).

Em síntese, de acordo com Ronquim (2010, p. 10), “A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5”. Deste modo, assume-se que, com base nessa análise, é possível inferir os impactos do uso e manejo de uma área, os limites e potencialidades do solo, definir quais nutrientes e minerais estão em falta, quais processos químicos, físicos e biológicos estão ou não comprometidos, e, por fim, adotar medidas de recuperação e manejo em caso de degradação.

As amostras deformadas para a análise química foram coletadas também na profundidade de 20 cm em diferentes pontos ao longo da área de estudo. Todas as frações foram misturadas para formar uma porção composta que representasse a área de interesse, conforme as orientações do Manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS *et al.*, 2015). Por fim, essa porção foi armazenada, identificada e enviada ao “Laboratório de Análise e Consultoria Agrícola e Ambiental – Ciência em Solo”, no município de São José de Rio Preto – SP, que dispõe dos equipamentos adequados para realizar análise química.

O ensaio de permeabilidade foi realizado utilizando o Permeâmetro de Guelph (Figura 4). Este equipamento é composto das seguintes partes: tripé; tubo de suporte; tubo de ar e reservatório na parte central e tubo superior de entrada de ar (RIMES; MIGUEZ; AVELAR, 2014). Tal procedimento serve para determinar a condutividade hidráulica saturada do solo em campo (Kfs). Para isso, alguns passos operacionais importantes devem ser seguidos. Aguiar (2001) os explica da seguinte forma:

1. Fazer o furo com a profundidade desejada. Mede-se a profundidade atingida. Para isso usa-se um trado manual. Depois, troca-se a ponta de perfuração do trado por uma de limpeza, que tem por função nivelar a base do furo e regularizar as paredes do furo.
2. Monta-se o Permeâmetro de Guelph, ligando o tubo acrílico à garrafa de Mariotte através de mangueiras plásticas maleáveis. Nesse passo escolhe-se a garrafa de Mariotte a ser usada de acordo com a profundidade do furo.
3. Coloca-se o Permeâmetro sobre o furo ajustando as pernas do tripé para que o aparelho fique nivelado.
4. Coloca-se a solução dentro do tubo acrílico. Deve-se deixar que a água encha completamente as mangueiras. É prudente neste momento verificar se não há vazamento nas roscas e ligações
5. Regula-se o tubo de Mariotte, através da régua graduada para estabelecer a altura de pressão que será mantida no interior do furo.
6. Começa-se a fazer as leituras em intervalos constantes de tempo, através da régua graduada do tubo de acrílico.
7. Quando as diferenças das medidas entre as leituras se tornarem constantes pode-se parar o ensaio. É necessário que as diferenças se tornem iguais por três ou mais leituras consecutivas (AGUIAR, 2001, p. 31-37).

Figura 4: Utilização do Permeâmetro de Guelph em campo.



Fonte: Os autores (2021).

Portanto, perfurou-se o solo na profundidade de 70 cm (passo 1). Em seguida ocorreu a montagem e instalação do permeâmetro (passos 2 e 3) e a adição da água. Com a vazão e pressão do equipamento regulada (passos 4 e 5), as leituras foram feitas com intervalos de 2 minutos entre elas, até perceber que as diferenças nas medidas tornaram-se constantes por mais de três vezes consecutivas (passos 6 e 7). Todos os valores foram inseridos em uma planilha.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2015), essa constância de dados indica que a área perfurada atingiu o seu ponto de “saturação em campo”, como pode ser visto no seguinte trecho:

Quando da utilização do equipamento, após algum tempo, uma pequena área em torno do furo estará saturada e então o fluxo se torna constante. Em uma situação de campo não se consegue expulsar completamente o ar dos vazios. Sendo assim, é difícil atingir a saturação total. Com isso, a saturação atingida é uma chamada saturação de campo [...] (RODRIGUES *et al.*, 2015, p. 23).

Os ensaios tiveram vazões de carga hidráulica de 5 cm e de 10 cm. As Tabelas 1 e 2 contêm os registros das vazões até atingirem a constância dos dados se repetindo por mais de três vezes consecutivas.

Tabela 1. Localidade - Erosão da Propriedade Sr. José – 5 cm

| Nº da leitura | Tempo (min) | Intervalo de tempo (min) | Nível de água no reservatório (cm) | Variação de nível de água (cm) |
|---------------|-------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0 | - | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 14,5 | 0 |
| 3 | 4 | 2 | 15,0 | 0,5 |
| 4 | 6 | 2 | 16,0 | 1,0 |
| 5 | 8 | 2 | 16,5 | 0,5 |
| 6 | 10 | 2 | 17,0 | 0,5 |
| 7 | 12 | 2 | 17,5 | 0,5 |
| 8 | 14 | 2 | 18,0 | 0,5 |

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 2: Localidade-Erosão da Propriedade Sr. José – 10 cm (H2)

| Nº da leitura | Tempo (min) | Intervalo de tempo (min) | Nível de água no reservatório (cm) | Variação de nível de água (cm) |
|---------------|-------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0 | - | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 7,5 | 0 |
| 3 | 4 | 2 | 8,0 | 0,5 |
| 4 | 6 | 2 | 8,5 | 1,0 |
| 5 | 8 | 2 | 9,0 | 0,5 |
| 6 | 10 | 2 | 9,5 | 0,5 |
| 7 | 12 | 2 | 10,0 | 0,5 |
| 8 | 14 | 2 | 10,5 | 0,5 |
| 9 | 16 | 2 | 11,0 | 0,5 |

Fonte: Os autores (2021).

Os dados registrados em campo foram lançados em uma planilha do Excel para realizar o cálculo da permeabilidade, e definir a classe a qual a área se encontra e aferir as condições de drenagem da área de pesquisa.

A respeito dos experimentos de intervenção utilizados na área de pesquisa, a técnica aplicada foi a das paliçadas, que são barramentos construídos predominantemente com bambus montados na horizontal e fixados no chão pelo mesmo material, orientados na vertical. Esses servem de “barreiras” ao fluxo de água das ravinas, com a função de promover a quebra da energia e da velocidade da água em períodos chuvosos, reter sedimentos, promover a infiltração da água e estabilização da erosão (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE; 2016).

Os “Métodos Biotecnológicos”, são técnicas de manejo contra erosões e áreas instáveis, também denominados: Bioengenharia de Solos, Engenharia Natural, Ecoengenharia, Construção Verde, Engenharia Biotécnica, dentre outras intitulações usadas como sinônimos (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE; 2016). Araújo-Filho *et al.* (2013) destacam como sendo as principais técnicas de bioengenharia do solo:

[...] estacas vivas, feixes vivos, drenos vegetados, camada de ramos, ramos envelopados, recuperação de voçorocas, paredes vegetadas, manta de arbustos, barreiras vivas, geogrelhas vegetadas, espigão com árvores, gabões de pedra com vegetação, proteção vivas de taludes, paliçadas vivas, hidrosemeadura, enrocamento de pedras, geossintéticos e retentores de sedimentos (ARAÚJO-FILHO *et al.*, 2013, p. 02).

Do ponto de vista operacional, consistem na utilização de materiais vivos ou inertes de natureza vegetal, associados a rochas, concreto, polímeros ou metais (Figura 5). As vantagens de sua utilização são diversas. Araújo, Almeida e Guerra (2010) elenca pelo menos 4 delas como sendo de natureza técnica, ecológica, econômica e estética.

Essas vantagens estão relacionadas à proteção contra instabilidades a intempéries climáticos como: ação do vento e das chuvas, regulação de temperatura, criação de *habitats* para fauna e flora, redução de custos de construção e manutenção, redução de poluição ambiental e visual, criação de áreas agricultáveis e de lazer, além da melhoria das condições socioambientais (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2010; MATHIAS; CUNHA, 2013; SOLERA *et al.*, 2014).

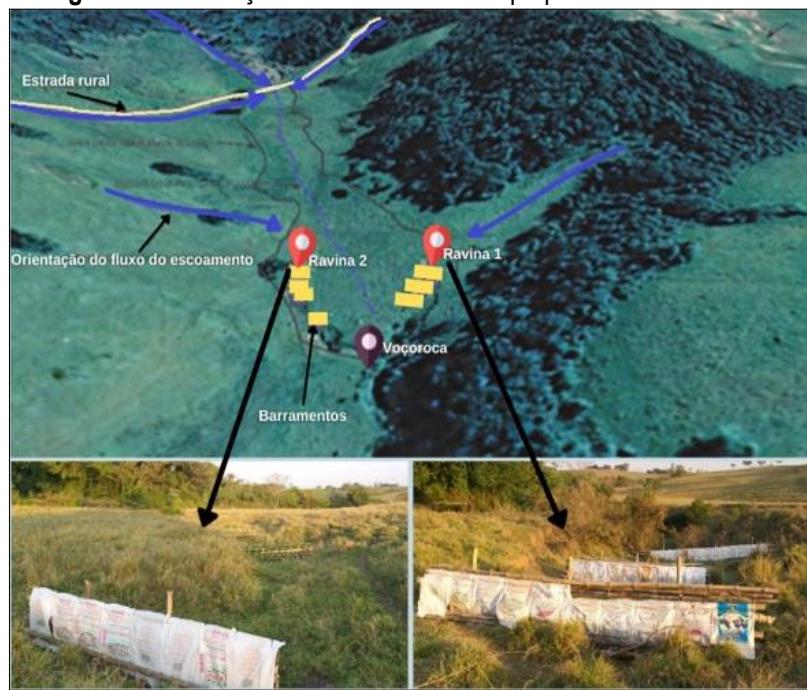
Figura 5: Exemplos de técnicas de bioengenharia: a) biomantas; b) enrocamento; c) paliçadas; d) geocélulas; e) esquema de caniçadas vivas.



Fonte: a) Moraes (2021); b) Araújo-Filho, Holanda e Andrade (2013); c) Os autores (2021); d) Geosoluções (2011); e) Araújo, Almeida e Guerra (2010). Adaptado.

Foram construídos e instalados 7 barramentos na área de pesquisa (Figura 6), sendo 3 na Ravina 1 e 4 na Ravina 2, localizadas na cabeceira da voçoroca. Para efetuar as medidas das dimensões foi utilizada uma trena de 5 metros, e foram coletados os dados referentes às suas dimensões (comprimento e altura, distância entre cada uma), além das coordenadas UTM e elevação com auxílio de um GPS. A Tabela 3 contém as dimensões e as distâncias entre os barramentos; e a Tabela 4 suas respectivas coordenadas UTM e elevação.

Figura 6: Localização dos barramentos na propriedade do Sr. José.



Fonte: Os autores (2021).

Tabela 3: Medidas das dimensões e distâncias entre os barramentos das ravinas 1 e 2

| Barramento | Ravina 1 | | | Ravina 2 | | | Distância | | |
|------------|-------------|--------|---------------|------------|-----------|--------|---------------|--|--|
| | Dimensões | | Distância | Barramento | Dimensões | | | | |
| | Comprimento | Altura | | | B1-B2 | 4 m | | | |
| 1 | 5,80 m | 0,8 m | B1-B2 | 4 | 4 m | 0,75 m | A1-A2 | | |
| | | | 5,30 m | | | | 11 m | | |
| 2 | 4,6 m | 0,9 m | B2-B3 | 5 | 4 m | A2 | A2-A3 | | |
| | | | 12,70 m | | | | 9,20 m | | |
| 3 | 9,2 m | 1,0 m | B1-B3 (total) | 6 | 2,30 m | A3 | A3-A4 | | |
| | | | 18 m | | | | 19 m | | |
| | | | | 7 | 5,2 m | A4 | A1-A5 (Total) | | |
| | | | | | | | 32,20 m | | |

Fonte: Dos autores (2021).

Tabela 4: Coordenadas UTM e altitudes dos 7 barramentos

| Barramentos | Coordenadas (Zona 22 K) | | | Elevação (m) |
|-------------|-------------------------|------------|--------------|--------------|
| | E (m) | S (m) | | |
| Ravina 1 | 1 | 462.114,00 | 7.569.702,00 | 397 |
| | 2 | 462.129,00 | 7.569.694,00 | 397 |
| | 3 | 462.127,00 | 7.569.689,00 | 396 |
| Ravina 2 | 4 | 462.145,00 | 7.569.680,00 | 396 |
| | 5 | 462.165,00 | 7.569.733,00 | 398 |
| | 6 | 462.169,00 | 7.569.728,00 | 398 |
| | 7 | 462.168,00 | 7.569.714,00 | 396 |

Fonte: Dos autores (2021).

A escolha dos locais para instalar as estruturas e efetuar as montagens ocorreu durante os primeiros trabalhos de campo. Os bambus foram cortados com auxílio de motosserra e facões, e empilhados nos respectivos locais escolhidos. O processo de montagem seguiu as etapas: a) marcação dos pontos de sustentação com enxadão, e perfuração com cavadeira; b) fixação dos

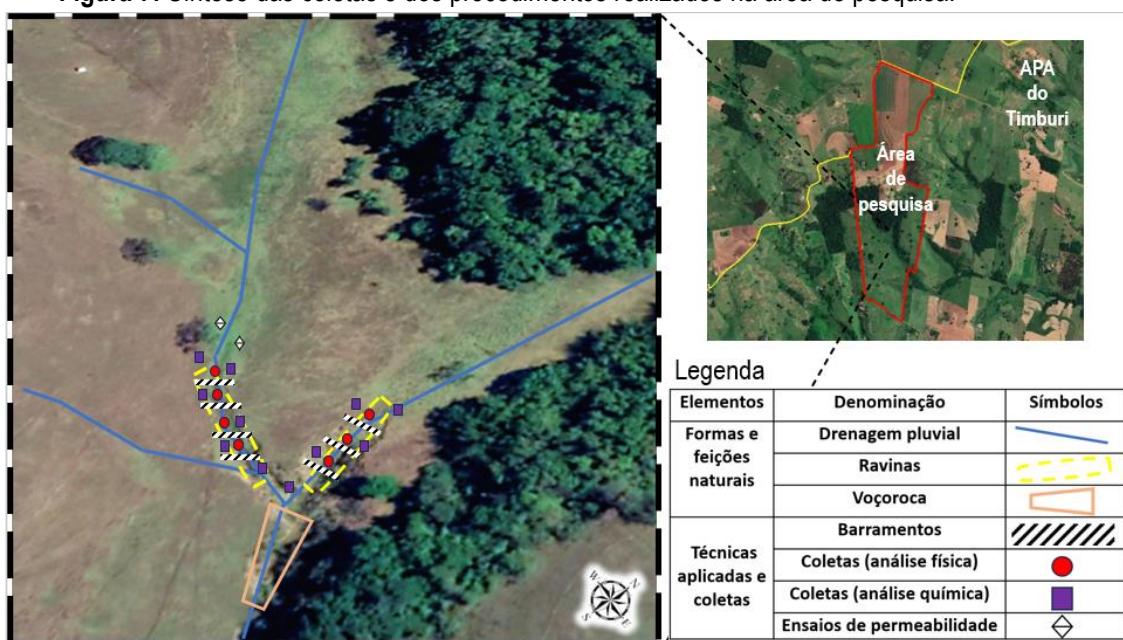
bambus de estrutura, e amarração dos bambus verticais para fechamento utilizando arame recoberto e turquesa.

As estruturas foram montadas em posição perpendicular e retilínea, havendo apenas uma adaptação na montagem do barramento 7 da Ravina 2, no qual os bambus foram colocados em posição de "V", desta forma, a estrutura se encaixou melhor no terreno, e seu formato fez com que o escoamento superficial concentrasse maior volume no centro, onde a estrutura tem mais resistência. Após a montagem, os barramentos foram revestidos com sacarias de rafia fixadas com abraçadeiras nylon. O objetivo das mesmas foi gerar resistência à ação mecânica da água, promovendo a quebra da energia, além de conter os sedimentos e demais materiais transportados (galhos, folhas etc).

Os monitoramentos e visitas periódicas ao local ocorreram por um período de 14 meses, sendo que o primeiro monitoramento foi feito em 10/07/2020 e o último em 16/09/2021. Os mesmos serviram para acompanhar o desempenho das paliçadas, realizar registros fotográficos e anotações, e efetuar eventuais manutenções. Três manutenções foram necessárias. No primeiro caso, as sacarias de rafia estavam muito danificadas, e foram substituídas por tela de sombrite de polietileno, que possuem maior resistência e fácil manuseio.

No segundo caso, algumas das abraçadeiras de nylon se romperam, e precisaram ser substituídas. Por último, o barramento 1 da Ravina 2 teve um dos bambus de sustentação comprometido e precisou ser substituído, bem como no barramento 4 da Ravina 2 (estrutura em V), em que o bambu central de sustentação estava podre. Nas demais estruturas foram feitos ajustes nas telas sombrite que estavam frouxas.

Figura 7: Síntese das coletas e dos procedimentos realizados na área de pesquisa.



Fonte: Os autores (2023).

A Figura 7 mostra os locais onde foram realizadas as coletas para análises física e química, os ensaios de permeabilidade a drenagem pluvial da área de pesquisa. A mesma sintetiza todos procedimentos descritos anteriormente.

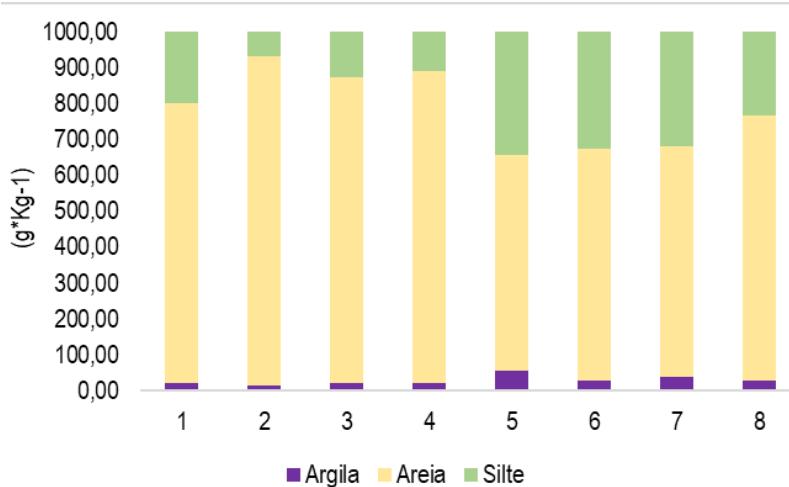
Deste modo, uma série de técnicas foram empregadas em campo, devidamente baseadas em manuais técnicos e referenciais teóricos, e utilizando instrumentos e equipamentos adequados. Um significativo volume de dados sobre as características da área foi levantado e analisado com o fim de subsidiar e justificar a necessidade da intervenção, além de servir como diagnóstico das condições nas quais a mesma se encontra em termos físicos.

Resultados e discussão

O texto a seguir está elencado na mesma ordem das análises abordadas no tópico anterior, com os resultados, respectivamente, das análises laboratoriais das amostras de solo (análise física e química), ensaio de permeabilidade e, por fim, a bioengenharia.

Em relação aos resultados da análise física, as amostras apresentaram maior presença da fração areia em comparação com as frações de argila e silte, caracterizando um solo de textura arenosa, conforme o gráfico da Figura 8. A fração silte no solo da Ravina 2 (amostras 4, 5, 6 e 7) apresentou quantidade inferior em relação à Ravina 1 (amostras 1, 2 e 3), e a amostra 8 retirada do local em que foi realizado o ensaio com o Permeâmetro de Guelph. Os valores das frações de argila foram pouco expressivos.

Figura 8: Relação dos valores das frações de areia, silte e argila das amostras em (g.kg⁻¹)



Fonte: Dos autores (2021).

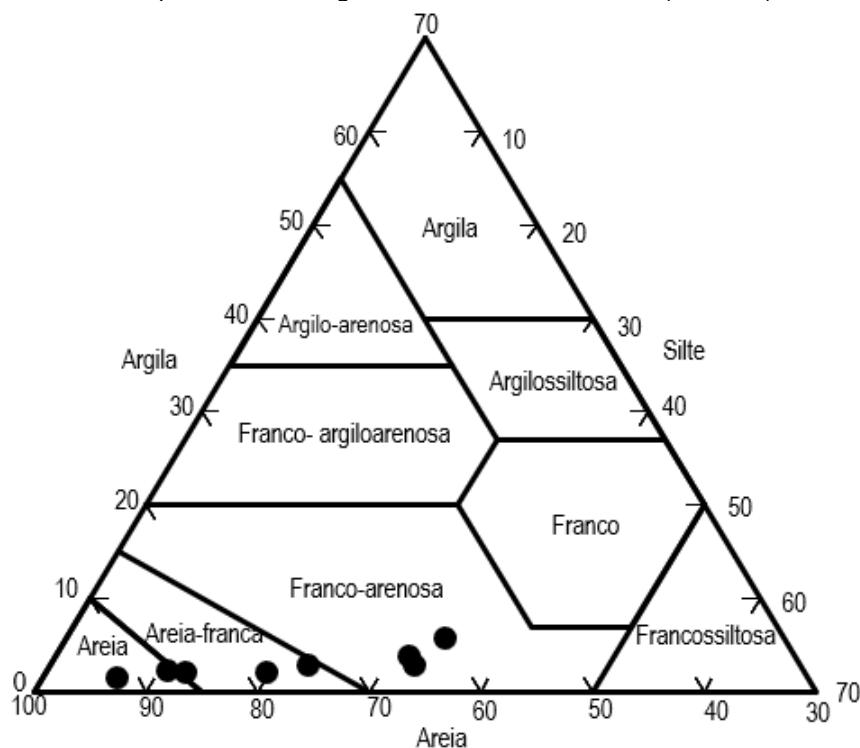
A partir dos dados apresentados na Figura 8, conforme o Diagrama de classes texturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (U.S.D.A. 1951), das 8 amostras, resultaram as

seguintes classes texturais: Franco-arenosa (3 amostras); Areia-franca (3 amostras) e Areia (2 amostras), conforme está representado na Figura 9.

A textura do solo é um fator que influencia na sua capacidade de resistir à ação da erosão hídrica, e na quantidade de material transportada pela ação da mesma. Em solos arenosos há grande porosidade, e embora durante chuvas de menor intensidade e volume ocorra a absorção/infiltração da água, maiores volumes de água podem acarretar no deslocamento de grande quantidade de solo (KÄMPF; CURI, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Fushimi e Nunes (2022), ao realizarem o mesmo procedimento, constataram processos erosivos deflagrados em áreas cujos solos eram arenosos, a cobertura predominante de gramíneas, e o uso era para pastagem.

Figura 9: Classes texturais das amostras da propriedade do Sr. José conforme o diagrama de classes texturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (U.S.D.A.).



Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (1951), organizado pelos autores (2021).

Em relação à análise química, os valores obtidos dos teores de pH; matéria orgânica (MO); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (Al); capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), foram organizados para gerar a Tabela 5, que mostra os seus respectivos valores presentes nas amostras de solo coletadas.

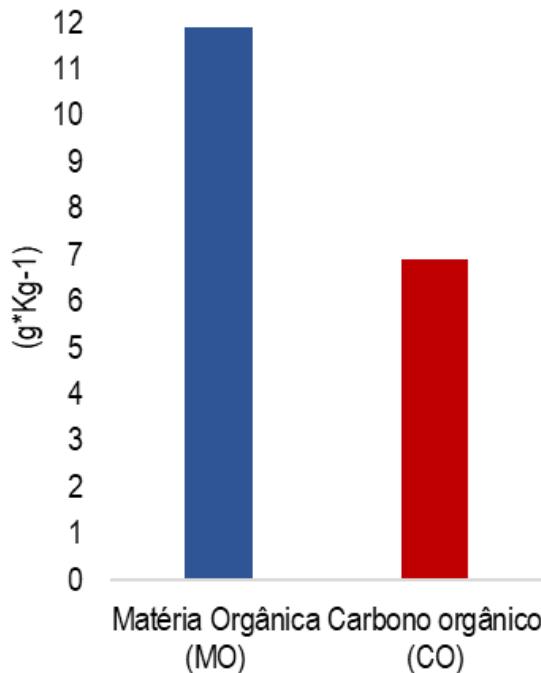
Tabela 5: Valores dos atributos químicos das amostras de solo¹.

| pH | M.O. | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|------------------------------|------|----|-------|------------|
| CaCl ₂ 5,4 | g.kg ⁻¹ 11,90 | mg.dm ⁻³ 19,60 | ----- | ----- | mmolc.dm ⁻³ 25 | 9 | 17 | 35,10 | 52,1 67 |

Fonte: Dos autores (2021).

O pH obtido de 5,4 indicou solo moderadamente ácido. Tal resultado está diretamente associado à baixa capacidade dos solos arenosos de reter bases, em especial Ca²⁺, Mg²⁺ e K²⁺. O gráfico a seguir (Figura 10) mostra os valores obtidos referente à concentração de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) nas amostras.

Figura 10: Concentração de Matéria orgânica e Carbono orgânico.



Fonte: Dos autores (2021).

Os valores resultantes de fósforo (P), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) e teor de argila foram considerados adequados.

Através das amostras coletadas, avaliando criteriosamente os atributos químicos, pode-se inferir que a condição do solo é eutrófico, e que a área de pastagem tem tido pouca interferência nas funções químicas e biológicas do solo. A presença de cobertura vegetal (sobretudo gramíneas) contribuiu para a manutenção dessa condição. O fato de o pH apresentar acidez moderada requer atenção, pois pode ser indício de alguma deficiência de micronutrientes.

Em um estudo feito por Santos *et al* (2017) foi observada a mesma dinâmica quanto à matéria orgânica e carbono orgânico dentre os atributos químicos de uma área com características de uso e cobertura muito semelhantes.

¹ Siglas: (pH) Potencial hidrogeniônico; (M.O) Matéria Orgânica; (P) Fósforo; (K) Potássio; (Ca) Cálcio; (Mg) Magnésio; (H) Hidrogênio; (Al) Alumínio; (SB) Soma de base; (CTC) Capacidade de trocas catiônica; (V) Saturação por base.

A respeito do ensaio de permeabilidade com Permeâmetro de Gueph, foi efetuado o cálculo da permeabilidade (Tabela 6), baseado nos valores da condutividade hidráulica saturada em campo (cm/s) – Kfs.

Tabela 6: Cálculo da permeabilidade com Permeâmetro de Guelph.

| Ponto do ensaio – área experimental na propriedade do Sr. José | | |
|--|--|---------------------|
| Categoria de solos | Solos que são tanto de textura fina (argila ou silte) como sem textura, também podem ser inclusas algumas areias finas | |
| | 1º carga hidráulica | 2º carga hidráulica |
| Constante do tubo interno do permeâmetro (cm ³) | 2,16 | 2,16 |
| Constante dos tubos combinados do permeâmetro (cm ³) | 35,22 | 35,22 |
| H = Carga hidráulica utilizada (cm) | 5 | 10 |
| a = raio do poço do ensaio do permeâmetro (cm) = raio do trado | 3 | 3 |
| D = constante do permeâmetro (interno = 1; combinação = 2) | 2 | 2 |
| DH = diferença entre as leituras – valor final constante (cm) | 0,5 | 0,5 |
| Dt = intervalo de tempo entre as leituras (min) | 2,0 | 2,0 |
| a* = valor do parâmetro de estrutura/textura estimado em campo (cm ⁻¹) | 0,04 | 0,04 |
| Kfs – condutividade hidráulica saturada em campo (cm/s) | 1,28E-04 | 8,47E-05 |
| Fm – potencial mátrico do solo (cm ² /s) | 3,20E-03 | 2,12E-03 |
| Valores médios | | |
| Kfs – condutividade hidráulica saturada em campo (cm/s) | 1,06E-04 | |
| Fm – potencial mátrico do solo (cm ² /s) | 2,66E-03 | |
| Cálculo de permeabilidade com Permeâmetro de Guelph com duas cargas hidráulicas | | |
| Kfs – condutividade hidráulica saturada em campo (cm/s) | 1,91E-04 | |
| Fm – potencial mátrico do solo (cm ² /s) | 5,03E-03 | |
| a* = valor do parâmetro de estrutura/textura calculado (cm ⁻¹) | -0,04 | |
| Erro da estimativa (%) | 422,4 | |
| Kfs – condutividade hidráulica saturada em campo (cm/s) – melhor valor | 1,06E-04 | |
| Classe de permeabilidade (Soil Survey Staff, 1993) | Lenta a moderada | |

Fonte: Nunes et al. (2021). Adaptado pelos autores (2022).

As classes de permeabilidade resultantes foram de lenta à moderada. Também foi constatada a presença de processo hidromorfismo. O que indica se tratar de um terreno com má condição de drenagem, principalmente pela textura predominantemente arenosa do solo.

Tal resultado se relaciona ao histórico da área, e a intensa presença de água em subsuperfície é outra característica marcante da mesma, visto que, perfurações em profundidades inferiores a um metro apresentaram encharcamento. Tudo isso condiz com o resultado da permeabilidade. Ou seja, a condição de saturação do solo por água evidencia se tratar de uma área frágil aos impactos da ação mecânica da mesma, o que somado as demais variáveis expostas, refletiu-se nas feições erosivas em constante atividade.

Quanto ao desempenho dos barramentos, a Figura 11 mostra um comparativo das duas ravinas desde o primeiro registro (implantação) até o último monitoramento.

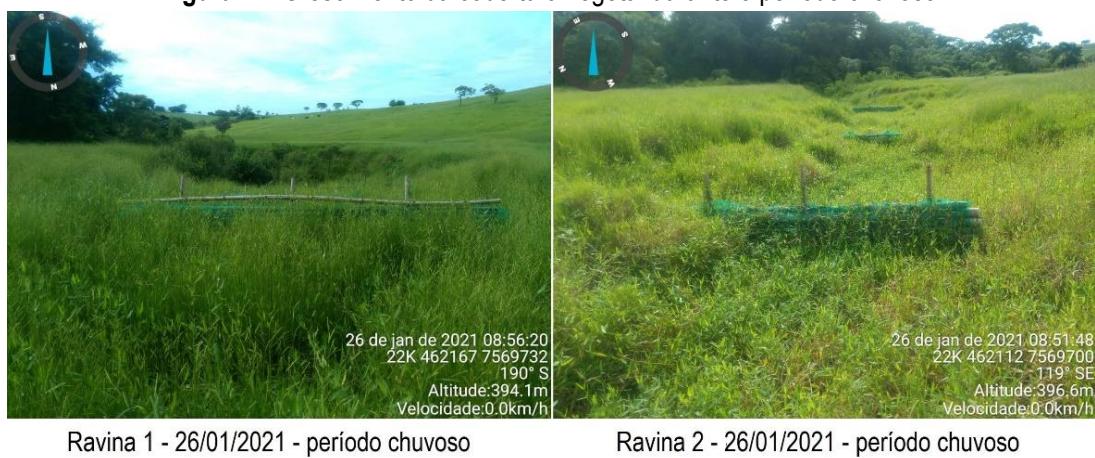
Figura 11: Comparativo temporal dos barramentos entre o primeiro e o último monitoramento.



Fonte: Dos autores (2021).

Os registros foram realizados respectivamente no início e fim do inverno. Embora a diferença visual no volume de vegetação não aparente ser pujante entre os períodos, houve uma melhoria significativa no desenvolvimento e fixação da mesma no interior das ravinas, bem como a estabilização e retenção de sedimentos. A Figura 12 mostra como a cobertura no interior das ravinas evoluiu no período mais chuvoso, o que reforça a importância de associar a aplicação das técnicas de bioengenharia com o próprio ciclo de desenvolvimento natural do ambiente, para otimizar resultados, tanto na retenção de sedimentos, como na incorporação com a fixação e desenvolvimento da vegetação.

Figura 12: Crescimento da cobertura vegetal durante o período chuvoso.



Ravina 1 - 26/01/2021 - período chuvoso

Ravina 2 - 26/01/2021 - período chuvoso

Fonte: Dos autores (2021).

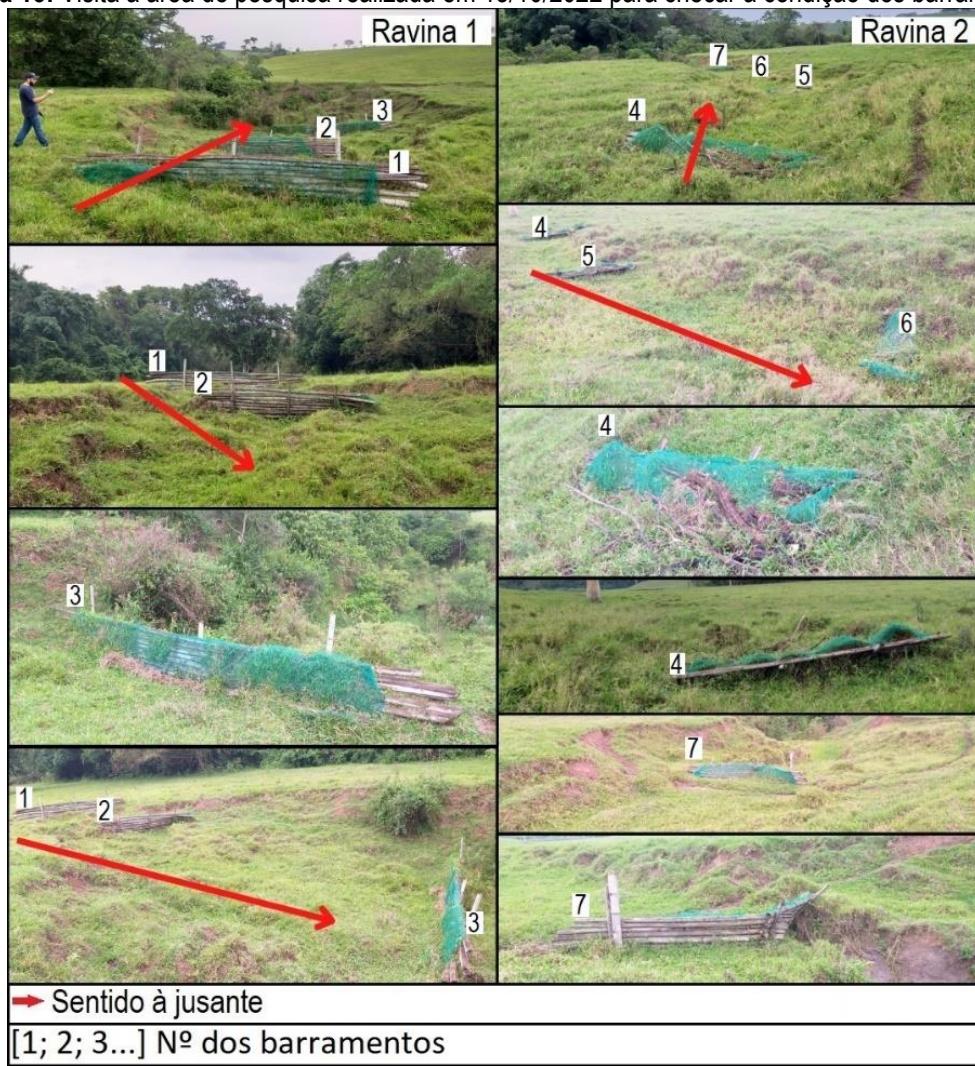
Como havia maior disponibilidade de pastagem verde e o gado não adentrou frequentemente na área no período chuvoso, observou-se o melhor desempenho dos barramentos. A vegetação se estabilizou dentro das ravinas e houve uma “integração” com as estruturas, dando suporte ao avanço

das gramíneas, retenção de umidade e maior ação biológica. De modo geral, os barramentos foram eficazes na resistência à ação da água pela quebra da energia, promovendo a retenção dos sedimentos e do material transportado pela água no interior das erosões (folhas, gravetos e até pequenos galhos).

Ocorreram excepcionalidades que foram limitantes para a otimização dos resultados na área. Em primeiro lugar, o cercamento ao redor dos barramentos não foi efetuado, e o gado teve acesso durante todo o período dos trabalhos, afetando o potencial regenerativo da vegetação pelo consumo da gramínea e pisoteio. Em segundo lugar, nos meses finais do monitoramento houve um período prolongado de estiagem, o que afetou o crescimento das gramíneas.

Um novo trabalho de campo foi realizado no dia 13/10/2022 (Figura 13), um ano após o último monitoramento a fim de checar as condições em que os barramentos se encontravam, e o estado das erosões.

Figura 13: Visita à área de pesquisa realizada em 13/10/2022 para checar a condição dos barramentos.



Fonte: Dos autores (2022).

Os barramentos se mostraram muito resistentes, pois continuaram exercendo sua função de resistência, e as erosões nas duas ravinas se encontravam estabilizadas. A vegetação também se manteve incorporada aos barramentos, sendo que em alguns casos as estruturas haviam se integrado à natureza ao ponto de formarem verdadeiras “estruturas biológicas” de contenção do fluxo da água.

Contudo, o cercamento da área é importante para que a vegetação possa se desenvolver de maneira mais intensa e rápida, e para que seja possível efetuar o plantio de mudas de espécies nativas dentro das ravinas para dar maior estabilidade ao solo, e possibilitar a sucessão ecológica natural da vegetação.

Pesquisas voltadas para a aplicação de técnicas de bioengenharia apresentaram grande eficácia, tanto na contenção dos processos erosivos quanto no suporte para a regeneração da área. Como, por exemplo, o estudo feito por Mathias e Cunha (2013) em uma voçoroca localizada em área periurbana.

Considerações finais

Desenvolver práticas de uso e manejo de menor impacto no ambiente, além de estruturar projetos que visem a recuperação das áreas degradadas, são algumas das práticas previstas pela lei de criação da APA do Timburi. A bioengenharia é uma ferramenta muito importante no desenvolvimento dessas ações, e tem grande potencial como meio de educação ambiental e conscientização da população, sendo crucial para a comunidade, promovendo a socialização e envolvimento dos moradores, proporcionando mudanças nas formas de relações de uso com o meio, e criando uma capacitação da comunidade para dar continuidade as mesmas.

Os procedimentos metodológicos empregados cumpriram seu propósito de modo que as análises físicas e químicas, e o ensaio de permeabilidade proporcionaram um significativo volume de dados, que tornaram possível identificar as várias características da área de estudo. Dentre os diagnósticos faz-se um destaque para a suscetibilidade aos processos erosivos, dada as características físicas texturais arenosas, o pH ácido dos solos, a permeabilidade de lenta à moderada, a má drenagem, e o uso da terra, justificando a necessidade de intervenção para restauração da área degradada.

A utilização da bioengenharia com os barramentos foi eficaz na contenção e estabilização das erosões, provando ser um recurso versátil, eficiente e de baixo impacto ao meio. As limitações quanto à otimização dos resultados, mostraram a importância de buscar aliar as técnicas à realidade socioambiental do uso da terra, visto a necessidade de implementar o cercamento da área experimental, bem como, a necessidade de realização de plantio de mudas nativas, para obter uma

regeneração mais rápida do ambiente. Ressalta-se que o trabalho de conscientização e convencimento deve ser contínuo e assistido.

Agradecimentos

O presente trabalho teve apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Processo N° 2022/09663-1. Agradecemos também ao doutorando Marco Antônio Saraiva da Silva, pelas importantes recomendações e apoio.

Referências

- AGUIAR, A. B. *O emprego do permeâmetro de guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura*. 2001. Tese (Doutorado de Eng. Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 67, 2001.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. *Gestão Ambiental de Áreas Degradadas*. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 5° ed. - 2010.
- ARAÚJO-FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. R. *Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe*. Scientia plena, v. 9, n. 7 (a), 2013. Disponível em: (<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1029.>), data de acesso: 01 de agosto de 2021.
- AZEVEDO, D. *O papel da geografia no debate sobre o meio ambiente: superando dicotomias*. Geo Uerj, Rio de Janeiro, n. 31, p. 456-473, 2017.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4ª. ed. São Paulo: Ícone, 1999.
- BOIN, M. N. *Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada*. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - IGCE/UNESP – Rio Claro, 2000.
- BRISTRICHI, C. A. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: 1:1.000.000*. São Paulo: IPT, vol. II, 1981.
- FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. *VULNERABILIDADE AOS SULCOS E RAVINAS EM SETORES DE GRAMÍNEA DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL*. GEOFRONTER, v. 8, 2022.
- GEOSOLUÇÕES. *Soluções para controle de erosão*. Disponível em: (<http://www.geosolucoes.com>) data de acesso: 03 de agosto de 2021.
- GRIGORIEV, A. A. *Os fundamentos teóricos da moderna geografia física*. Caderno Prudentino de Geografia, v. 1, n. 15, p. 71-82, 1993.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *População estimada*, 2021. Disponível em: (<http://www.ibge.gov.br/brasil/sp/presidente-prudente/panorama>), data de acesso: 20 de junho de 2021.
- KÄMPF, N.; CURI, N. *Conceito de solo e sua evolução histórica*. In: KER, J. C. et al. (Ed.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: SBCS, 2015.
- LEPSCH, I. F. *19 lições de pedologia*. 1ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011, 312 p.
- LOPES, G. F.; SILVA, L. C. M. da. Recuperação de área degradada por meio de técnicas de bioengenharia na Área de Proteção Ambiental do Timburi, Presidente Prudente-SP. Trabalho de conclusão de Curso, 2022. Disponível em: (<http://hdl.handle.net/11449/242610>), data de acesso: 11 de março de 2022.
- MATHIAS, D. T.; CUNHA, C. M. L. Propostas de dispositivos em bioengenharia para contenção erosiva e recuperação de áreas peri-urbanas degradadas. *Geografia*, Rio Claro, v. 38, n. 01, p. 157-173, 2013.

- MORAES, G. *Técnicas de bioengenharia aplicada a reprodução de área degradada: um estudo do distrito de Nova Londrina*. 2021, Trabalho de conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2021.
- NUNES, J. O.; FERNANDES, B M; PIROLI, E. L; MANTIN, E. S; TOMMASELLI, J. T. G; AMORIM, M. C. DE C.T; PERUSI, M. C; DOS SANTOS, M; GUIMARÃES, R. B; ARAUJO, R. R. DE; VERRISSIMO, V. E. A; DOS SANTOS, C. A. M; MATHIAS, D. T; PEDRO, L. C; FUSHIMI, M; BOIN, M. N; DE OLIVEIRA, R. C. *Recuperação de áreas degradadas da área de proteção ambiental de uso sustentável no Timburi, município de Presidente Prudente - SP*. Presidente Prudente: FAPESP, 2021.
- NUNES, J. O. R. *Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP*. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2002.
- OLIVEIRA, J. B. de. *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico*. Campinas: Instituto Agronômico, 1999.
- PRESIDENTE PRUDENTE. *Lei Complementar Municipal N° 235*, de fevereiro de 2019. Cria a Área de Proteção Ambiental do Timburi. Presidente Prudente, 2019.
- RIMES, L. A. G; MIGUEZ, M. G; AVELAR, A. S. *Ensaio de Permeabilidade Para Sistemas de Drenagem Sustentável*. In: X Encontro Nacional de Águas Urbanas, 2014, São Paulo. Águas Urbanas: Um tema multidisciplinar, São Paulo, ENAU. 2014.
- RODRIGUES, T. R.; WEISS, L. A; TEIXEIRA, R. S; BRANCO, C. J. M. DA COSTA. *Permeabilidade de solo laterítico por diferentes métodos*. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 36, n. 2, p. 17-32, 2015.
- RONQUIM, C. C. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- SANTOS, F. A. S; PIERANGELI, M. A. P; SILVA, F. L; SERAFIM, M. E; SOUSA, J. B. DE; OLIVEIRA, E. B. DE. *Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em Campos de Murundus*. Scientia Agrária. Curitiba, v. 18, n. 2, abr. – jun., 2017, p. 43-53. Disponível em: (<https://www.redalyc.org/pdf/995/99551919005.pdf>), data de acesso: 10 de outubro de 2021.
- 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. 356 p. Disponível em: (<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>), data de acesso: 06 de janeiro de 2022.
- SANTOS, R. D. DOS; SANTOS, H. G. DOS; KER, J. C; ANJOS, L. H. C. DOS; SHIMIZU, S. H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SCHMEIER, N. P. *Bioengenharia de solos: uma alternativa à recuperação de áreas degradadas*. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 5, n. 04, 2013.
- SILVA, E. C. N. *Formação de depósitos tecnogênicos e relações com o uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2012.
- SILVA, É. C. N. *Reconstituição Geomorfológica do Relevo Tecnogênico em Presidente Prudente-SP*. - Presidente Prudente. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2017.
- SILVA, M. O. VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L. D.; OLIVEIRA, J. D.; PEREIRA, D. D. F.; COSTA, SILVA, K. D. D. *Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo*. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020. Disponível em: (<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13360/11223>), data de acesso: 07 de outubro de 2021.
- SOIL SURVEY STAFF. *Soil survey manual*. United States: Department of Agriculture, 1951 (Handbook 18).

- SOLERA, M. L; GALLARDO, A. L. C. F; SOUZA, C. A; LONGO, M. H. C; BRAGA, T. O.. *Bioengenharia de solos: aplicabilidade na recuperação de áreas mineradas e na oferta de serviços ambientais*. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 34, p. 46-59, 2014.
- SOUTO, R. D. *O papel da geografia em face da crise ambiental*. Estudos Avançados, São Paulo, v. 30, n. 87, p. 197-212, 2016.
- SPOSITO, M. E. B. *O chão em Presidente Prudente: a lógica da expansão territorial urbana*. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1983. Disponível em: (<http://hdl.handle.net/11449/202451.>), data de acesso: 05 de junho de 2020
- SUERTEGARAY, D. M. A., NUNES J. O. R. *A natureza da Geografia Física na Geografia*. Revista Terra Livre, n. 17, 2º semestre, São Paulo, 2001. 11-23 p. Disponível em: (http://www.agb.org.br/files/TL_N17.pdf), data de acesso: 11 de maio de 2021.
- TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G. K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília: Embrapa, p. 573, 2017.
- VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. *Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.