

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Roberth Wicleff Rodrigues de Figueredo

Graduando em Engenharia Agrônoma

QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DECAPITADO SOB INTERVENÇÃO ANTRÓPICA HÁ 28
ANOS

Dracena

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Roberth Wicleff Rodrigues de Figueredo

Graduando em Engenharia Agrônômica

QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DECAPITADO SOB INTERVENÇÃO ANTRÓPICA HÁ 28
ANOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Ciências Agrárias e
Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena
como parte das exigências para conclusão do
curso.

Orientadora: Prof. Dr. Carolina dos Santos Batista Bonini

Dracena
2023

Inserir nesta página a versão digitalizada do
certificado de aprovação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DECAPITADO SOB INTERVENÇÃO ANTRÓPICA HÁ 28 ANOS

Modalidade: Trabalho de **Atividades de pesquisa.**

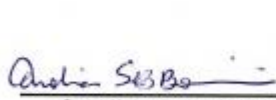
Autor: Roberth Wicleff Rodrigues de Figueredo

Orientadora: Carolina dos Santos Batista Bonini

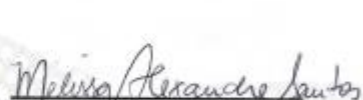
Co-orientador(es):

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 21/06/2023.


Carolina dos Santos
Batista Bonini


Vitor Corrêa De Mattos
Barreto


Melissa Alexandre Santos

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Roque Rodrigues e minha mãe Maria José Dias de Figueredo, que me educaram e me possibilitaram mais essa conquista, exemplos de vida fundamentais para a minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e que sem minha fé em vencer eu não seria nada!

Agradecer ao meu pai, Roque Rodrigues e minha querida mãe Maria José Dias de Figueredo e minha esposa Caroline e minha filha Ana Rosa minhas inspirações para que tudo isso fosse realizado. Estou Concluindo mais uma etapa, e eu tenho muito a agradecer a vocês. Foram anos de sacrifícios, de dedicação, onde abdiquei de tempo e de muitas coisas pessoais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e de ter uma boa formação profissional e também pessoal.

Meu irmão, por ter me ajudado e me dando condições de fazer meu primeiro ano de faculdade foi muito importante para mim. Isso foi de grande importância para mim e nunca será esquecido.

Agradeço também minha querida esposa Carol, por sempre estar presente e ser paciente em todos os aspectos, entender minhas obrigações como acadêmico e não só entender, mas apoiar em todas as decisões que eu tomei, que fique registrado todo meu carinho amor e afeto por você Caroline Alessandra de Freitas Te amo.

Agradeço a Deus por ter em minha vida, minha filha Ana Rosa, sem ela a minha vida não teria o mesmo sentido que tem hoje, esse tcc é em sua homenagem, eu dedico todo meu amor e carinho a você, o que faço é por você e por sua mamãe, o papai mesmo longe leva você em pensamento e dentro do coração, Te amo Muito meu amor.

Tive o privilégio e benção em poder compartilhar a vida com pessoas tão diferentes entre si e tão incríveis ao mesmo tempo, foram momentos únicos que vivemos no decorrer dessa etapa, só tenho a agradecer cada um de você foi uma honra poder compartilhar momentos de vida com vocês, que Deus nos abençoe nessa nova jornada que está apenas começando!

Quero agradecer aos meus Amigos Victor (jeca), Matheus (cafu), Guilherme (lobao), Fabio (Geova), Lucca (pinguim), Joao Miguel (Glicose), Mateus (Barrikelo), Arthur (Coxinha), Wagner, Gabriel (repentido), Anabelle (Doll), os demais colegas que tive durante essa caminhada sou grato pelo companheirismo que sempre me deram durante todo esse tempo.

Agradeço a minha Orientadora/Mãe Prof^a. Dr^a. Carolina dos Santos Batista Bonini. Foi minha mãe e minha orientadora, hoje o que me elevei e desenvolvi academicamente e pessoalmente devo a essa mulher, não mediu forças para me ajudar, entendeu todas minhas situações, me ajudou a desenvolver projetos de pesquisa e a conseguir bolsas de estudos, jamais esquecerei todo esforço feito e todo carinho comigo, por se um exemplo de pessoa e de profissional, uma pessoa que eu me espelho sempre e que admiro muito, sou eternamente grato por tudo que até aqui vivi e levarei para sempre, muito obrigado Carol Bonini você foi um anjo que entrou em minha vida. Sendo eu preferido haha.

Ao Grupo GENAP (Grupo de Experimentação em Nutrição e Adubação de Plantas) que deram todo apoio científico e disponibilizaram de seus alunos para ajudar nas coletas.

E agradecimentos ao CNPq por acreditar e financiar esse projeto de pesquisa.

Agradecimento a Fapesp e Agrisus pelo apoio financeiro.

RESUMO

A utilização intensa e inadequada dos solos Brasileiros tem resultam a um processo de degradação, caracterizado por fatores insustentáveis, capazes de causar a diminuição de sua produtividade. A investigação e a aplicação de técnicas de recuperação, com a utilização de indicadores qualitativos e quantitativos, trazem a possibilidade da restauração ecológica destes locais. Neste contexto, a principal dificuldade consiste no estabelecimento de um horizonte A, capaz de dar suporte ao surgimento de outros horizontes, bem como na escolha adequada de espécies e na adição equilibrada de matéria orgânica ao solo. Este trabalho objetivou avaliar as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho decapitado, que está em processo de recuperação há 28 anos, com a utilização de calagem, gesso e espécies vegetais. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, constituído por 9 tratamentos, sendo eles: 1-Solo mobilizado (vegetação espontânea); 2- Mucuna-preta (MP) (*Mucuna*); 3-Guandu (G) (*Cajanus cajan*) até 1994, após substituído por Feijão-de-porco (FP); 4-Calcário+MP; 5-Calcário + G até 1994, após substituído por FP; 6-Calcário+Gesso+MP;7-Calcário+Gesso+G até 1994, após substituído por FP e, para controle duas testemunhas T1: solo exposto (sem práticas de recuperação) e T2: Vegetação nativa de Cerrado. Os tratamentos foram instalados em 1992 e permaneceram por sete anos, em 1999 implantou-se *Urochloa decumbens*, com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes atributos do solo: estabilidade de agregados, resistência a penetração e umidade gravimétrica. Para efetuar a aplicação da análise estatística aos resultados obtidos, e fazer a comparação das médias utilizando de correlação simples e dos contrastes, no nível de 5% de probabilidade. Conclui-se que o solo degradado apresenta recuperação após 28 anos em relação à resistência à penetração e umidade adequada. Em relação à agregação do solo, está se recuperando com uma evolução muito significativa na camada superficial com valores superiores a 2 mm de diâmetro médio ponderado.

PALAVRAS-CHAVE: Área de empréstimo, *Urochloa decumbens*, Matéria orgânica.

ABSTRACT

The intense use of soils has led to a degradation process, characterized by unsustainable factors, capable of causing the decrease of its productivity. The research and application of recovery techniques, with the use of qualitative and quantitative indicators, brings the possibility of ecological restoration of these sites. In this context, the main difficulty is the establishment of a horizon A, capable of supporting the emergence of other horizons, as well as the appropriate choice of species and the balanced addition of organic matter to the soil. This project aimed to evaluate the physical and chemical properties of a headless or, decapitate been in the process of recovery for 28 years, with the use of lime, gypsum and plant species. He was experimental design will be used in randomized blocks, consisting of 9 treatments, which are: Mobilized soil (spontaneous vegetation); Mucuna-preta (MP) (*Mucuna*); Guandu (G) (*Cajanus cajan*), until 1994, after replaced by (FP) (*Canavalia ensiformis*); Limestone+MP; Limestone + G until 1994, after replaced by FP; Limestone+Gypsum+MP; Limestone+Gypsum+G until 1994, after being replaced by FP and, for control, two T1 controls: exposed soil (without recovery practices) and T2: Cerrado native vegetation. The treatments were installed in 1992 and remained for seven years, in 1999 *Urochloa decumbens* was implanted, with four replications. He was following soil attributes will be evaluated: stability of aggregates, resistance to penetration and humidity. To monitor the application of statistical analysis to the results obtained, and compare the averages using simple adaptation and contrasts, at a 5% probability level. It is concluded that the degraded soil recovers after 28 years in relation to resistance to penetration and adequate humidity. Regarding soil aggregation, it is recovering with a very significant evolution in the surface layer with values greater than 2 mm of weighted average diameter.

KEYWORDS: Loan area, *Urochloa decumbens*, Organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista geral da área decapitada mostrando o corte de 8,6 m de espessura.	2222
Figura 2: Área de experimentação 2022, vegetação <i>Urochloa decumbens</i> e as árvores nativas. Fonte: Figueredo, 2022.	25
Figura 3A: Amostra deformada para avaliação de estabilidade de agregados. Figura 3B: Amostra coletada para análise física do agregado. Figura 3C. Solo peneirado para seleção de agregados e submetidos a análise física. Figura 3D: Análise da Estabilidade. Fonte: Figueredo, 2022.	26
Figura 4: PenetroLOG – Fonte: Figueredo, 2022.	26
Figura 5: Umidade gravimétrica do solo pelo método clássico de pesagem – Fonte: Figueredo, 2022.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da análise química do subsolo exposto, realizada antes da implantação do experimento (1992 e 2011).	23
Tabela 2: Resultado da análise física do solo original (área adjacente), e em três profundidades, realizada antes da implantação do experimento (1992 e 2011).	23
Tabela 3: Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios do DMP (mm) nas camadas estudadas, Selviria, MS, 2022.	28
Tabela 4: Teste F, CV(%) e valores médios da RP (Mpa) e umidade gravimétrica (%) Selvíria (MS), 2022.....	29

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPD	Sistema de Plantio Direto
SPDH	Sistema de Plantio Direto de Hortaliças
RP	Resistência Mecânica a Penetração de Raízes
UG	Umidade Gravimétrica do Solo
PD	Plantio Direto
PC	Plantio Convencional
PT	Porosidade Total
MA	Macroporosidade
MI	Microporosidade
DS	Densidade do Solo
DMP	Diâmetro Médio Ponderado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.1 Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6 CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

Com a utilização inadequada dos recursos naturais se obtém um novo sistema ecológico, que apresenta características não sustentáveis. De acordo com Mendes et al. (2018), cerca de 33% dos solos do mundo apresentam estado de moderada a alta degradação, decorrentes de seu uso inadequado, o que causa principalmente a perda da matéria orgânica do solo (MOS), a compactação e o desbalanço dos nutrientes presentes no solo. Segundo autor (CHITERO et al., 2020), o uso intenso dos solos leva ao processo de degradação, com isso técnicas de investigação que visam à recuperação dos solos degradados têm sido investigadas cada vez mais.

Algumas propriedades do solo são utilizadas como indicadores da qualidade do solo, como a compactação do solo afeta a permeabilidade e a capacidade de retenção de água dos solos, bem como o desenvolvimento das raízes e a atividade biológica do solo. Nesse contexto, se torna importante a escolha adequada da técnica e da estratégia de recuperação a ser aplicada na área degradada, uma vez que as técnicas apresentam variabilidade no seu desempenho, em função das características e condições apresentadas por cada tipo de solo, e pelas variações climáticas do local (VIRTO et al., 2015).

A aplicação de técnicas de recuperação do solo consiste na mudança de práticas de manejo, com a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, como o sistema plantio direto (SPD), a integração lavoura pecuária (ILP) e a integração lavoura pecuária floresta (ILPF) (MENDES et al., 2018). Mondini et al. (2018) práticas que melhoraram a fertilidade do solo e a atividade microbiana com a aplicação de vermicomposto, enquanto Frota Filho e Vieira, (2019) utilizaram a fitomassa na recuperação de solo degradado, e constataram uma melhoria nas propriedades físicas e químicas do solo, e a revitalização de algumas características do solo, como macronutrientes, micronutrientes e a porosidade.

Neste contexto, o planejamento de recuperação de uma área degradada é um grande desafio, pois consiste no estabelecimento de um horizonte A, capaz de dar suporte ao surgimento de outros horizontes. Contudo, com o uso de indicadores qualitativos e quantitativos capazes de identificar e caracterizar os processos de

degradação atuantes nos solos se torna possível à recuperação destes (BONINI et al, 2019); FORTI et al, 2019).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas por meio da análise de estabilidade de agregados, resistência a penetração e umidade de um Latossolo Vermelho decapitado em processo de recuperação há 28 anos.

2.2 Objetivos Específicos

Foram avaliados os seguintes parâmetros, em relação ao local e perfil do solo em recuperação há 28 anos.

1. Estabilidade de agregados;
2. Resistência a penetração;
3. Umidade do solo;

3. REVISÃO DE LITERATURA

A degradação do solo tem alterado de maneira expressiva as propriedades químicas do solo, e comprometendo o desenvolvimento de plantas. Visto que, altera o conteúdo de matéria orgânica, e aumenta o desafio no manejo dos solos de cerrado, ou seja, dificulta o enriquecimento e a manutenção desse atributo químico (CARVALHO et al, 2017, FINKLER et al., 2018 e PELINSON et al., 2021).

Na recuperação de solos degradados, vários estudos têm sido realizados para proporcionar o aumento de matéria orgânica, utilizando desde espécies vegetais, adubação mineral, até lodo de esgoto. E foi possível verificar que o lodo de esgoto tem se destacado no incremento de bases trocáveis e matéria orgânica do solo (TERAN et al., 2022).

As melhoras significativas na fertilidade do solo, após a aplicação de lodo de esgoto também foram identificadas por Moreira et al. (2019), e concluíram que o aumento do potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), eleva o número de ligações eletrostáticas das partículas de solo e, conseqüentemente, aumenta a agregação, e teor de macronutrientes (Ex.: C, N e P) em solos que receberam o insumo orgânico.

Davalo (2017) avaliou as alterações dos atributos químicos indicadores de qualidade do solo e das frações do fósforo orgânico em um Latossolo Vermelho Distrófico, adubado com dose crescente de lodo de esgoto, e concluiu que a aplicação de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo orgânico nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. No processo de recuperação das propriedades químicas do solo, os efeitos da interação da quantidade e qualidade do material orgânico, das espécies que estão sendo utilizadas e das condições climáticas do local, são importantes para a compreensão dos resultados (MÜLLER et al., 2021). Albuquerque, Fonsêca e Santos (2018), avaliaram a eficiência da aplicação de gesso e coprodutos alternativos na recuperação de solos, e verificaram que a aplicação corretiva melhora os atributos químicos do solo, e permite que áreas degradadas e abandonadas voltem a ser produtivas.

Com o aumento da matéria orgânica do solo, há uma elevação do pH e com isso uma maior disponibilidade de todos os nutrientes essenciais para o

desenvolvimento das plantas. Criando assim ambiente favorável para o desenvolvimento de organismos no solo que vão atuar na melhoria das qualidades químicas e físicas do solo. Com a ação dos organismos do solo, há uma melhoria na estrutura do solo, pelo aumento dos agentes cimentantes e ação mecânica (BONINI et al., 2019). A agregação do solo é definida como sendo o resultado da união das partículas primárias: areia, silte e argila, e outros componentes do solo, como a matéria orgânica e os carbonatos de cálcio e magnésio, originando massas distintas com agregados estáveis. É um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade (BONINI et al., 2015).

A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura, teor de óxidos de ferro e alumínio, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e pelo manejo do solo (FELLER et al., 1996; BERTOL et al., 2006; NEVES; FELLER; KOUAKOUA, 2006; TISDALL; OADES, 1979), além de ser influenciada também pela presença de raízes das plantas cultivadas (MENEZES et al., 2020). Segundo Salton (2008) e Aguiar (2019), os sistemas de manejo do solo com pastagem em rotação com lavoura em plantio direto favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras, matéria orgânica exerce um importante papel na formação de agregados, como agente cimentante para união das partículas.

Segundo Costa et al., (2014) e Menezes et al., (2020), os resíduos de matéria seca das plantas, além de proporcionar incremento no estoque de carbono, permitem ainda recuperar os teores de MOS. Os resíduos vegetais são indispensáveis ainda para aumentar o tamanho e a estabilidade dos agregados e favorecer o controle da erosão e a resistência do solo à compactação. Sistemas conservacionistas de produção agrícola como SIPAs vegetativas, consórcio de culturas, rotação de culturas, SSD e manejo adequado de pastagens, podem contribuir para a descompactação do solo, melhorando o ambiente para o desenvolvimento das culturas na área agrícola (COSTA et al., 2015).

Para Carvalho et al., (2017), aplicações de técnicas capazes de restaurar as áreas de empréstimo visam reestabelecer as características originais do solo e controlar a ação dos agentes causadores de degeneração, esse processo pode ser alcançado por meio da realização de estudos da estrutura das comunidades e da avaliação da capacidade de resiliência do ecossistema.

Assim, têm-se a possibilidade de aplicação de métodos diretos que fazem uso de práticas mecânicas e químicas, e métodos indiretos que utilizam de espécies vegetais para potencializar o processo de recuperação.

Neste contexto, para recuperar áreas de empréstimo, que se caracteriza pela baixa capacidade de resiliência, se faz necessário à seleção e a identificação de espécies aptas às novas condições edáficas, capazes de acelerar o processo de formação dos horizontes mais superficiais do solo. Entretanto, a adaptação dessas plantas depende diretamente das condições físicas, químicas, biológicas e hídricas presentes no solo (Bonini et al, 2015).

Outro fator importante no processo de recuperação dos solos corresponde à adição de matéria orgânica, que proporciona o aumento da atividade microbiana do solo, possibilitando a formação e a estabilização dos agregados de modo a melhorar a sua estruturação (GIACOMO et al., 2017). Giacomo et al. (2019) relata que um dos fatores relevantes para aumentar a estabilidade do solo, em locais perturbados, corresponde a aplicação da alta biodiversidade vegetal.

Para a eficiência no processo de recuperação dos solos está interligada com a identificação e a caracterização dos agentes de degradação atuantes, capazes de indicar o estado das propriedades físicas e químicas do solo, o que contribui para a escolha da técnica a ser aplicada. Nesse contexto, a adição de matéria orgânica obtida de fontes alternativas, como o lodo de esgoto, alinhada à escolha de espécies vegetais tem sido cada vez mais utilizada para recuperar a estrutura dos solos (BONINI et al., 2015; KITAMURA, 2007). Deste modo, para melhorar o crescimento radicular, responsável pelo volume global do solo, deve-se avaliar a influência das condições locais, tais como, textura e estrutura do solo, e investir na diversidade da fauna edáfica.

Portanto, indicadores bióticos do solo, como os macrorganismos exercem influência no ciclo de matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas, mas quando a prática de cultivo contínuo tem-se a ocorrência negativa sob esses indicadores (BONINI et al, 2015; PERVAIZ et al., 2020).

Os indicadores do solo além de serem utilizados para avaliar o funcionamento e os serviços do ecossistema, podem ser utilizados para analisar a eficácia das estratégias de restauração e adequação do solo. Assim, as informações necessárias para monitorar e avaliar a recuperação de uma área degradada depende do tempo e

da escala espacial, sendo que em curto prazo é importante focar em propriedades dinâmicas como matéria orgânica, pH, fósforo, nitrogênio e macroporosidade. Enquanto em longo prazo, devido à grande variabilidade espacial e temporal dos ecossistemas, é importante se concentrar em variáveis lentas (COSTANTINI et al., 2016).

Nesse contexto, a principal problemática na implantação de usinas hidrelétricas consiste na ocorrência de diversos impactos, no âmbito socioeconômico, cultural e ambiental, prejudicando a fauna, a flora e a comunidade ribeirinha do local (CRUZ et al., 2016). Segundo (SOUTO FILHO et al., 2017) as áreas anexas a execução da obra sofre acentuada degradação, que se manifesta por meio da ruptura do equilíbrio entre a litosfera, a hidrosfera e a biosfera, sendo expressivamente intenso a ação dos seus efeitos sobre as áreas de empréstimo, as encostas instáveis e as áreas alagadiças.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira/SP, no município de Selvíria/MS. A fazenda está situada na região noroeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 20°22' de latitude Sul e 51°22' de longitude Oeste, e altitude em torno de 327 metros acima do nível do mar, onde a temperatura média anual é de 23,5 °C e a precipitação média anual de 1370 mm. Os solos característicos da região de estudo são de textura franco argilo-arenosa e rico em sesquióxidos, e classificados como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (SANTOS et al., 2018; DEMATTÊ, 1980).

A usina teve o início de sua construção na década de 60, da área em estudo foi retirado solo para a terraplanagem e fundação da barragem, dando origem a uma área degradada, a qual é denominada de “área de empréstimo”. Foi removida uma camada de 8,6 metros do perfil do solo original (Figura 1), sendo que o subsolo da área em estudo estava exposto desde 1969 (ALVES et al., 2012).



Figura 1: Vista geral da área decapitada mostrando o corte de 8,6 m de espessura.

No ano de 1992, o subsolo apresentava-se com compactação superficial e baixa presença de vegetação espontânea. Nesse mesmo ano iniciou o trabalho de recuperação, e o preparo do solo foi realizado efetuando-se uma subsolagem atingindo profundidade média de 0,40 m. Foi efetuada também, uma aração e após essa operação, uma gradagem niveladora. Foi realizada a caracterização físico-química da área (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Resultado da análise química do subsolo exposto, realizada antes da implantação do experimento (1992 e 2011).

Prof. (m)	Presina mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg mmolc dm ⁻³	H + Al	SB	CTC	V%
1992										
0,00-0,20	1	7,0	4,0	0,2	2,0	1,0	20,0	3,2	23,2	14
0,20-0,40	0	4,0	4,2	0,2	2,0	1,0	20,0	3,2	23,2	14
2011										
0,00-0,20	5	10,7	4,7	0,9	3,6	1,5	17,0	6,0	23,0	36
0,20-0,40	3	8,0	4,7	0,3	2,5	1,4	17,0	4,2	21,2	20

Tabela 2: Resultado da análise física do solo original (área adjacente), e em três profundidades, realizada antes da implantação do experimento (1992 e 2011).

Prof. (m)	Densidade do solo (kg dm ⁻³)		Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	
	199	201	199	201
	2	1	2	1
0,00-0,10	1,52	1,39	0,10	0,15
0,10-0,20	1,69	1,57	0,08	0,09
0,20-0,40	1,74	1,71	0,07	0,07

A correção do solo foi baseada na caracterização química da área experimental. A aplicação de calcário para elevar a saturação por bases a 70 %, foi efetuada, empregando-se a quantidade de 18,5 kg de calcário por parcela (1850 kg de calcário por ha) nas parcelas com calcário somente e, no caso das parcelas com calcário e gesso, houve a substituição de 25 % de CaO do calcário por 25 % do gesso, aplicando-se 5,2 kg de gesso (520 kg de gesso por ha) e 13,8 kg de calcário por parcela (1380 kg de calcário por ha), ambos incorporados no solo. Foi utilizado calcário dolomítico com PRNT de 70%. Foram semeadas em dezembro a janeiro dos anos de 1992 a 1996 espécies de adubos verdes (Mucuna-preta, guandu, aveia-preta e feijão-de-porco), a semeadura das espécies foi realizada manualmente, e a densidade de semeadura dos adubos verdes foi de 10 plantas por metro linear, com o intuito de melhorar as características físicas e químicas do subsolo em estudo e,

no início do florescimento eram roçadas e deixadas da superfície. Em 1996, foi realizada novamente a correção do solo, com base na análise química, para os tratamentos com calcário e calcário mais gesso. A substituição de CaO do calcário pelo CaO do gesso segue o mesmo procedimento do início do experimento. A correção foi efetuada nos casos em que a saturação por bases estava inferior a 60 %, objetivando-se elevá-la a 70 %. Em janeiro de 1997, foi semeada em toda a área experimental a cultura do milho (*Zea mays*) utilizando a semente AG 405 e 250 kg ha da fórmula 4-30-10 mais 0,3 % de zinco, sem aplicação de calcário; porém, sem muito sucesso, pois as plantas apresentaram pouco crescimento e baixo desenvolvimento. Em junho de 1998, foi semeada a aveia-preta (*Avena strigosa*), houve uma boa germinação, porém por falta de água, a cultura não resistiu e, com poucos centímetros de altura morreu. Em fevereiro de 1999, foi semeada a *Urochloa decumbens*, com o intuito de proteger o solo e acumular matéria orgânica ao mesmo. Em 2006, começaram a aparecer naturalmente espécies arbóreas nativas de cerrado.

Nos anos de 2008 a 2012 foram estudadas algumas propriedades físicas e químicas do solo; massa seca da braquiária e a altura e diâmetro das espécies arbóreas nativas que surgiram espontaneamente na área, como indicadores de qualidade do Latossolo Vermelho decapitado, que está em recuperação há 17 anos, utilizando adubos verdes, correção do solo, gesso e pastagem, (BONINI, 2012).

De 2014 até o momento, a área encontra cultivada com *Urochloa decumbens* e as árvores nativas que povoaram a área (Figura 2), principalmente jacarandá paulista (*Machaerium acutifolium*). A área é cercada para proteção e o manejo adotado é a roçagem do capim regularmente.



Figura 2: Área de experimentação 2022, vegetação *Urochloa decumbens* e as árvores nativas. Fonte: Figueredo, 2022.

Para o delineamento experimental foi utilizado parcelas de 10m x 10m e blocos casualizados com espaçamento de 2m entre si, tendo a aplicação de nove tratamentos e quatro repetições, sendo eles: Solo mobilizado (vegetação espontânea); Mucuna-preta – MP (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy); Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) até 1994, após substituído por Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) – G/F; Calcário+Mucuna- preta – C+MP; Calcário+ Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco – C+G/F; Calcário+Gesso+ Mucuna-preta – C+Ge+MP; Calcário+Gesso+Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco – C+Ge+G/F e, duas Testemunhas: T1 - Solo exposto (sem técnica de recuperação) e T2 - Vegetação nativa de Cerrado. Para as análises foram coletadas amostras indeformadas de solo, com anel volumétrico, em três camadas de solo: 0,00–0,05; 0,05–0,10 e de 0,10–0,20 m e em quatro repetições por parcela, totalizando 108 amostras na coleta do dia 12 a 13 de janeiro de 2022.

Foram avaliados: Estabilidade de agregados: A distribuição e estabilidade de agregados em água; diâmetro médio ponderado dos agregados foi determinado pelo método de Angers, Mehuys (2000), (Figura 3A, 3B, 3C e 3D).

Resistência mecânica a penetração: Para a resistência do solo à penetração foi utilizado penetroLOG (Figura 4), modelo Falker, Automação Agrícola. Umidade do solo: Umidade gravimétrica do solo pelo método clássico de pesagem (TEIXEIRA et al, 2017).

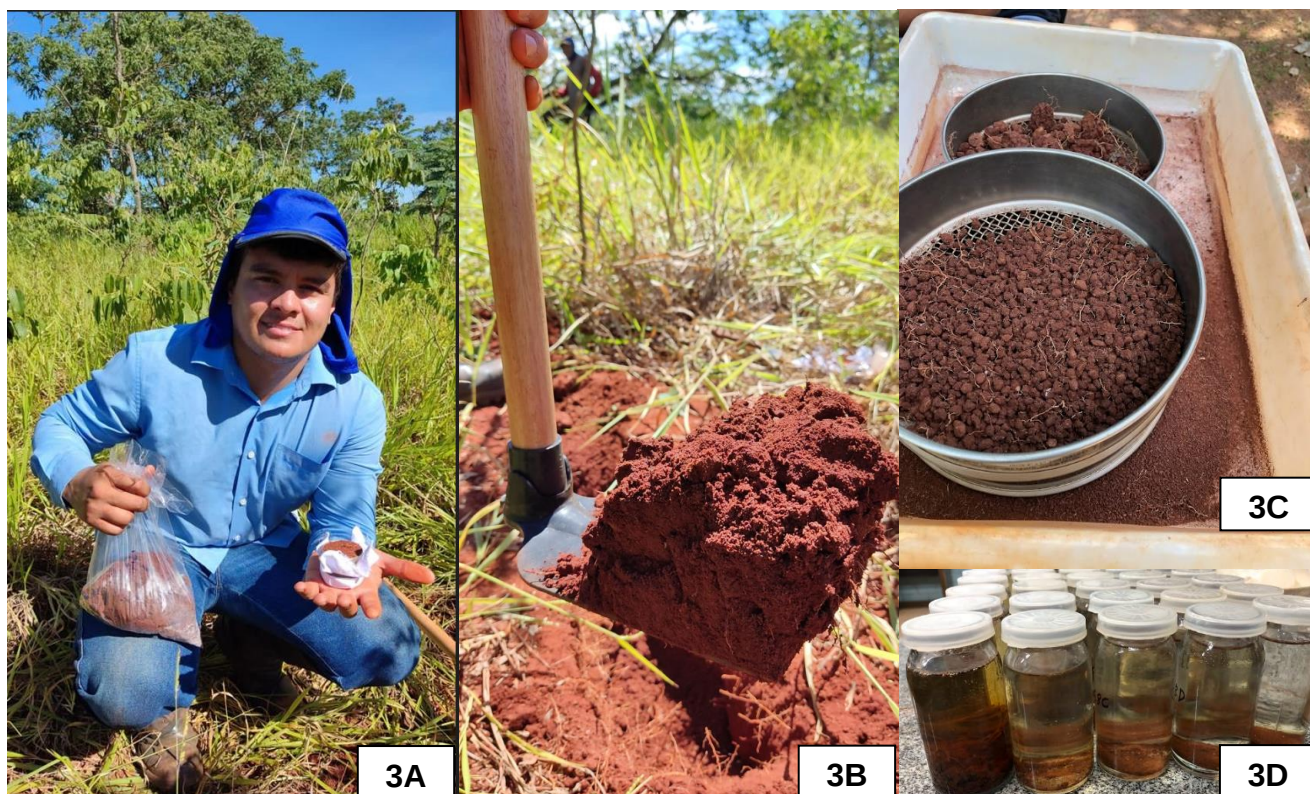


Figura 3A: Amostra deformada para avaliação de estabilidade de agregados. Figura 3B: Amostra coletada para análise física do agregado. Figura 3C. Solo peneirado para seleção de agregados e submetidos a análise física. Figura 3D: Análise da Estabilidade. Fonte: Figueredo, 2022.



Figura 4: Penetrolog – Fonte: Figueredo, 2022.

Umidade do solo: Umidade gravimétrica do solo pelo método clássico de pesagem (Figura 5), (TEIXEIRA et al., 2017). Foi avaliada no momento da realização da resistência do solo à penetração.

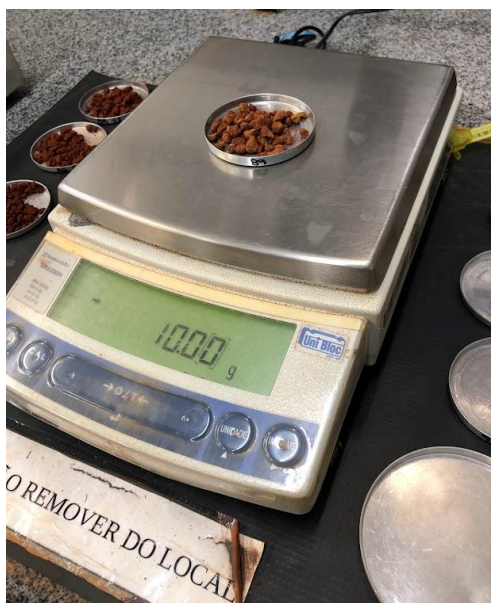


Figura 5: Umidade gravimétrica do solo pelo método clássico de pesagem – Fonte: Figueredo, 2022.

Os dados foram submetidos às análises estatísticas utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011) e foram analisados efetuando-se a análise de variância, correlação simples e teste de Scott-knott 5 % de probabilidade para a comparação de médias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do DMP (diâmetro médio ponderado) estão apresentados na tabela 3. Houve diferença mínima significativa para todas as camadas estudadas em 2022. Os maiores valores de DMP (diâmetro médio ponderado) foi com o tratamento com Guandu, enquanto os menores valores foram obtidos para o solo exposto.

Tabela 3: Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios do DMP (mm) nas camadas estudadas, Selvíria, MS, 2022.

Tratamentos	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
	m		
SM/B	4,03 c	2,66 b	1,03 a
MP/B	4,37 c	4,50 c	4,15 d
G/FP/B	1,88 b	0,96 a	1,30 a
C + MP/B	4,87 d	3,94 c	2,37 b
C + G/FP/B	3,99 c	2,45 b	1,42 a
C + GE+ MP/B	4,06 c	4,16 c	3,19 c
C + GE+ G/FP/B	4,87 d	4,20 c	4,51 d
SE	0,57 a	0,65 a	1,03 a
MA	3,99 c	4,14 c	3,84 d
F (5%)	109,87*	35,719*	53,747*
CV(%)	7,59	15,98	15,17

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. SM/B = Solo mobilizado até 1999, após implantada Braquiária; MP/B = Mucuna-preta até 1999 após substituída por Braquiária; G/FP/B = Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; C+MP/B = Calcário + Mucuna-preta até 1999, após substituída por Braquiária; C+G/FP/B = Calcário+Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; C+Ge+MP/B= Calcário+Gesso+Mucuna-preta até 1999 após substituída por Braquiária; C+Ge+G/FP/B= Calcário+Gesso Guandu, até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; MA = Vegetação nativa do Cerrado; SE = Solo Exposto.

Os resultados estão apresentados na Tabela 4. Somente na camada de 0,05-0,10 m houve diferença estatística para os parâmetros analisados. Em todos os tratamentos, a resistência à penetração está abaixo do limite crítico que é 2,5 MPa; a umidade gravimétrica está próxima a capacidade de campo que é o recomendado. Os resultados demonstram que a vegetação nativa de Cerrado apresentou os

menores valores de resistência comparados com os tratamentos de recuperação, a umidade do solo obtida próxima a capacidade de campo, não interferindo nas forças de adesão e coesão do solo. Em relação a caracterização inicial da área, os resultados obtidos são considerados com baixa compactação.

Tabela 4: Teste F, CV (%) e valores médios da resistência a penetração (RP) (Mpa) e umidade gravimétrica (%) Selvíria, MS, 2022.

Tratamentos	RP1	RP2	RP3	UG1	UG2	UG3
SM/B	0,18	1,25	1,85	8,23	8,88	9,71
MP/B	0,05	0,75	1,76	8,91	9,50	10,77
G/FP/B	0,16	1,38	1,92	7,41	8,97	9,23
C + MP/B	0,10	1,21	1,88	10,40	9,11	10,11
C + G/FP/B	0,23	1,15	1,97	6,18	7,49	8,26
C + GE+ MP/B	0,03	0,72	1,36	8,58	9,23	9,97
C + GE+ G/FP/B	0,03	0,57	1,78	9,52	9,14	10,80
SE	-	-	-	6,73	6,70b	
MA	0,05	0,45	0,92	12,55	8,96	13,49
F (5%)	1,716 ^{ns}	2,956*	2,080 ^{ns}	2,655 ^{ns}	4,023*	2,117 ^{ns}
CV(%)	19,11	15,65	11,19	17,48	10,69	17,64

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. SM/B = Solo mobilizado até 1999, após implantada Braquiária; MP/B = Mucuna-preta até 1999 após substituída por Braquiária; G/FP/B = Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; C+MP/B = Calcário + Mucuna-preta até 1999, após substituída por Braquiária; C+G/FP/B = Calcário+Guandu até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; C+Ge+MP/B= Calcário+Gesso+Mucuna-preta até 1999 após substituída por Braquiária; C+Ge+G/FP/B= Calcário+Gesso Guandu, até 1994, após substituído por Feijão-de-porco e a partir de 1999 substituído por Braquiária; MA = Vegetação nativa do Cerrado; SE = Solo Exposto.

Os resultados demonstram que os tratamentos foram sendo eficientes na recuperação da estrutura do solo, mostrando valores superiores aos encontrados para o solo exposto. Os tratamentos com Guandu e/ou combinações com calcário e calcário + gesso obteve valores semelhantes ao da vegetação nativa de Cerrado na camada superficial do solo (0,00–0,05m). Nas demais camadas houve uma evolução ao comparar com a caracterização inicial.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o solo degradado apresenta recuperação após 28 anos em relação à resistência à penetração e umidade adequada. Em relação à agregação do solo, está se recuperando com uma evolução muito significativa na camada superficial com valores superiores a 2 mm de diâmetro médio ponderado.

7. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. S.; FONSÊCA, N. C.; SANTOS, R. V. **Aplicação de corretivos alternativos em solo salinizado com cultivo de Sorghum bicolor L.** Revista Verde, v. 13, n.4, p.452-458, out.- 0 10 20 30 40 50 60 V (%) Tratamentos 1993 1995 1997 1998 2008 2009 2010 2011 2022
- ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. de. **Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica.** Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.16, n.8, p.887-893, mai. 2012.
- ANGERS, D.A.; MEHUY, G.R. **Aggregate stability to water.** In: CARTER, M.R. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. p.529-539. 2000.
- BONINI, C. B. S. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos.** 2012. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.
- BONINI, C.B.S; BONINI NETO A; HEINRICHS, R; SOARES FILHO, C.V. **Retenção de água em um latossolo em recuperação com adubos verdes.** Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.11, n.2, p.315-324, 2015.
- BONINI, C.S.B.; FREITAS, P. G. N.; BARRETTO, V. C. M.; SOUZA, A. R. A. ; HEINRICHS, R. ; LOPES, P. R. M. ; VIANA, R. S. ; PRADO, E. P. ; OLIVERIO, G. L. ; BONINI NETO, A. ; PUTTI, F. F.. **Physical quality of an Oxisol under different management.** International Journal of Development Research, v.9, p.30175-30180, 2019.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. **Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto.** Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v.10, n.1, p.34-42, 2015.
- CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. **Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão.** PUBVET, v.11, n.10, p.1036- 1045, out. 2017.
- CHITERO, J. G. M. ; BONINI NETO, A. ; **BONINI, C.S.B.** ; HEINRICHS, R. ; SOARES FILHO, C. V. ; MATEUS, G. P. ; BISI, B. S. ; COSTA, N. R. ; PIAZENTIN, J. C. ; MEIRELLES, G. C. ; GABRIEL FILHO, L. R. A. . **ANALYSIS OF THE PHYSICAL RECOVERY OF DEGRADED SOILS VIA ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS USING A GRAPHICAL INTERFACE.** RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 09, p. 1-31, 2020.

COSTANTINI, E. A. C.; BRANQUINHO, C.; NUNES, A.; SCHWILCH, G.; STAVI, I.; VALDECANTOS, A.; ZUCCA, C. **Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems**. *Solid Earth*, v.7, p.397-414, 2016.

CRUZ, A. R.; TEIXEIRA, C. S.; PEREIRA, J. A.; AMORIM, R.; PINHEIRO, J. **R.Impacto causado pela implantação de usina hidrelétrica e PCH's na Amazônia Meridional**. *Revista Eletrônica Geoaraguaia*, v.6, n.1, p.19-29, jan/jun. 2016.

dez., 2018.

FERREIRA, D.F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, p.1039- 1042, 2011.

FORTI, J. C.; BRAGA JUNIOR, S. S. ; GABRIEL FILHO, L. R. A.; BONINI, C.S.B. **Pasture recovery using Stylosanthes cv. Campo Grande: effect on soil quality**. *Animal Science*, v.14, n.4, p.1-6, ago. 2019.

FROTA FILHO, A. B.; VIEIRA, A. F. S. G. **The use of phytomass in the recovery of degraded soil – Vila Buriti / Manaus (AM)**. *Mercator*, v.18, p.1-16, 2019.

GIACOMO, R. G.; ALVES, M. C.; ARRUDA, O. G.; SOUTO, S. N.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. L. T. M. **Atributos químicos de um solo degradado após aplicação de composto orgânico e crescimento de Mabea fistulifera Mart**. *Floresta*, v.29, n.2, p.754-768, abr./jun. 2019.

GIACOMO, R. G.; ALVES, M. C.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; ARRUDA, O. G.; SOUTO, S. N.; MORAES, M. L. T. M. **Litterfall and nutriente input in a degraded área**. *Floram*, v.24, p.1-9, 2017.

KITAMURA, E. M. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. 117f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina: EMBRAPA, 24p, 2018.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. **Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos**. *Boletim Informativo da SBSCS*, v.44, n.1, p.22-27, 2018.

MONDINI, C.; FORNASIER, F.; SINICCO, T.; SIVILOTTI, P.; GAIOTTI, F.; MOSETTI, D. **Organic amendment effectively recovers soil functionality in degraded vineyards**. European Journal of Agronomy, v.101, p.210-221, 2018.

MOREIRA SF, SANTOS SDO, SARDINHA AS, JÚNIOR A (2019) **O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas**. Brazilian Applied Science Review 3(3):1564-1585. DOI: 10.34115/basrv3n3-006.

MÜLLER, F. C. et al. Uso, manejo e conservação do solo. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

NEVES, Carmen Silvia Vieira Janeiro; FELLER, Christian; KOUAKOUA, Ernest. **Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo argiloso**. Ciência Rural, v. 36, p. 1410-1415, 2006.

PERVAIZ, Z. H. et al. **Continuous Cropping Alters Multiple Biotic and Abiotic Indicators of Soil Health**. Soil Syst., v.4, n.59, p.1-30, sep. 2020.

ROSA, P.A.L. ; ALVES, M. C. ; SOUZA, E.J. ; **BONINI, C. S. B.** ; VIDEIRA, L.G. **A adubos verdes, planta de cobertura, calagem e gessagem como forma de recuperação de um Latossolo Vermelho degradado**. Espacios, v.38, n.29, p.26-33, 2017. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Revista e Ampliada Embrapa, Brasília. 2018.

SOUTO FILHO, SEBASTIÃO N. ; ALVES, MARLENE C. ; MONREAL, CARLOS M. ; **BONINI, CAROLINA DOS S. B.** . **Nanoparticles and nanostructure morphology of a Red Latosol in rehabilitation**. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL (IMPRESSO) **JCR**, v. 21, p. 530-536, 2017.

SOUZA, J. F. D. ; PERUSSO, R. L. S. ; BONINI, C. S. B. ; SOUZA, C. T. ; LUPATINI, G. C. ; ANDRIGHETTO, C. ; MATEUS, G. P. ; PEDRO, F. G. **Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de Capim Marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas (UNICAMP), v.13, p.51-64, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª Edição Revista e Ampliada Embrapa, Brasília. 2017.

TERAN, Francisco Javier Cuba et al. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal: Assessment of the recuperation of degraded areas by exploration of lateritic gravel by means of sewage sludge incorporation.** Case study Federal District of Brazil. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 5, n. 3, p. 2973-2984, 2022.

VIRTO, I.; IMAZ, M. J.; FERNANDEZ-UGALDE, O.; GARTZIA-BENGOETXEA, N.; ENRIQUE, A.; BESCANSÀ, P. **Soil Degradation and Soil Quality in Western Europe: Current Situation and Future Perspectives.** Sustainability, v.7, p.313-365, 2015.

ZANG, R. **Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer.** Soil Science Society of American Journal, v.61, p.1024-1030, 1997.