

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

YANA INDIARA CRIVELLARI DE CASTRO CORRÊA

**BASES DA AGRICULTURA SINTRÓPICA EMPREGADAS NO PROCESSO
DE RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DE EMPRÉSTIMO, NO CERRADO: UM
DIAGNÓSTICO**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

YANA INDIARA CRIVELLARI DE CASTRO CORRÊA

**BASES DA AGRICULTURA SINTRÓPICA EMPREGADAS NO
PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DE EMPRÉSTIMO,
NO CERRADO: UM DIAGNÓSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Ciências Biológicas

Orientadora

Profa. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Coorientador

Philippe Solano Toledo Silva

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C824b Corrêa, Yana Indiara Crivellari de Castro.
Bases da agricultura sintrópica empregadas no processo de recuperação de uma área de empréstimo, no cerrado: um diagnóstico / Yana Indiara Crivellari de Castro Corrêa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
56 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato
Co-orientador: Philippe Solano Toledo Silva
Inclui bibliografia

1. Áreas degradadas. 2. Agroecologia. 3. Biodiversidade. 4. Consórcio. 5.
Revegetação.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

A T E S T A D O

ATESTO, para os devidos fins, que

Ana Maria Rodrigues Cassiolato (Orientador-Presidente)

Kátia Luciene Maltoni (2º Examinador)

Felipe Chinaglia Montefeltro (3º Examinador)

participaram, como membros titulares, da Banca
Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso da aluna

Yana Indiara Crivellari de Castro Corrêa, intitulado:
"BASES DA AGRICULTURA SINTRÓPICA EMPREGADAS NO
PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DE EMPRÉSTIMO,
NO CERRADO: UM DIAGNÓSTICO",
em 11/12/2023, na UNESP, Faculdade de Engenharia,
Câmpus de Ilha Solteira.

Ilha Solteira - SP, 11 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Chefe do Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Profa. Dra. Ana Maria R. Cassiolato, a Profa. Dra. Kátia L. Maltoni, ao Philippe S. T. Silva, ao José Antonio Agustini e ao Diego Gonçalves Feitosa, pelos ensinamentos, experiências e por toda ajuda durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os amigos, ao meu namorado e a minha família pela companhia e pela força.

Agradeço ao DEFERS – Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos e colaboradores pela parceria.

Agradeço a Unesp de Ilha Solteira por todo o apoio e oportunidade.

Agradeço a todos os professores da unidade por toda amizade e conhecimento construídos durante meu período de formação.

RESUMO

“Áreas de empréstimo” resultam de ações antrópicas e representam um tipo de degradação ambiental de difícil recuperação devido à supressão da cobertura vegetal, do banco de plântulas, propágulos e sementes, e da retirada dos horizontes superficiais do solo. A Agricultura Sintrópica, de Ernst Götsch, que se baseia no plantio de sistemas agroflorestais biodiversos, tem sido estudada como alternativa para recuperação de ambientes impactados. Por esta razão, o objetivo do trabalho foi avaliar, por meio das mudanças ocorridas nos atributos físicos, químicos e biológicos, no crescimento na cobertura vegetal e na riqueza de espécies na área degradada, após anos da implementação de um sistema biodiverso de recuperação baseado nos conceitos da Agricultura Sintrópica. O experimento foi estabelecido no ano de 2016, na fazenda de ensino e pesquisa da Unesp/Campus de Ilha Solteira, município de Selvíria-MS, localizada em um ecótono entre Mata atlântica e Cerrado. Esta região sofreu agravada degradação ambiental, com formação de “áreas de empréstimo” durante a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, onde foram retirados até 12 m de solo, exposto o subsolo. Analisados cinco e seis anos após sua implementação, cada unidade experimental tinha aproximadamente um metro quadrado, estabelecidos em delineamento inteiramente casualizado, disposto em linha, com espaçamento de meio a um metro entre as repetições, com oito tratamentos com quatro repetições cada. Um tratamento adicional, chamado Testemunha (T), sem qualquer tratamento ou revolvimento do solo, foi estabelecido a oito metros da linha experimental, com oito metros de distância entre parcelas, servindo como referência para análise da condição atual de degradação do local. Toda a área experimental precisou ser mecanizada (retroescavadeira) para revolvimento do subsolo, devido à compactação, e que alcançou 1 m de profundidade. Os tratamentos foram constituídos por: T = ausência de tratamento; C = solo revolvido; Cp = C + composto orgânico (esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário - 15 kg por repetição); Sp = C + Cp + os primeiros cinco centímetros de serapilheira de área de Cerrado preservado (25 kg por repetição); Mx = C + Cp + mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) e de adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto e crotalária); Ba = C + Cp + um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca, MxSp, MxBa e MxSpBa. Para alguns atributos físicos, químicos e biológicos, respectivamente, foi constatado que a área sem tratamento (T) continuava com alta densidade e resistência à penetração; baixa porosidade, fertilidade e teor de matéria orgânica, e permanecia sem cobertura vegetal. Para os demais

tratamentos, houve melhora em alguns dos atributos analisados (indicadores da saúde do solo) devido à descompactação por ação mecanizada. O estabelecimento do MxSpBa foi satisfatório para redução de resistência a penetração, densidade, aumento da microporosidade e redução da temperatura no período das 14:30 min, aumento na matéria orgânica e cobertura vegetal, enquanto Sp e Ba foram mais eficientes na elevação da fertilidade do solo. Sendo assim, é possível concluir que a adição dos tratamentos com base na Agricultura Sintrópica, em especial o MxSpBa, possibilita mudanças nas condições edáficas e de cobertura do solo, resultando numa maior saúde do solo.

Palavras-chave: áreas degradadas; agroecologia; biodiversidade; consórcio; revegetação.

ABSTRACT

Degraded areas as a result of anthropic activities, without the fertile layer and exposed subsoil represent a type of environmental degradation that is difficult to recover due to the suppression of vegetation cover, seedlings, propagules, and seeds, as well as the removal of surface soil horizons. Syntropic Agriculture, by Ernst Götsch, which is based on the planting of diverse agroforestry systems, has been studied as an alternative for the recovery of impacted environments. Therefore, the objective of this study was to evaluate, through changes in physical, chemical, and biological attributes, growth in vegetation cover, and species richness in the degraded area, after years of implementing a diverse recovery system based on the concepts of Syntropic Agriculture. The experiment was established in 2016 at the teaching and research farm of Unesp/Ilha Solteira Campus, in the municipality of Selvíria-MS, located in an ecotone between the Atlantic Forest and the Cerrado. This region suffered aggravated environmental degradation, with the formation of degraded area during the construction of the Ilha Solteira Hydroelectric Plant, where up to 12 meters of soil were removed, exposing the subsoil. Analyzed five and six years after implementation, each experimental unit had approximately one square meter, established in a completely randomized design, arranged in a line, with spacing of half to one meter between repetitions, with eight treatments with four repetitions each. An additional treatment, called Control (T), without any treatment or soil disturbance, was established eight meters from the experimental line, with eight meters between plots, serving as a reference for analyzing the current degradation condition of the site. The entire experimental area needed to be mechanized (backhoe) for subsoil disturbance, as it was compacted to a depth for one meter. The treatments consisted of: T = no treatment; C = soil disturbance; Cp = C + organic compost (sheep manure, pruning leaves and poultry bedding - 15 kg per repetition); Sp = C + Cp + the first five centimeters of litter from the preserved Cerrado area (25 kg per repetition); Mx = C + Cp + mix of native seeds (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algod-do-cerrado, baru, barbatimão, canafistula and marolo) and green manure (mucuna-cinza, feijão-de-porco, milheto and crotalaria); Ba = C + Cp + a banana rhizome in the center of each plot surrounded by four pineapple seedlings, interspersed with three cassava cuttings, MxSp, MxBa and MxSpBa. For some physical, chemical, and biological attributes, respectively, it was found that the untreated area (T) continued to have high density and penetration resistance; low porosity, fertility, and organic matter content, and remained without vegetation cover. For the other treatments, there was improvement in some of the analyzed attributes (indicators of soil health) due to mechanical decompaction. The

establishment of MxSpBa was satisfactory for reducing penetration resistance, density, increasing microporosity, and reducing temperature at 2:30 PM, increasing organic matter and vegetation cover, while Sp and Ba were more efficient in increasing soil fertility. Therefore, it can be concluded that the addition of treatments based on Syntropic Agriculture, especially MxSpBa, allows changes in soil and cover conditions, resulting in greater soil health.

Keywords: degraded areas; agroecology; biodiversity; consortium; revegetation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Esquema representativo dos estratos arbóreos que podem ser encontrados em sistemas agroflorestais e/ou sistemas baseados na Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch.....	23
Figura 2	- Representação da sucessão de espécies no Cerrado, baseado nos sistemas sintrópicos desenvolvidos por Ernst Götsch. Da esquerda para a direita estão as espécies que entram na fase inicial e, com o tempo as espécies mais exigentes se estabelecem.....	23
Figura 3	- Representação esquemática da disposição das mudas e sementes. (A) Rizoma da bananeira, mudas de abacaxi e estacas de mandioca. (B) quando além desses elementos, adicionou-se o mix de sementes	25
Figura 4	- Preparo das parcelas experimentais. (A) Revolvimento do solo por operação mecanizada; (B) Solo preparado com esterco ovino e folhas de poda e cama de aviário; (C) Preparando os tratamentos; (D) Coleta da serrapilheira em área de Cerrado preservado; (E) e (F) Mix de sementes preparado e na parcela experimental.....	27
Figura 5	- (A) Termômetro digital utilizado para aferir a temperatura do solo; (B) Coleta do solo para determinação da umidade; (C) Amostras de solo indeformadas (em anel de koopeck), sobre mesa de tensão (coluna de água de 0,060 KPa) para determinação de macro e microporosidade, porosidade total e densidade do solo; (D) Mini infiltrômetro de disco utilizado para o cálculo da velocidade de infiltração de água no solo. (E) Verificação do menisco para anotação do nível de água no mini infiltrômetro de disco	29
Figura 6	- Análises biológicas. (A) e (B) Microscópio estereoscópio e placa de acrílico para contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares; (C) e (D) Respiração basal do solo e titulação do NaOH para quantificação de C-CO ₂ liberado; (E), (F) e (G) Cuba para fumigação da amostra de solo, curva de calibração em tubos de digestão e solução final das amostras para leitura do C-biomassa microbiana.....	31
Figura 7	- Análise da cobertura vegetal. (A) Medidas de altura para captação da luminosidade; (B) Densidade luminosa registrada pelo luxímetro, representando a cobertura vegetal; (C) Coleta dos espécimes para identificação, com anotações em campo das características morfológicas; (D) Montagem do espécime para secagem em estufa.....	32
Figura 8	- Densidade luminosa registrada pelo luxímetro, representando a cobertura vegetal, por tratamento, em LUX (W m ⁻²).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Relação de espécies utilizadas no mix de sementes, identificadas segundo a família botânica, o nome científico, nome popular, hábito, estrato ocupado, grupo sucessional e a função que desempenhará no sistema.....	26
Tabela 2	- Valores médios de densidade (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), macro e micro porosidade (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), porosidade total (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), velocidade de infiltração, temperatura (manhã e tarde), diferença de temperatura (08h40 e 14h30 min) umidade (manhã e tarde), por tratamento, Profundidade (Prof) e horário (Hor) de coleta, bem como valores de F e coeficiente de variação (CV, CV1 e CV2)	35
Tabela 3	- Desdobramento da temperatura nos horários 08h40 min e 10h30 minutos por tratamento, bem como valores de F.....	36
Tabela 4	Valores médios para resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica (a base de massa) por Tratamento (Trat) e Profundidade (Prof) de coleta, bem como valores de F e coeficiente de variação (CV).....	37
Tabela 5	- Valores médios de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), acidez potencial (H + Al), alumínio (Al ³⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%), cálcio na troca catiônica (Ca/CTC), magnésio na troca catiônica (Mg/CTC) e saturação por alumínio (m%), por tratamento (Trat) e Profundidade (Prof) de coleta, bem como valores de F e coeficiente de variação (CV).....	40
Tabela 6	- Valores médios de respiração basal do solo (RBS), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones, carbono da biomassa microbiana (CBM) e fosfatase ácida, por tratamento (Trat), bem como valores de F e coeficiente de variação (CV).....	43
Tabela 7	- Inventário das espécies com descrição da família botânica, nome científico, nome popular e hábito das espécies vegetais introduzidas no início do experimento, em 2016, bem como sua presença no sistema cinco anos depois, por tratamento.....	47
Tabela 8	- Inventário das espécies com descrição da família botânica, nome científico, nome popular e hábito das espécies vegetais espontâneas presentes no sistema cinco anos após sua implementação, por tratamento.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	A AGRICULTURA SINTRÓPICA, SEGUNDO ERNST GÖTSCH	15
2.2	Saúde do solo.....	17
2.3	Cerrado	18
2.4	Áreas degradadas devido À construção da usina hidrelétrica de Ilha Solteira.....	19
2.5	A Agricultura Sintrópica e a recuperação de ambientes degradados	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1	Preparo da área e montagem do experimento.....	24
3.2	atributos físicos do solo	28
3.3	ATRIBUTOS químicOs do solo	30
3.4	atributos Biológicas do solo.	30
3.4.1	Análise da cobertura vegetal do solo	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Atributos físicos do solo.....	34
4.2	Análise química do solo	39
4.3	Análise das características biológicas do solo.....	42
5	CONCLUSÕES.....	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O sistema capitalista unido ao crescimento populacional ao longo do tempo pressiona e intensifica a produção e o consumo, refletindo em vários setores da sociedade e levando ao esgotamento de recursos naturais (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2022). Essa política do desenvolvimentismo, em especial a partir dos anos 50 e sua reprodução no governo Médici com o desenvolvimento, sobretudo no setor de bens de consumo durável, indica ter impulsionado a construção da usina hidrelétrica de Ilha Solteira (FROELICH, 2007), com início das obras em 1965, operação do primeiro gerador em 1973 e conclusão em 1978 (LIMA, 2018). Sua construção gerou muitas consequências ambientais negativas pela não obrigatoriedade da elaboração do relatório de impacto ambiental na época, dando origem ao que hoje é chamado de área de empréstimo, local a jusante da usina resultado da retirada de solo para a construção de sua alvenaria (BONINI, 2012).

O local onde hoje se encontra em estado de extrema degradação pela remoção de vários metros do perfil do solo do que antes era um ecótono de Mata Atlântica e Cerrado, suprimindo a cobertura vegetal e demonstrando alta compactação superficial, resultando um subsolo exposto a mais de 50 anos, suscetível a chuvas e intempéries (FARDIN *et al.*, 2021).

Áreas degradadas como as áreas de empréstimos são focos de estudos para que alternativas para sua recuperação sejam possíveis desde a revolução verde, em marcos como o Protocolo de Kyoto e a Eco-92, onde concretizaram metas e caminhos para reverter e/ou amenizar a degradação ambiental, e para além, também buscar um desenvolvimento sustentável com produção e consumos conscientes e ambientalmente menos impactantes.

Nessa perspectiva, a Agricultura Sintrópica proposta por Ernst Götsch (GÖTSCH, 1995; GÖTSCH; ANDRADE; PASINI, 2022) traz a possibilidade da união entre recuperação, conservação ou redução de impactos ambientais, com produção de agricultáveis e pecuária (RODRIGUES; GIULIATTI; JÚNIOR, 2020), por meio do cultivo de plantas nativas em conjunto com espécies-chaves exóticas, buscando recuperar os serviços ecossistêmicos locais e dinamizar, através do manejo por força humana, os processos de sucessões ecológicas, possibilitando o restabelecimento da cobertura vegetal, atraindo e possibilitando o restabelecimento da fauna local e aumento da diversidade de espécies de plantas pela dispersão possibilitada pela presença destes animais (TRINDADE-SANTOS; CASTRO, 2021).

Hipótese H0

A aplicação de diferentes tratamentos com base na Agricultura Sintrópica não pode contribuir para o reestabelecimento da vegetação e da saúde do solo.

Hipótese H1

A aplicação de diferentes tratamentos com base na Agricultura Sintrópica pode contribuir para o reestabelecimento da vegetação e da saúde do solo.

Objetivo Geral

Avaliar se a implementação de sistemas biodiversos baseados na Agricultura Sintrópica de Ernest Götsch em área de empréstimo, possibilita mudanças edáficas positivas, permitindo o reestabelecimento da cobertura vegetal e o aumento da biodiversidade.

Objetivos específicos

Avaliar se os tratamentos estabelecidos promoveram mudanças significativas:

- nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo,
- no crescimento na cobertura vegetal e na riqueza de espécies na área degradada em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A AGRICULTURA SINTRÓPICA, SEGUNDO ERNST GÖTSCH

A Agricultura Sintrópica é uma iniciativa pensada por Ernst Götsch, que visa compatibilizar a produção agrícola e a produção animal com a recuperação, conservação ou redução da degradação ambiental gerada nos processos de produção tradicionais, pela implementação dos sistemas naturais de sucessão ecológica florestal, onde o ser humano é o agente dinamizador desses processos (GÖTSCH; ANDRADE; PASINI, 2022).

Ernst Götsch é um agrônomo suíço, nascido em 1948, em Raperswilen (GREGIO, 2020). No período que vivia na Europa, Ernst trabalhava em uma pesquisa de melhoramento genético na atual Agroscope onde, em 1979, arrendou terras na Suíça e Alemanha e iniciou seus experimentos empíricos na associação de cultivos de verduras, raízes e grãos, buscando aumentar sua produtividade. Mais tarde, uniu aos seus projetos uma maior quantidade e diversidade de plantas, levando em conta fatores como estágio sucessional, estrato, necessidade luminosa, entre outros (PEREIRA, 2019).

Com isto, surge o primeiro nome do que hoje é conhecido como Agricultura Sintrópica, resultado de pensamentos de conversão e acúmulo de energia do sistema para maior biodiversidade e produtividade, movido pela compreensão de que “os maiores resultados advêm de proporcionar as condições favoráveis a cada cultivo, e não da tentativa de criar ou enquadrar genótipos às condições que o ser humano as submete” (GÖTSCH; ANDRADE; PASINI, 2022).

A partir de então, Götsch se estabeleceu na fazenda de cacaueteiro no sul da Bahia, no Brasil, onde aperfeiçoou a técnica que descreverei a seguir.

Alguns benefícios de um sistema agrossilvicultural podem ser vistos num curto período de tempo após sua implementação, pelo baixo custo de implementação, uma vez que não necessita de nenhum tipo de insumo agrícola e, na maioria dos casos, não precisa de maquinário para o preparo do solo (GREGIO, 2020). Com o estabelecimento do sistema e o contato do agricultor com um local mais biodiverso e o manejo da terra, há o estabelecimento do serviço ambiental referente à conservação de beleza cênica, tanto da parte da flora quanto da fauna (BROWN *et al.*, 2015).

É possível, ainda, enumerar como benefício de curto prazo, a segurança alimentar e o aumento na complexidade do ecossistema local, mesmo que o período médio para que

um sistema se diversifique, melhore a fertilidade do solo e apresente uma produtividade elevada, seja de cinco a oito anos (MICCOLIS *et al.*, 2016; MICHELON, 2019).

Para tal estabelecimento, alguns parâmetros devem ser respeitados. O primeiro é o fator crítico para a determinação da saúde, taxa de crescimento e produtividade do sistema, e avalia o consórcio, a composição e a densidade das espécies, bem como a compatibilidade das plantas escolhidas para entrar no sistema, ou seja, a duração do ciclo reprodutivo e de vida, necessidades edáficas e adaptabilidade fisiológica e do clima (TRINDADE-SANTOS; CASTRO, 2021).

O segundo parâmetro evidencia a importância da capina seletiva, técnica que, quando bem executada, permite a permanência de espécies invasoras no sistema, pois seu manejo contribui para a adição de matéria orgânica no solo, assim como a poda, que em terceiro lugar. Esta traz como principais efeitos a aceleração da taxa de crescimento pela abertura de clareiras, o aumento da cobertura vegetal pela disposição das partes resultantes da poda no solo, o aumento da concentração da macro e microfauna edáfica pelo aumento da matéria orgânica e do incremento da fertilidade do solo. Ademais, a modificação direta do ambiente, com disponibilidade de espaço, luminosidade e área de copa, devido a seu manejo (SALOMÃO *et al.*, 2020). O quarto parâmetro, não menos importante, refere-se ao momento em que cada espécie é introduzida no sistema, o qual deve sempre respeitar o nível de estrato em que o indivíduo se encaixa e de qual fase sucessional ele pertence (PENEIREIRO, 2003).

Para que a completa compreensão desse parâmetro seja possível, o conceito de estratificação e sucessão ecológica precisam ser bem esclarecidos. A estratificação refere-se à quantidade luminosa ideal que uma planta precisa ou suporta (GUSMÃO *et al.*, 2020). A sucessão ecológica, no caso do sistema pensado por Götsch (GÖTSCH; ANDRADE; PASINI, 2022), refere-se ao momento em que cada planta entrará no sistema, respeitando sua estratificação. Nesse sentido, ainda segundo os mesmos autores, para a sucessão ecológica, quatro estágios são determinados.

O primeiro se refere às espécies pioneiras, plantas geralmente de estrato emergente, ou seja, toleram pouca sombra, são pouco exigentes e colonizam primeiro o local, principalmente se tratando de áreas degradadas; o segundo pertence às espécies florestais secundárias, plantas de sub bosque que surgirão após o estabelecimento das pioneiras, por apresentarem exigência um pouco maior quanto à fertilidade; o terceiro refere-se às espécies florestais primárias, um estágio mais avançado na sucessão, que precede o último estágio - espécies clímax. Neste último estrato, as espécies estão bem

estabelecidas, o sistema tem uma maior resiliência, as plantas presentes podem ser as com necessidades nutricionais mais rígidas enquanto as do estratos anterior, geralmente, estão próximas do fim do seu ciclo de vida (MICCOLIS *et al.*, 2016).

Sendo assim, é possível compreender que, o que move e fortalece o sucesso do sistema sintrópico, é a compreensão de que cada consórcio, dentro do sistema em sucessão, é determinado pelo anterior e determinará os seguintes, levando ao acúmulo de energia no sistema, aumento e adensamento da biodiversidade (GUSMÃO *et al.*, 2020).

Este processo de sucessão natural de espécies é contínuo e depende da identificação das espécies ótimas ou chaves, com compatibilidade climática e condições edáficas, para que seja possível a melhor composição da comunidade de plantas, ou seja, conhecer o bioma no qual se pretende instalar o sistema é crucial (TRINDADE-SANTOS; CASTRO, 2021). A ordem em que as espécies aparecem também é determinante, uma vez que seu ciclo e estratos devem estar alinhados com o estágio sucessional e com os cultivos que estão estabelecidos e os que virão a seguir, bem como sua interação com microrganismos e animais silvestres e domésticos, e com o clima e microclima da região. (GÖTSCH, 1995; GÖTSCH; ANDRADE; PASINI, 2022; GREGIO, 2020)

2.2 SAÚDE DO SOLO

A partir da lógica capitalista que objetiva o maior lucro pelo menor tempo de produção e menor custo, assim como a ânsia de dinamização e aumento de produtividade herdados pela terceira revolução industrial, respaldados na promessa de maior disponibilidade de alimentos numa sociedade que cada vez mais cresce seu número (ALBERGONI; PELAEZ, 2007), a revolução verde foi a transformação dos latifúndios em “grandes empresas”, onde, por meio da utilização de pacotes tecnológicos agrícolas, a superprodução no campo se estabeleceu (MOREIRA, 2000; 2012).

A partir desse aumento de produtividade e consequente uso do solo até sua exaustão, houve uma necessidade dos países se unirem para tentar reverter ou cessar a degradação do solo e do ambiente. O pacto mais recente, que reúne 193 países, é a agenda 2030, que reúne os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e suas metas, onde o objetivo 15.3 exemplifica a importância da conservação dos solos, e determina que a meta até 2030 é “combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo” (ONU, 2015).

Percebe-se, então, que é necessário um sistema de produção agrícola que atenda à demanda populacional ainda em crescimento, e que não dependa do desmatamento para novas áreas de plantio. De modo que, durante toda a produção, este seja capaz de sustentar a produtividade, mantendo ou melhorando os serviços ambientais, com sua degradação mínima ou inexistente. Este parágrafo vai de encontro com o conceito de saúde do solo – ou qualidade do solo- onde perpassa pelo conceito de Karlen (1997), onde um solo saudável é aquele que possui “aptidão [...] para suportar o crescimento das culturas sem se degradar ou prejudicar o meio ambiente”, onde Cherubin *et al.* (2021) complementa, chegando a seguinte definição: “capacidade contínua de um solo para funcionar como um ecossistema vivo vital que sustenta plantas, animais e seres humanos”.

A saúde do solo envolve muitas variáveis e, como não é possível diretamente avaliar sua saúde, indicadores são utilizados de modo a possibilitar, de forma qualitativa e/ou quantitativa, mensurar as mudanças ocorridas no espaço em estudo e estimar sua qualidade (DERPSCH, 2000; SILVA; ARAÚJO; BARROS, 2021).

Esses indicadores são divididos em físicos, químicos e/ou biológicos (ARAÚJO *et al.*, 2012). Os indicadores físicos são aqueles diretamente relacionados ao crescimento radicular em plantas, armazenamento de água e nutrientes e trocas gasosas (CARVALHO *et al.*, 2020). O mesmo autor exemplifica, também, que as análises se baseiam na textura, espessura, densidade, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados. Diretamente relacionado com o crescimento vegetal, os indicadores químicos do solo indicam os nutrientes presente, assim como o pH, teores de fósforo (P), potássio (K^+) e magnésio (Mg^{2+}), troca catiônica, matéria orgânica e soma de bases (SILVA *et al.*, 2020).

Por fim, os indicadores biológicos, que analisam a diversidade de vida no solo, especialmente na sua porção mais superficial, que desempenham inúmeras funções, como por exemplo, sua influência sobre a disponibilidade e solubilidade dos nutrientes no solo, interagindo assim com componentes químicos, físicos e com a porção vegetal (CAMELO, 2020). Sendo assim, avaliações da respiração basal, biomassa microbiana, quociente metabólico, processos enzimáticos, quantificação da macrofauna, assim como da cobertura vegetal, fazem parte das principais análises biológicas da saúde do solo (MENDES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

2.3 CERRADO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, após a Floresta Amazônica, abrangendo pequenas porções da Bolívia e do Paraguai (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002). Ele ocupa cerca de 21% do território nacional, se estendendo por quase toda a região centro-oeste do país (KLINK; MACHADO, 2005), totalizando uma área de 2.116.000 km². Seu clima é conhecido como estacional, ou seja, possui duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverno seco, com precipitação média de 1.500 mm e temperatura entre 22 e 27 °C. Em geral, por sua formação ser antiga, ou seja, apresentar alto intemperismo, é comum que os solos também sejam distróficos, poucos férteis, ácidos e com alto teor de alumínio (FARDIN *et al.*, 2021). O Cerrado também abriga boa parte das nascentes que dão origem a importantes rios, e abastece 67% das grandes bacias hidrográficas (MICCOLIS *et al.*, 2016).

O bioma é resultado de um conjunto de ecossistemas (KLINK; MACHADO, 2005) que englobam florestas, savanas e campos (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; WALTER, 2006), e é essa heterogeneidade e sua origem antiga que permite que este bioma abrigue mais de 160.000 espécies de plantas, animais e fungos, onde aproximadamente 1,5% das plantas vasculares do mundo – 4.400 espécies, são endêmicas deste bioma (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002). Essa grande biodiversidade vem sendo ameaçada progressivamente. Estima-se que 55% da sua área tenha sido decorrente do avanço das monoculturas, da criação de novas áreas para pastagem e a construção de usinas hidrelétricas. Assim, seus remanescentes se tornaram *hotspots* da diversidade, devido ao alto grau de endemismo existente e das ameaças que ainda sofrem, colocando em risco não somente a vida silvestre deste bioma, mas também o modo de vida de comunidades tradicionais extrativistas, quilombolas e agricultores familiares (MICCOLIS *et al.*, 2016) que dependem dos recursos e serviços ambientais que o Cerrado lhes proporciona, demonstrando assim não só a importância da conservação do Cerrado, mas também sua recuperação.

2.4 ÁREAS DEGRADADAS DEVIDO À CONSTRUÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA

O desenvolvimento humano predatório acarreta atividades que causam sérios distúrbios ao ambiente (FROELICH, 2001). Quando este distúrbio é de intensidade baixa, e o ambiente pode vir a se recuperar por conta própria, a condição recebe o nome de perturbação, mas, quando essa alteração é de intensidade alta, e este local precisa de

intervenção humana para que ele possa reestabelecer condições próximas a sua característica original - restauração, ou parte de suas características originais – reabilitação, ou para que ele tenha alguma função ambiental ou social – recuperação, essa condição é chamada de degradação. Sendo assim, áreas degradadas são aquelas que sofreram distúrbios de natureza biológica, física, química ou ambos e, portanto, mostram baixa resiliência e incapacidade de recuperação pela supressão da vegetação, decapitação do solo e perda do banco de sementes e plântulas (CARPANEZZI *et al.*, 1990).

Muitas atividades humanas vinculadas ao desenvolvimento resultam em áreas degradadas, como por exemplo, a mineração, a abertura de novas áreas para pastagens, o esgotamento do solo pela monocultura intensiva e grandes obras de engenharia. A construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Ilha Solteira, é um exemplo da situação descrita acima. Com a necessidade de expansão do comércio e da indústria, com a crise da seca e com a alta demanda por energia elétrica, em 1954 foi criado o Fundo Federal de Eletrificação, que findou também na construção, em 1968, da UHE de Ilha Solteira (BONFIM, 2019).

Sua construção, principalmente devido a não necessidade de um relatório de impactos ambientais na época (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007; SCABORA; MALTONI; CASSIOLATO, 2011), resultou em um intenso impacto ambiental, muito além do alagamento necessário para a construção de sua barragem, com formação das chamadas áreas de empréstimo, de onde são retirados os horizontes superficiais do solo para a construção da estrutura da barragem e da usina, restando locais com sinais de degradação severa, com potencial de regeneração natural considerado médio e lento (ALVES; NASCIMENTO; SOUZA, 2012).

2.5 A AGRICULTURA SINTRÓPICA E A RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES DEGRADADOS

Para a recuperação de um ambiente degradado, por definição, a restituição da área para a condição de não degradação já é suficiente (BRASIL, 2000), porém, também é aconselhável, segundo o Código Florestal brasileiro em seu artigo 19 inciso 3º, que se priorize o uso de espécies nativas e, pensando em uma recuperação em larga escala, a não necessidade de um manejo pós-implantação também seria um ponto positivo.

Os sistemas agroflorestais (SAF) biodiversos, sucessionais ou complexos são os mais indicados para essa finalidade, pois, dentro dos SAF, estes são os que mais se

assemelham aos pré-requisitos descritos anteriormente (RODRIGUES; GIULIATTI; JÚNIOR, 2020). Para tal, sua elaboração deve levar em conta alguns fundamentos, como o mix de sementes nativas, que, segundo a Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch, possui dois objetivos principais (MICCOLIS *et al.*, 2016). O primeiro, segundo o mesmo autor, é trazer o máximo possível de variabilidade genética entre as sementes de cada espécie, de modo que, idealmente, para cada espécie, tenha-se pelo menos 100 sementes, para que a probabilidade de englobar um indivíduo melhor adaptado aquele local, possa ser maior.

O segundo objetivo é dispor de uma diversidade de espécies, pensadas para cumprir um papel chave dentro do sistema, ocupando diversos estratos e, ainda, possibilitar o aumento da diversidade da fauna e da cobertura vegetal, com a inclusão das espécies nativas (GREGIO, 2020).

Para a escolha das espécies para o mix, deve-se pensar em cobrir todo o extrato do local e todos os grupos sucessionais devem estar presentes (PENEIREIRO, 2003). Na agroecologia, o estrato está correlacionado com a altura que cada espécie atinge e com sua incidência luminosa ideal. Plantas que não toleram sombra são chamadas de plantas de estrato emergente, enquanto plantas que toleram sombra ocasionalmente, são chamadas de plantas de estrato médio (GUSMÃO *et al.*, 2020). As plantas que são melhor adaptadas a receber pouca luz direta, sendo capazes de se desenvolverem com a luz que penetra a copa das árvores, são chamadas de plantas de estrato baixo e/ou rasteiro (MICCOLIS *et al.*, 2016; GREGIO, 2020).

Ainda segundo os mesmos autores, conhecer os estratos possibilita a otimização do espaço pela possibilidade de adensamento das espécies sem prejuízo no seu desenvolvimento. Um exemplo pode ser verificado na Figura 1, onde os estratos estão organizados de acordo com a tolerância a sombra, ou seja, da esquerda para a direita, no estrato mais baixo ficam as espécies com maior tolerantes, até as plantas mais altas, com tolerância menor a sombra. O grupo sucessional está relacionado com espécies que possuem o ciclo de vida semelhantes e necessidades eco fisiológicas compatíveis (TRINDADE-SANTOS; CASTRO, 2021). Os estágios sucessionais são divididos em placenta, pioneiras, secundárias iniciais e tardias e clímax (GUSMÃO *et al.*, 2020).

No decorrer dos estágios, temos desde o estabelecimento inicial possibilitando condições básicas para o aumento da cobertura vegetal, até as espécies que sucedem estes processos (Figura 2). Plantas de ciclo curto convivem com as plantas de ciclo longo e, ao final de cada ciclo, o ambiente herda seu material orgânico e interações ecológicas, contribuindo para melhorar a saúde do solo, favorecendo o estabelecimento de espécies

mais exigentes (MICCOLIS *et al.*, 2016; GREGIO, 2020; TRINDADE-SANTOS; CASTRO, 2021).

Figura 1 - Esquema representativo dos estratos arbóreos que podem ser encontrados em sistemas agroflorestais e/ou sistemas baseados na Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch



Fonte: MICCOLIS *et al.* (2016).

Figura 2 - Representação da sucessão de espécies no Cerrado, baseado nos sistemas sintrópicos desenvolvidos por Ernst Götsch. Da esquerda para a direita estão as espécies que entram na fase inicial e, com o tempo, as espécies mais exigentes se estabelecem.



Fonte: MICCOLIS *et al.* (2016).

É sabido que cada planta possui um ciclo e um crescimento determinado, e que algumas espécies dependem de diferentes intensidades luminosas ao longo do seu desenvolvimento, além de diferentes exigências nutricionais e tolerância a estresses (LAZZARINI *et al.*, 2017).

Planejar a recuperação de um ambiente degradado com base na Agricultura Sintrópica implica em um planejamento pensando a curto, médio e longo prazo, sem a necessidade de manejo intenso, para que ele seja possível de maneira efetiva (RODRIGUES; GIULIATTI; JÚNIOR, 2020). Sendo assim, além do estrato e do grupo sucessional, as espécie-chave são necessárias, pois cumprirão papéis importantes para algumas modificações edáficas que possibilitarão ambientes autossustentáveis (GREGIO, 2020; GUSMÃO *et al.*, 2020).

Além das possibilidades agricultáveis, outras funções também são necessárias em sistemas agroflorestais para recuperação de ambientes degradados, e tomando o Cerrado como exemplo, temos funções importantes a serem preenchidas, como o armazenamento de água, por se tratar de um bioma que possui um índice pluviométrico baixo; produção de biomassa, para que o aumento de matéria orgânica e da cobertura do solo (FARDIN *et al.*, 2021) sejam possíveis, principalmente em locais onde houve a supressão das camadas iniciais do solo e descompactação do solo, devido à grande compactação encontrada em ambientes degradados; instalação de plantas arbóreas perenes, que resistirão por anos no sistema, fornecendo sombra e capitando os nutrientes das camadas mais profundas do solo (MICCOLIS *et al.*, 2016; SALOMÃO *et al.*, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PREPARO DA ÁREA E MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O trabalho encontra-se em andamento na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira - SP, à margem direita do rio Paraná, a jusante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, Selvíria - MS ($-20^{\circ} 22' S$ e $-51^{\circ} 22' O$). A altitude média do local é de 335 metros, sob o clima do tipo Aw – tropical de inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013), apresentando temperaturas médias anuais de $23,7^{\circ} C$ e precipitação média anual de 1.300 mm. O solo do entorno foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (DEMATTE, 1980), com nomenclatura atualizada segundo Santos *et al.* (2018), sendo parte do grande grupo LATOSSOLO Vermelho distrófico e a litologia, segundo Maltoni (1994) e IPT (1981) composta pelo Arenito do Grupo Bauru, Formação Santo Anastácio, de granulação fina a média, apresentando subordinadamente conglomerados, siltitos e argilitos.

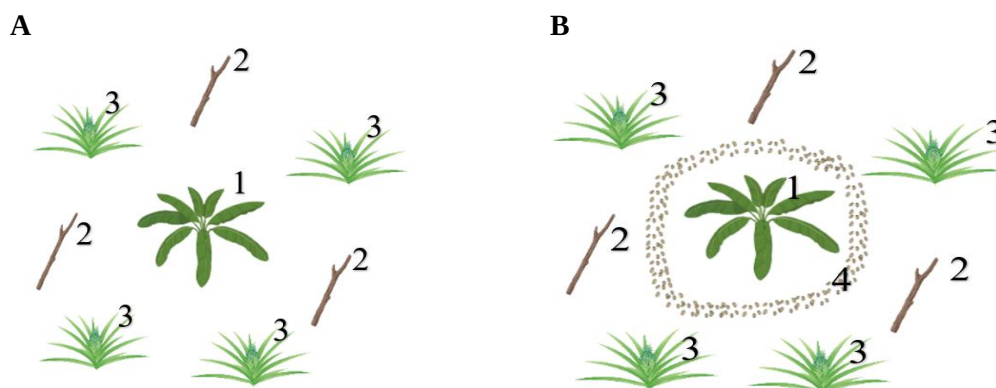
Originalmente, o local apresentava vegetação Savana e Floresta Estacional, por se tratar de um ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2004), sofrendo modificação devido a agravada degradação ambiental para o estabelecimento do canteiro de obras da construção da UHE de Ilha Solteira e para obtenção de material para construção das obras, o que foi conseguido produzindo diversas áreas de empréstimo no entorno do pátio de obras, destas áreas foram suprimidas a vegetação e camadas de solo, de até 12 m de profundidade, deixando exposto o subsolo (BONINI, 2012). Portanto, é importante esclarecer, que, este trabalho faz referência a análises clássicas de solo e se refere ao local de estudo com a mesma nomenclatura para efeito de padronização, mas o que se encontra exposto na área de estudo, é o subsolo.

Buscando a recuperação desta área por meio do restabelecimento de cobertura vegetal, em dezembro/2016 foi introduzido um sistema com bases na Agricultura Sintrópica (GÖTSCH, 1995), procedeu a análise de fertilidade do subsolo (Raij *et al.*, 2001), obtendo-se os seguintes resultados: fósforo (P)= 4 mg dm^{-3} ; matéria orgânica (MO)= 7 mg dm^{-3} ; reação do solo (pH) em CaCl_2 = 4,5; potássio (K^+)= $0,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; cálcio (Ca^{2+})= $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$)= $13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; alumínio (Al^{3+})= $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; soma de bases (SB)= $2,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; capacidade de troca catiônica (CTC)= $15,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação por bases (V%)= 16%.

Cada unidade experimental possui área de aproximadamente um metro quadrado, estabelecidos no campo, em modelo inteiramente casualizado com espaçamento de meio a um metro entre as repetições. Para preparo da área experimental, todas as repetições sofreram revolvimento do subsolo por ação mecanizada (retroescavadeira), uma vez que se encontrava muito compactado. O revolvimento alcançou 1 m de profundidade.

A introdução de sementes, mudas e estacas foi conduzida de forma circular, exceto onde os rizomas de bananeiras estavam presentes, que foram introduzidos no centro da parcela, e então circundados pelo plantio intercalado de estacas de mandioca e mudas de abacaxi. Nas repetições onde o rizoma de bananeira estava presente juntamente com o mix de sementes, este último circundou as demais espécies, ficando mais próximo à borda da repetição (Figura 3).

Figura 3 - Representação esquemática da disposição das mudas e sementes. (A) rizoma da bananeira, mudas de abacaxi e estacas de mandioca e (B) quando além desses elementos, adicionou-se o mix de sementes



Fonte: Elaboração da própria autora. 1= rizoma de bananeira, 2 = estaca de mandioca e 3= mudas de abacaxi

As espécies do mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão do cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) foram selecionadas seguindo os preceitos da Agricultura Sintrópica, considerando função, estrato e grupo sucessional (Tabela 1), estando a função relacionada ao efeito esperado, o estrato à quantidade de sombra tolerada pela espécie e o grupo sucessional ao momento em que a espécie entra ou o provável momento em que deixará o sistema. Junto ao tratamento Banana (Ba) foram introduzidas estacas de mandioca, mudas de abacaxi e sementes de adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto e crotalária) (Tabela 1 e Figura 4).

Tabela 1- Relação de espécies utilizadas no mix de sementes, identificadas segundo a família botânica, o nome científico, nome popular, hábito, estrato ocupado, grupo sucessional e a função que desempenhará no sistema

Família Nome científico	Nome popular	Hábito	Estrato	Grupo sucessional	Função
Anacardiaceae					
<i>Astronium urundeuva</i>	Aroeira	Arvore	Emergente	Secundária inicial	Espécie perene
Annonaceae					
<i>Annona coriacea</i>	Marolo	Arvore	Emergente	Pioneira	Espécie perene
Bixaceae					
<i>Cochlospermum regium</i>	Algodão do cerrado	Arbusto	Emergente	Pioneira, secundaria inicial ou clímax	Espécie perene
Bromeliaceae					
<i>Ananas ananassoides</i>	Abacaxi	Arbusto	Baixo	Pioneira	Agregados do solo
Euphorbiaceae					
<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca	Arbusto	Emergente	Pioneira	Descompactação do solo
Fabaceae					
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-guandu	Arbusto	Emergente	Pioneira	Adubo verde
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaiba	Arvore	Emergente	Secundária tardia	Espécie perene
<i>Crotalaria cf. stipularia</i>	Crotalaria de caule alado	Erva	Emergente	Pioneira	Adubo verde
<i>Dipteryx alata</i>	Baru	Arvore	Emergente	Pioneira	Espécie perene
<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna-cinza	Trepadeira	Emergente	Pioneira	Adubo verde
<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula	Arvore	Emergente	pioneira	Espécie perene
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	Barbatimão	Arbórea	Emergente	Secundária tardia	Espécie perene
Musaceae					
<i>Musa sp.</i>	Banana	Erva	Médio	Secundária	Produção de biomassa
Poaceae					
<i>Pennisetum glaucum</i>	Milheto	Erva	Emergente	Pioneira	Adubo verde
Rutaceae					
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-porca	Arvore	Emergente	Pioneira	Espécie perene

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 4 – Preparo das parcelas experimentais. (A) Revolvimento do subsolo por operação mecanizada; (B) Composto preparado com esterco ovino e folhas de poda e cama de aviário; (C) Preparando os tratamentos; (D) Coleta da serrapilheira em área de Cerrado preservado; (E) e (F) Mix de sementes preparado e na parcela experimental

A



B



C



D



E



F



Fonte: SANTOS A. A. (2016)

O composto (Cp) utilizado foi preparado misturando-se esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, sendo introduzido recebeu 15 kg do composto, por parcela. A serrapilheira (Sp) foi coletada em área de Cerrado preservado, apenas os primeiros cinco centímetros de profundidade, sendo introduzido 25 kg por parcela. O Mix foi preparado misturando sementes de espécies nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-

do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula, marolo) e de adubos-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, crotalária) (Tabela 1). O experimento contou com 8 tratamentos e 4 repetições (parcelas) cada, como segue:

- a) **C: Controle** - Solo revolvido por operação mecanizada
- b) **Cp: Composto** – C + 15 kg de composto orgânico
- c) **Sp: Serrapilheira** – C + 25 kg de serapilheira
- d) **Mx: Mix de sementes** - C + 15 kg de composto, mix de sementes de nativas e adubos-verde
- e) **Ba: Banana** - Solo revolvido, 15 kg de composto, o rizoma de bananeira circundado por 4 mudas de abacaxi intercaladas com 3 estacas de mandioca
- f) **MxBa: Mix de sementes + Banana** - C + 15 kg de composto, mix de sementes de nativas e adubos-verde, o rizoma de bananeira circundado por quatro mudas de abacaxi intercaladas com 3 estacas de mandioca,
- g) **MxSp: Mix de sementes + Serrapilheira** - C + mix de sementes de nativas e adubos-verde, 15 kg de composto e 25 kg de serapilheira
- h) **MxSpBa: Mix de sementes + Serrapilheira + Banana** - C + 15 kg de composto, 25 kg de serapilheira, o rizoma de bananeira circundado por 4 mudas de abacaxi intercaladas com 3 estacas de mandioca e o mix de semente.

O primeiro monitoramento da área experimental foi iniciado, seis anos após (março/21) sua implantação (março/16), quando a temperatura foi aferida em dois horários, as 8:40 e as 14:30 h. Posteriormente, se sucederam mais 11 avaliações, até fevereiro/2022, sempre nos dois horários. Além das parcelas experimentais foram demarcadas 4 parcelas adicionais, aqui tratadas como **Testemunha (T)**, na área experimentais e distantes 8 m das demais parcelas. Como não sofreu qualquer intervenção para recuperação, serviram como referencial da degradação inicial do local, da condição atual e para comparação com os demais tratamentos.

3.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A temperatura do solo foi aferida com auxílio de termômetro digital (Lei Li Imports, modelo TP101 – espeto, com dimensões de 23 x 2 cm e haste de 15 cm). As medidas foram feitas em dois horários, 8:40 e 14:30 h, há uma profundidade de 0,04 m,

em transectos, com três pontos de leitura com distâncias iguais entre si, em cada parcela (Figura 5).

Figura 5 – (A) Termômetro digital utilizado para aferir a temperatura do solo; (B) Coleta do solo para determinação da umidade; (C) Amostras de solo indeformadas (em anel de koopeck), sobre mesa de tensão (coluna de água de 0,060 KPa) para determinação de macro e micro porosidades, porosidade total e densidade do solo; (D) Mini infiltrômetro de disco utilizado para o cálculo da velocidade de infiltração de água no solo. (E) Verificação do menisco para anotação do nível de água no mini infiltrômetro de disco



Fonte: Elaboração da própria autora.

Nos mesmos horários e profundidade, coletou-se, aleatoriamente, uma amostra de subsolo, por parcela, para determinação da umidade gravimétrica de acordo com Embrapa (2017). Estas foram colocadas em sacos plásticos fechados e refrigerados até o momento da análise (VIANA; TEIXEIRA, DONAGEMMA, 2017).

A resistência do solo à penetração foi avaliada nas mesmas parcelas de modo aleatório utilizando o penetrógrafo Mecânico Semiautomático (SoilControl – modelo Penetrographerpat SC-60).

Em cada parcela, foi coletada uma amostra de solo indeformado com anel volumétrico (Figura 5) de maneira aleatória e em duas profundidades (0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,30 m) para determinação da macro, microporosidade, e porosidade total pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 0,060 kPa (ALMEIDA *et al.*, 2017a) e para determinação da densidade do solo (ALMEIDA *et al.*, 2017b).

Para o cálculo da velocidade de infiltração de água no solo (Figura 5) foi utilizado o mini infiltrômetro de disco (Decagon devices - modelo S) para uma aferição ao acaso em cada parcela (ZANG, 1997).

3.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

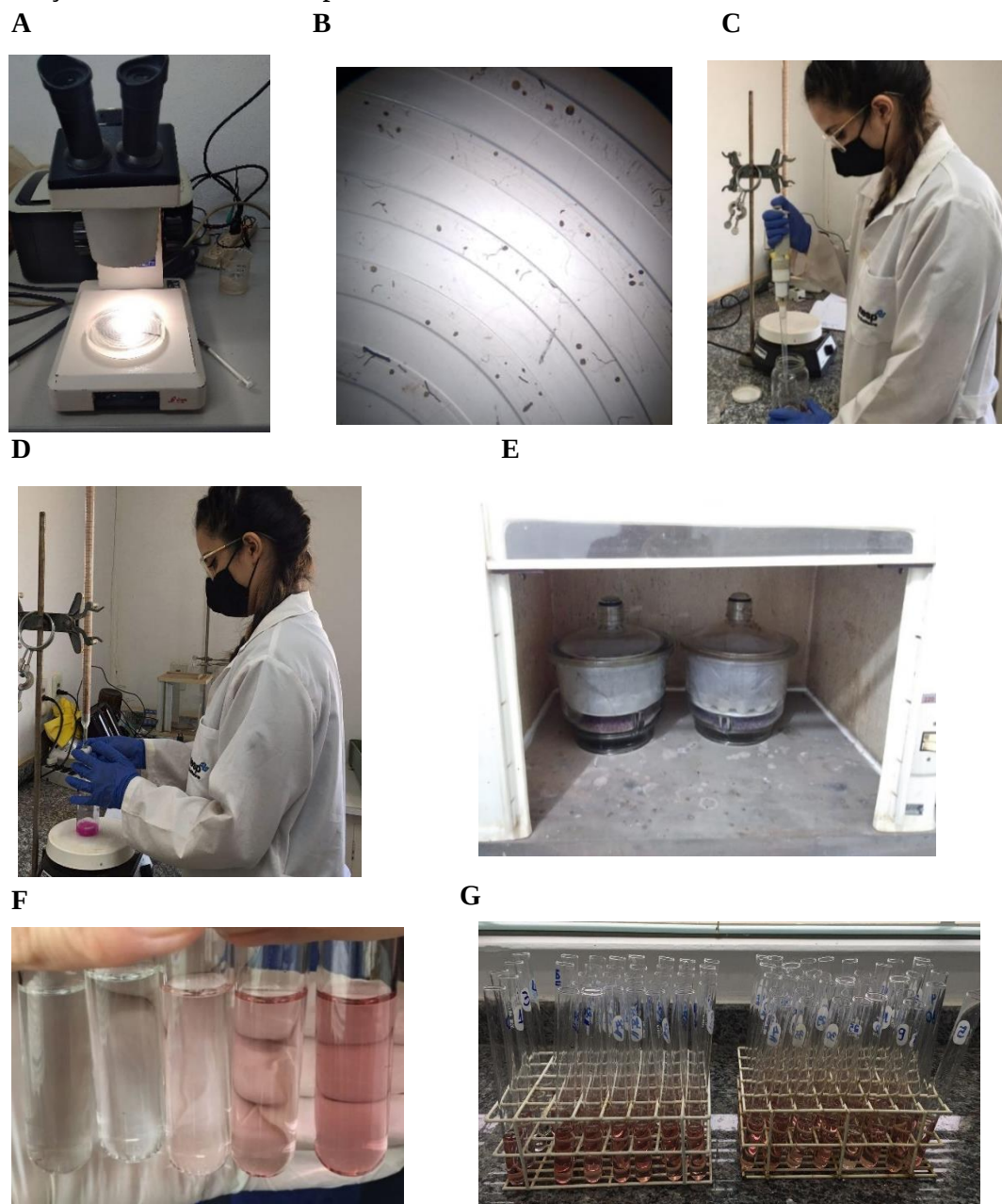
Para determinação do fósforo, matéria orgânica, reação do solo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação de bases e saturação de alumínio, amostras de subsolo foram coletadas em duas profundidades (0,0 - 0,10 e 0,10 - 0,30 m) em todas as parcelas experimentais, e na sequência foram secas ao ar, peneiradas (malha de 2 mm) e analisadas de acordo com Raij *et al.* (2001).

3.4 ATRIBUTOS BIOLÓGICAS DO SOLO.

Para as determinações de atributos biológicos, amostras do subsolo foram coletadas com auxílio de trado, na profundidade de 0,0 - 0,10 m e peneiradas. Para a avaliação do número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foram utilizadas 00 g de cada amostra seca. A separação dos esporos foi realizada seguindo o método da agitação em água, seguida de decantação e peneiramento (GERDEMANN; NICOLSON, 1963); centrifugação e flutuação com sacarose 60% (JENKINS, 1964). Os esporos foram coletados, enxaguados (retirada da sacarose) e depositados em placa de acrílico com anéis concêntricos para contagem (Figura 6).

Para a respiração basal do solo, a quantificação do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado foi realizada a partir das amostras coletadas. Estas foram peneiradas e tiveram a umidade determinada e corrigida para 70% da capacidade de campo (ANDERSON; DOMSCH, 1989). O conjunto foi mantido sob temperatura ambiente por 24 dias, tendo sido o tempo de incubação determinado por meio de uma curva resultante de um monitoramento de frascos extras, em dias alternados.

Figura 6 - Análises biológicas. (A) e (B) Microscópio estereoscópio e placa de acrílico para contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares; (C) e (D) Respiração basal do solo e titulação do NaOH para quantificação de C-CO₂ liberado; (E), (F) e (G) Cuba para fumigação da amostra de solo, curva de calibração em tubos de digestão e solução final das amostras para leitura do carbono da biomassa microbiana



Fonte: Elaboração da própria autora.

A titulação da base livre com HCl 0,1 mol L⁻¹ permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que reagiu com NaOH (ANDERSON; DOMSCH, 1989) e, consequentemente, o C-CO₂ liberado com a respiração microbiana (Figura 6). Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) seguiu-se o método de

fumigação-extração, utilizando 2 amostras de 10 g de subsolo, por parcela, sendo uma fumigada com clorofórmio (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Após a extração, o carbono desprendido com a morte dos microrganismos, pela fumigação, foi comparado ao das amostras não fumigadas, e determinado por leitura em espectrofotômetro Bioespectro SP-220, no comprimento de onda de 495 nm (SILVA *et al.*, 2016) (Figura 6).

3.4.1 ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL DO SOLO

A captação da luminosidade foi realizada com luxímetro digital (Instrutherm, modelo LD-209 e receptor de 85 x 55 x 12 mm) (Figura 7).

Figura 7 - Análise da cobertura vegetal. (A) Medidas de altura para captação da luminosidade; (B) Densidade luminosa registrada pelo luxímetro, representando a cobertura vegetal; (C) Coleta dos espécimes para identificação, com anotações em campo das características morfológicas; (D) Montagem do espécime para secagem

A



B



C



D



Fonte: Elaboração da própria autora.

Em cada parcela foi traçado um transecto, com três pontos de leitura, em cada parcela experimental e em três alturas, rente ao chão (0,00 m), na altura do peito (1,10 m) e braço estendido (2,10 m)

Para a elaboração do inventário de espécies vegetais foram coletadas um exemplar de cada espécie não identificada presente em cada parcela. Esses espécimes foram etiquetados e fotografados em campo, para então serem levados ao Campus da UNESP, onde lá foram secos em estufa para secagem com circulação mecânica de ar e armazenados em local resfriado para posterior identificação (Figura 7).

Todos dados obtidos foram analisados segundo delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, e as médias comparadas pelo teste Duncan a 5% de probabilidade

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Para a temperatura, não houve diferença significativa no período da manhã (8:40 h) e houve diferença significativa no período da tarde (14:30 h) e para a interação tratamento/horário, onde entre a manhã e à tarde, a temperatura foi mais amena na parte da manhã (Tabela 3). Dentre os tratamentos, T apresentou a temperatura mais elevada (38,98 °C) foi detectada no T, seguido do C, com 34,82 °C e os demais tratamentos com uma média de 30,54 °C, com um desvio padrão de 0,636 °C. Este fato ocorreu, provavelmente, devido a maior quantidade de cobertura vegetal (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007), como detectado nos tratamentos Cp, Sp, Mx, Ba, MxSp, MxBa, MxSpBa, em comparação com T e C, que mostra os maiores valores para intensidade luminosa (Figura 5; Tabela 77 e 8).

Outro fator relacionado com cobertura vegetal, é sua ausência no tratamento T (tratamento onde nenhuma ação para recuperação foi realizada), que exibiu maior densidade do solo (Tabela 2), indicando que as ações implementadas, como o revolvimento do solo e a presença da cobertura vegetal podem estar relacionadas com a redução da densidade (RODRIGUES; MALTONI; CASSIOLATO, 2007), com destaque ao tratamento MxSpBa, com a menor densidade foi encontrada ($DS=1,14 \text{ g dm}^{-3}$).

As análises de macroporosidade, velocidade de infiltração básica, e umidade do solo (8:40 e 14:30 h) não apresentaram variações significativas. A microporosidade aumentou em todos os tratamentos, em relação à testemunha e o revolvimento do solo pode explicar este comportamento (Tabela 2). Observa-se que a macroporosidade não se alterou, os incrementos na microporosidade ficam refletidos na porosidade total (PT), que tem valores próximos de 50% e macroporosidade um pouco acima de 10%, na maioria dos tratamentos, que, apesar de não atingir a proporção ideal de microporosidade representando dois terços da porosidade total (CARVALHO *et al.*, 2020), o aumento da porosidade no local já beneficia a o escoamento de água para o solo pela macroporosidade e retenção de água no solo pelo aumento da microporosidade (SILVA *et al.*, 2020).

Tabela 2- Valores médios de densidade (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), macro e micro porosidade (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), porosidade total (0,00-0,10 e 0,10-0,30 m), velocidade de infiltração, temperatura (manhã e tarde), diferença de temperatura (8:40 e 14:30 h), umidade (manhã e tarde), por tratamento, Profundidade (Prof) e horário (Hor) de coleta, bem como valores de F e coeficiente de variação (CV, CV1 e CV2)

Tratamentos	Densidade	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	VI	Temperatura		Umidade	
	(g dm ⁻³)	------(%)-----			---(cm h ⁻¹)---	------(°C)-----		------(%)-----	
						8:40h	14:30h	8:40h	14:30h
T	1,5 ^a	11,7a	28,6c	40,3c	0,0030a	29,9a	39,0a	1,3a	1,1a
C	1,3bc	5,9a	42,7a	48,6ab	0,0013a	28,0a	34,8b	1,4a	1,2a
Cp	1,3bc	12,6a	32,0bc	44,6bc	0,0007a	27,1a	30,6c	1,4a	1,3a
Sp	1,2bc	12,8a	36,3abc	49,2ab	0,0017a	27,1a	29,9c	1,6a	1,6a
Mx	1,4b	11,0a	40,4ab	51,4a	0,0026a	27,1a	31,9c	1,8a	1,7a
Ba	1,2bc	17,2a	28,9c	46,1ab	0,0018a	26,7a	29,9c	1,5a	1,5a
MxSp	1,3bc	13,0a	35,6abc	48,5ab	0,0012a	27,2a	30,6c	1,7a	1,4a
MxBa	1,3bc	13,6a	35,9abc	49,5ab	0,0023a	27,4a	30,5c	1,4a	1,3a
MxSpxBa	1,1c	10,5a	37,1abc	47,6ab	0,0021a	26,8a	30,4c	1,5a	1,3a
Valor de F									
Trat.	3,613 [*]	1,404 ^(ns)	2,986 [*]	3,434 [*]	1,637 ^(ns)	1,595 ^(ns)	15,155 [*]	2,57 ^(ns)	1,38 ^(ns)
Hor.	-	-	-	-	-	9,747 ^{**}		7,82 ^(ns)	
Trat x Hor	-	-	-	-	-	5,56 ^{**}		0,45 ^(ns)	
CV ¹ (%)	-	-	-	-	-	6,12		18,28	
CV ² (%)	-	-	-	-	-	4,27		13,10	
CV (%)	12,81	59,66	21,89	10,47	60,59	-		-	

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca. @Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade. * e ** valores de F significativos a 5, e 1 % respectivamente, ^(ns) – valores de F não significativos. .

Tabela 3 - Desdobramento da temperatura nos horários 8:40 e 1430 h por tratamento, bem como valores de F

Tratamentos	Horários		Valores de F
	8:40 h	14:30 h	
T	29,9Ab	38,98Aa	102,522**
C	28,0Ab	34,82Ba	57,718**
Cp	27,1Ab	30,62Ca	15,025**
Sp	27,1Ab	29,86Ca	9,766**
Mx	27,1Ab	31,92Ca	28,881**
Ba	26,7Ab	29,88Ca	13,035**
MxSp	30,6Ab	27,19Ca	14,667**
MxBa	2704Ab	30,45Ca	12,157**
MxSpBa	26,8Ab	30,80Ca	16,186**

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafistula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O tratamento T demonstrou o maior valor de densidade, o menor valor de microporosidade e porosidade total, além da maior resistência a penetração em todas as profundidades (Tabela 4) e a maior temperatura entre todos os tratamentos. O tratamento MxSpBa apresentou a menor densidade, uma boa relação entre macro e microporosidade, ou seja, próximo a relação de dois terços da microporosidade e um terço da macroporidade em relação a porosidade total (CARVALHO *et al.*, 2020), baixa resistência a penetração nos primeiros 15 cm e uma reduzida temperatura no período da tarde, quando comparado aos demais tratamentos. Este, portanto, é o tratamento que reúne os resultados mais satisfatórios considerando todos os parâmetros físicos analisados.

É possível observar que nenhum tratamento na análise da umidade gravimétrica para a correlação com a resistência a penetração apresentou diferença significativa (Tabela 4), o que indica que a diferença de umidade não alterou o resultado da resistência a penetração por aumentar ou diminuir a coesão entre partículas (BONINI, 2012).

Tabela 4 - Valores médios para resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica (a base de massa) por Tratamento (Trat) e Profundidade (Prof) de coleta, bem como valores de F, e coeficiente de variação (CV).

Trat.	Resistência do solo a penetração - MPa				
	0,00-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10 – 0,15 m	0,15 – 0,20 m	0,20 – 0,25 m
T	24,38a	29,00a	36,88a	63,00a	68,63a
C	10,00b	12,25b	24,28ab	28,25a	35,75a
Cp	9,25bc	9,75bc	23,75ab	14,75a	63,75a
Sp	3,38bcde	3,75c	5,75b	9,63a	31,38a
Mx	8,63bc	7,75bc	11,50b	16,75a	31,00a
Ba	0,75e	2,88c	9,25b	14,00a	17,50a
MxSp	7,75bcd	7,38bc	15,75b	29,75a	41,25a
MxBa	2,75cde	7,75bc	12,00b	17,88a	18,25a
MxSpBa	1,63de	4,75bc	9,13b	23,88a	29,88a
Valor de F	11,462**	9,457**	2,789*	2,207 ^(ns)	1,891 ^(ns)
CV %	55,90	54,17	75,55	89,09	869,71
Trat.	Umidade gravimétrica (kg.Kg ⁻¹) -				
	0,00 – 0,10 m		0,10 – 0,30 m		
T	2,35a		1,57a		
C	2,53a		3,04a		
Cp	1,91a		2,28a		
Sp	4,26a		3,59a		
Mx	1,94a		4,13a		
Ba	2,44a		2,16a		
MxSp	1,88a		2,29a		
MxBa	2,12a		1,82a		
MxSpBa	2,79a		2,32a		
Valor de F			1,44 ^(ns)		
CV %			60,08		

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalaria); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca..

Os valores de resistência mecânica do solo a penetração (RP) na profundidade de 0,15 a 0,25 m não apresentaram diferenças significativas, demonstrando que os tratamentos não modificaram as condições a partir desta profundidade (0,15 m). De acordo com Moraes (2014), para a maioria das culturas anuais, a partir de 1,1 Mpa, ha⁻¹ uma restrição fraca no crescimento de raízes e o que é chamado de resistência baixa. A partir de 2,6 Mpa, a restrição é moderada e, acima de 5,1 Mpa, a resistência é moderada com início de críticas restrições. Caso os valores sejam superiores a 15 Mpa, onde há uma alta resistência, não haverá o crescimento de raízes. Com base nesses valores, é possível inferir que, dos tratamentos, na profundidade de 0,00 – 0,05 m, Ba apresentou uma resistência de 0,75 MPa e, conseqüentemente, uma fraca limitação para o crescimento de raízes) (Tabela 4). Em sequência, os tratamentos MxSpBa, MxSp, apresentaram resultados inferiores a 5 MPa, apresenta resistência limítrofe para o surgimento de críticas restrições ao crescimento de raízes.

Na profundidade de 0,5 – 0,10 m, os tratamentos Ba, MxSp e Sp também mostram resistência menor que 5 MPa, enquanto que na profundidade de 0,10 – 0,15 m, apenas o tratamento Sp exibiu resistência próxima ao valor limite de 5,1 Mpa, com resistência a penetração de 5,75 MPa, enquanto os outros tratamentos apresentaram resultados maiores que 9,13 Mpa, indicando alta resistência e uma restrição severa ao crescimento de raízes (Tabela 4). Portanto, estes resultados mostram que até a profundidade de 0,10 m, os tratamentos Sp, Ba e MxSpBa ficam abaixo do limiar de restrições de crescimento de raízes, como proposto por Moraes (2014).

Em contraste, a RP no tratamento T foi de 24,38 MPa na profundidade 0,00 – 0,05 m, 29,00 MPa na profundidade 0,05 – 0,10 m e 36,88 MPa na profundidade 0,10 – 0,15 m, o que representa uma resistência a penetração extremamente alta e uma limitação determinante para o crescimento de raízes (Tabela 4). Apesar destes resultados, T, na elaboração do inventário, como será apresentado no tópico 4.3.1, foi encontrada uma árvore, conhecida como lixeira, que mesmo apesar da alta resistência a penetração e densidade apresentada pelo tratamento, ela obteve sucesso em seu crescimento.

Fato como estes, segundo Haridasan (2008), ocorre graças aos mecanismos utilizados pelas plantas do Cerrado que lhe conferem características que tornam possível sua permanência em locais com condições não ideais. Um destes exemplos, segundo o mesmo autor, seria o dimorfismo radicular, que pode justificar o desenvolvimento da lixeira. Este fato é de grande importância, pois assim, é possível inferir que com a redução

da densidade, da resistência a penetração e com o aumento da porosidade e a redução da temperatura proporcionados pelo acréscimo dos tratamentos, a dinamização do processo de recuperação se confirma muito promissor.

Em soma ao discutido acima, é importante lembrar, assim como bem reforça Alves, Nascimento e Souza (2012), que áreas severamente degradadas, especialmente onde há a exposição do subsolo, como é o caso das áreas de empréstimo, possuem uma lenta recuperação dos atributos físicos quando comparada com a superfície e pode levar dezenas e até centenas de anos para acontecer, principalmente sem a intervenção antrópica. Isso explica sua lenta recuperação desde a década de 70, com a criação da área de empréstimo, e justifica as mudanças físicas não terem alcançado profundidades maiores que 0,15 m.

4.2 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

A análise da disponibilidade de macronutrientes primários e secundários P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, indica a ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos, permitindo destacar os tratamentos Cp, Ba, MxSp e MxSpBa, onde o maior número de variáveis químicas apresentou aumento em relação ao tratamento T (Tabela 5). Os teores de MO aumentaram em relação a T, e os tratamentos que produziram os maiores teores foram Cp, Ba, MxSp e MxSpBa. Embora com valores mais elevados transcorridos cinco ou seis anos da instalação do processo de recuperação, em profundidade não foram observadas variações.

O teor de P do solo foi de 1 mg dm⁻³ no tratamento T (Tabela 5). A partir desta informação pode-se afirmar que todos os tratamentos contribuíram para elevar os teores de P do solo, com destaque para os tratamentos Cp, Ba, MxSp e MxspBa. Os incrementos foram significativos para tratamentos em profundidade, chegando a dobrar de valor na profundidade de 0,10 – 0,30 m. Como as avaliações foram realizadas até a profundidade de 0,30 m não há entendimento sobre as maiores profundidades, mas até 0,30 m os teores de P são mais elevados que os da área que se encontra em recuperação natural (trat. T).

O pH do solo não variou em profundidade e embora permaneça fortemente ácido (SANTOS *et al.*, 2018), apresentou incrementos, chegando a 4,8 no tratamento Ba, mas destacam-se ainda os tratamentos Cp, MxSp, MxBa, e MxSpBa (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial (H + Al), alumínio (Al^{3+}), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%), cálcio na troca catiônica (Ca/CTC), magnésio na troca catiônica (Mg/CTC) e saturação por alumínio (m%), por tratamento (Trat) e Profundidade (Prof) de coleta, bem como valores de F e coeficiente de variação (CV)

	MO	P	pH	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	Al^{3+}	SB	CTC	V	m
	(g.dm ⁻³)	(mg.dm ⁻³)	(CaCl ₂)	-----	-----	-----	(mmolc.dm ⁻³)	-----	-----	-----	-----	(%)
Trat.												
T	7,75d	1,00c	4,18c	0,66d	2,50c	1,13d	29,88a	8,00a	4,29c	34,16e	12,63c	64,75a
C	10,63cd	13,63abc	4,45bc	1,89cd	7,75ab	4,38cd	26,25a	3,00bc	14,013b	40,26de	33,75b	21,00bc
Cp	16,00ab	29,25a	4,56ab	2,60bc	13,00a	7,38abc	30,38a	2,75bc	22,98ab	53,35ab	42,50ab	11,88bc
Top	13,78bc	13,25abc	4,48abc	1,74cd	10,00ab	5,75abc	30,66a	3,50bc	17,49ab	48,11abcd	35,25ab	18,88bc
Mx	13,50bc	14,38abc	4,40bc	1,36cd	8,13ab	5,25bc	30,75a	4,50bc	14,74b	45,49bcd	31,75b	27,75b
Ba	15,75ab	26,13a	4,79a	4,60a	11,75ab	8,63ab	25,25a	2,00c	24,98a	50,23abcd	48,75a	9,38c
MxSp	15,75ab	23,13ab	4,56ab	1,64cd	12,75 ^a	7,75abc	30,00a	3,13bc	22,14ab	52,14abc	40,25ab	15,63bc
MxBa	12,50bc	5,75bc	4,60ab	3,33ab	6,88bc	6,00abc	26,25a	2,88bc	16,20ab	42,45cde	36,00ab	22,00bc
MxSpBa	15,38a	23,13ab	4,50ab	2,58bc	12,25a	9,50a	33,63a	3,13bc	24,33a	57,95a	42,13ab	12,38bc
Prof.												
0-0,10m	14,25a	11,05b	4,46a	2,54a	8,56a	6,11a	30,11a	3,78a	17,20a	47,31a	35,14a	22,17a
0,10m-0,30m	13,22a	21,97a	4,54a	1,99a	10,33a	6,28a	28,33a	3,53a	18,60a	45,94a	36,64a	23,08a
Valores de F												
Trat.	6,255**	2,757*	2,817*	6,767**	4,467**	4,281**	1,621 ^(ns)	8,145**	5,024**	5,240**	5,096**	11,23**
Prof.	1,450 ^(ns)	8,333**	1,301 ^(ns)	3,255 ^(ns)	2,634 ^(ns)	0,0422 ^(ns)	1,550 ^(ns)	0,370 ^(ns)	0,511 ^(ns)	0,030 ^(ns)	0,249 ^(ns)	0,075 ^(ns)
TratxProf	0,680 ^(ns)	0,402 ^(ns)	0,309 ^(ns)	0,303 ^(ns)	0,303 ^(ns)	0,295 ^(ns)	0,170 ^(ns)	0,442 ^(ns)	0,277 ^(ns)	0,384 ^(ns)	0,190 ^(ns)	0,280 ^(ns)
CV (%)	26	97	6	56	49	56	21	48	47	19	36	63

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafistula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca. @Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade. * e ** valores de F significativos a 5, e 1 % respectivamente, ^(ns) – valores de F não significativos.

Mudanças de extremamente ácido ($\text{pH} < 4,3$) para fortemente ácido ($4,3 - 5,3$) pode parecer incipiente se forem consideradas as culturas agrícolas cultivadas, cuja faixa de pH indicada para plantio está em torno de 6,5 (KETTERINGS *et al.*, 2016). Porém, isto pode não representar um impedimento ao estabelecimento das plantas nativas do Cerrado, como descreve Haridasan (2008), por apresentar:

Vários mecanismos adaptativos, como o dimorfismo radicular, a transpiração noturna, a reabsorção de nutrientes antes da senescência das folhas, a reciclagem de nutrientes da serapilheira e as associações micorrízicas, [que] poderiam estar envolvidos para tornar as comunidades de plantas nativas mais eficientes do que as plantas cultivadas em solos pobres.

Tais mecanismos adaptativos poderiam contribuir para seu sucesso, juntamente com a recuperação de outros indicadores de saúde do solo além da fertilidade, como visto na análise das características físicas.

Os teores de K^+ variaram de 0,7 a 4,6 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ tendo os tratamentos Cp, Ba, MxBa apresentado os maiores resultados, não houve variação em profundidade. Com relação ao Ca^{+2} , todos os tratamentos tiveram os teores aumentados, com os maiores valores observados nos tratamentos Cp, MxSp, MxSpBa e sem variações em profundidade, com teores constantes até 0,30 m (Tabela 5). Com teores homogêneos em profundidade o Mg^{2+} apresentou incrementos entre os tratamentos implantados, transcorridos 5 anos da instalação, com destaque Cp, Sp, Mx, Ba, MxSp, MxBa e MxSpBa. Como apenas o tratamento C tem teores de Mg^{2+} estatisticamente semelhantes ao tratamento T, os resultados podem ser promissores para recuperação da área degradada.

Assim como a maioria das outras variáveis químicas analisadas, os teores de Al^{3+} foram constantes até 0,30 m de profundidade (3,7 a 3,5 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (Tabela 5). Os tratamentos estabelecidos apresentaram menores teores de Al^{3+} que o tratamento T (8 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) indicando uma redução importante, com destaque para os tratamentos Ba e MxBa apresentado os menores teores de Al^{3+} .

SB e V (%) tiveram seus valores calculados a partir das bases trocáveis (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e seguiram o mesmo comportamento, enquanto CTC, calculada somando SB e H^+Al , resultando em maior valores no tratamento MxSpBa, como um reflexo das observações já feitas.

Para os indicadores de estresse e impedimento químico, o pH, Al^{+3} e m (saturação por alumínio), os tratamentos demonstraram diferença significativa, e o tratamento T

apresentou os menores valores. Para a MO, tratamentos Cp, MxSp e MxSpBa demonstraram maiores índices, juntamente com o tratamento Ba, enquanto T exibiu os índices mais baixos. Para Ca^{2+} e P, o tratamento Cp se equiparou aos tratamentos que continham Ba, e para o Ca^{2+} , o MxSp também mostrou altos índices.

É possível verificar na comparação entre os tratamentos T e C, que o revolvimento do solo contribui para uma melhora substancial das características químicas do local, e também pode estar associado ao fato de C estar disposto de forma aleatória na linha experimental, sofrendo influência de tratamentos vizinhos, como por exemplo, o aumento da cobertura vegetal pela queda de folhagens, uma vez que as arbóreas inseridas nos sistemas são perenes. Mas, ao ser comparado aos demais tratamentos, é possível perceber que a seus índices ainda são inferiores (Tabela 5).

Apesar dos tratamentos demonstrarem aumento significativo nos índices da análise de fertilidade, em todos com adição de banana (Ba) resultados foram superiores, além do tratamento Cp. Tal aumento da fertilidade pode ser possível devido a capacidade da bananeira em absorver e reter P e água em seu tecido, contribuindo para sua resistência a períodos de estresse hídrico. Ainda, com o estabelecimento de rizomas subterrâneos, ao final natural de seu ciclo e com a decomposição do rizoma e do pseudocaule, haver a liberação do P no solo, e por se tratar de um nutriente pouco móvel, seu acúmulo se torna possível (MATOS *et al.*, 2021). Assim, juntamente com a ciclagem dos outros nutrientes e aumento da matéria orgânica, se torna justificável o aumento da fertilidade do solo neste tratamento (DONATO *et al.*, 2002). Quanto ao tratamento Cp, o fato de ter recebido esterco ovino, cama de aviário e folhas de poda, pode ser relacionado ao incrementado na fertilidade do solo e aos altos índices de P (PEIXOTO FILHO *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2016), e este índice pode ter permanecido alto pela baixa mobilidade e pela baixa taxa de crescimento de plantas mais exigentes, como demonstrado nas análises biológicas a seguir.

Com relação aos índices de fertilidades encontrados no início da implementação do sistema, todos os tratamentos superaram positivamente os índices para MO, P, pH, K^+ , Ca^{2+} , SB, CTC, V%, Ca/CTC e Mg/CTC. Apenas para o índice de Al^{+3} , a avaliação atual não teve resultado satisfatório.

4.3 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DO SOLO

Nas análises biológicas, o respiração basal do solo, número de esporos de FMA no solo e, CBM não exibiram resultados significativamente diferentes, o que

provavelmente consequência das grandes perturbações sofridas que acarretou uma severa degradação e, assim, modificando a microbiota edáfica em números e diversidade (SOUZA; PROCÓPIO, 2021), tanto que os tratamentos aplicados não foram capazes de influenciar significativas mudanças significativas nestes indicadores (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de respiração basal do solo (C do CO₂ (C-CO₂) liberado), número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones, carbono da biomassa microbiana (CBM) e fosfatase ácida, por tratamento (Trat), bem como valores de F e coeficiente de variação (CV)

Tratamentos	C-CO ₂ liberado (μg C-CO ₂ g ⁻¹ solo)	n. esporos de FMA (100 g de solo seco)	CBM (mg kg ⁻¹ de solo)	Fosfatase ácida*
T ^(#)	0,87a	0,50a	22,56a	8,68b
C	3,42a	3,33a	3,94a	23,26a
Cp	6,25a	18,25a	18,44a	24,88a
Sp	5,13a	8,75a	23,81a	25,75a
Mx	4,00a	6,00a	14,80a	24,09a
Ba	6,50a	8,00a	15,76a	24,09a
MxSp	7,19a	14,25a	6,09a	22,28a
MxBa	3,94a	14,25a	15,75a	21,59a
MxSpBa	14,94a	31,50a	13,25a	24,19a
Valores de F				
Trat.	1,046 ^(ns)	1,40 ^(ns)	1,08 ^(ns)	7,53*
CV (%)	123,27	128,47	85,57	17,18

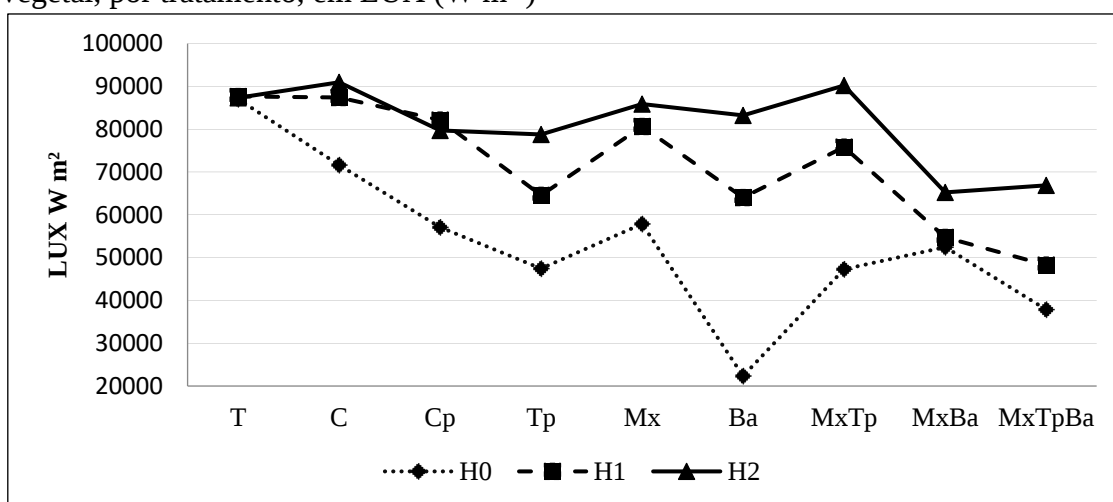
Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; *: mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹; #: C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca.. @Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade * e ** valores de F significativos a 5, e 1 % respectivamente, ^(ns) – valores de F não significativos.

Apesar disso, após seis anos sob os tratamentos aplicados, foi possível verificar indícios de mudanças positivas nos resultados para fosfatase ácida. É possível verificar diferenças significativa entre o tratamento T quando comparado aos demais tratamentos, o qual exibiu os menores índices para esta enzima, demonstrando que a aplicação dos tratamentos possibilitou melhoras neste indicador biológico de qualidade do solo quando comparado a área com tratamento T, em regeneração natural.

A diferença significativa na fosfatase ácida se faz importante pela característica de ser fundamental na solubilização do fosfato, para que assim possam ser utilizados pelas plantas (NAHAS, 2002). Assim, contribuindo para justificar o aumento substancial do P quando comparado a análise química no momento da implementação do sistema, e a diferença positiva dos tratamentos quando comparado a testemunha T.

Na análise da cobertura vegetal, os valores gerados pelo luxímetro, nas três alturas avaliadas (Figura 8), percebe-se que o índice de densidade luminosa foi mais alto na testemunha (T), comparado aos outros tratamentos, indicando pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

Figura 8- Densidade luminosa registrada pelo luxímetro, representando a cobertura vegetal, por tratamento, em LUX (W m^{-2})



Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafístula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca.. H0, H1 e H2: alturas utilizadas para aferir a densidade luminosa com o luxímetro. H0- rente ao chão; H1-na altura do peito; H2- braço estendido acima da cabeça.

Dentre os tratamentos, Ba apresentou menor índice de densidade luminosa na altura HO, indicando alta concentração de cobertura vegetal mais rasteira, uma vez que nas outras alturas essa luminosidade é aumentada. No tratamento MxSpBa, é possível perceber que há uma melhor distribuição de cobertura vegetal nas três alturas analisadas, devido aos menores índices de densidade luminosa neste tratamento nas três alturas.

O adensamento da cobertura vegetal e o aumento da diversidade de espécies é fundamental para um ecossistema autossuficiente e resiliente, em especial as espécies

nativas do ambiente perturbado (ALMEIDA, 2016). A partir das espécies de diferentes hábitos (Tabela 1) há a possibilidade de redução da temperatura (Tabela 2) a possibilidade de refúgio da macrofauna nativa, pela oferta de sombra e alimento. Na elaboração do inventário de espécies, este foi dividido em duas tabelas. A primeira (Tabela 7) refere-se as espécies encontradas, relativas as espécies introduzidas no momento da implantação do experimento, e a segunda (Tabela 8) refere-se as espécies espontâneas encontradas no momento da análise, ou seja, são aquelas que não fazem parte do grupo de espécies selecionados e introduzidos no momento da implementação do experimento. Em ambas as tabelas, foi marcado um xis no tratamento em que aquela espécie estava presente. Cada xis representa a presença dessa espécie por parcela. No tratamento em que a espécie não estava presente, um traço representa sua ausência.

Com a realização do inventário foi possível constatar que 42 espécies surgiram espontaneamente no sistema, e seis espécies das inseridas no experimento em 2016 se encontraram presentes, sendo no total por tratamento uma espécie espontânea no tratamento T; 24 espécies espontâneas e duas espécies das introduzidas (algodão-do-cerrado e marolo) no tratamento C; 20 espécies no tratamento Cp, sendo todas espontâneas; 22 espécies no tratamento Sp, sendo todas espontâneas; 23 espécies no tratamento Mx, sendo 21 espécies espontâneas e duas espécies inseridas (marolo e algodão-do-cerrado); 13 no tratamento Ba, sendo 12 espontâneas e duas inseridas (banana e abacaxi); 17 espécies no tratamento MxSp, sendo 16 espontâneas e uma inserida (marolo); 17 espécies no tratamento MxBa, sendo 12 espécies espontâneas e cinco espécies inseridas (abacaxi, banana, canafístula, copaíba e marolo) e 23 espécies no MxSpBa, sendo 18 espécies espontâneas e cinco espécies inseridas (banana, abacaxi, baru, copaíba e marolo).

No inventário das espécies introduzidas, mostraram-se presentes apenas seis espécies, a canafístula, a crotalaria de caule alado, o marolo, o algodão-do-cerrado, o abacaxi e a bananeira. Foram encontradas marolo e algodão-do-cerrado no tratamento C, indicando que houve a dispersão de sementes e a permanência delas no tratamento pelo menos até o momento da análise, indicando que, como se trata de parcelas muito próximas, é provável que sofram influência dos diferentes tratamentos com o passar dos anos (FARDIN *et al.*, 2021).

No tratamento T foi encontrada uma espécie arbórea, a *Curatella americana* L., popularmente chamada na região de Lixeira. A Lixeira é uma árvore nativa do Cerrado, e está presente em todo o entorno da área do experimento, e assim como cita Calgaro *et*

al., (2015), é conhecida por apresentar alto “potencial adaptativo às condições adversas de solo”, o que justifica sua presença na área onde não houve aplicação de tratamento. Estes autores ainda reforçam que a lixeira é uma espécie arbórea indicada a integrar programas de conservação genética *in situ*”, demonstrando a importância da utilização de espécies nativas do local de recuperação, mantendo possível o fluxo gênico entre o local de recuperação e os remanescentes ao entorno.

Com a análise por outro ângulo (Tabela 7 e Tabela 8) é possível notar que os tratamentos MxSpBa e MxBa apresentaram maior quantidade de árvores (quatro), do que os demais tratamentos (entre uma e três). Este resultado pode ser explicado pela somatória de melhorias nos atributos químicos, como na fertilidade (Tabela 5), e melhoria nos atributos físicos, como maior porosidade (ainda que mesmo apenas os microporos) menor densidade e menor resistência a penetração (Tabela 4) e presença da microbiota edáfica, em especial bactérias solubilizadoras de potássio, nutriente escasso no Cerrado (Tabela 5). Ainda, como bem pontua Calgaro *et al.* (2015) e Almeida (2016), ainda que as espécies nativas da área apresentem uma maior resistência a condições adversas, a melhora dos indicadores de saúde do solo de forma conciliada proporciona um maior sucesso de plantas mais exigentes, como é o caso das arbóreas

Tabela 7- Inventário das espécies com descrição da família botânica, nome científico, nome popular e hábito das espécies vegetais introduzidas no início do experimento, em 2016, bem como sua presença no sistema cinco anos depois, por tratamento

Família	Nome científico	Nome popular	Hábito	T	C	Cp	Sp	Mx	Ba	MxSp	MxBa	MxSpBa	Total
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i>	Aroeira	Arvore	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Annonaceae	<i>Annona coriacea</i>	Marolo	Arvore	-	x	-	-	xxx	-	x	xxx	xx	10
Bixaceae	<i>Cochlospermum regium</i>	Algodão do cerrado	Arbusto	-	x	-	-	x	-	-	-	-	2
Bromeliaceae	<i>Ananas ananassoides</i>	Abacaxi	Arbusto	-	-	-	-	-	xxxx	-	xxxx	xxxx	12
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Fabaceae	<i>Cajanus cajan</i>	Feijão- guandu	Arbusto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	<i>Crotalaria cf. stipularia</i>	Crotalária caule alado	Erva	-	-	-	x	-	-	-	-	-	1
	<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula	Arvore	-	-	-	-	-	-	-	x	-	1
	<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna-cinza	Trepadeira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Musaceae	<i>Musa sp.</i>	Banana	Erva	-	-	-	-	-	xxxx	-	xxxx	xxxx	12
Poaceae	<i>Pennisetum glaucum</i>	Milheto	Erva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-porca	Arvore	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Total de espécies inseridas, por tratamento, encontradas em 2021				0	2	0	0	2	2	1	5	5	-

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C, Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C, Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C, Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafistula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro de cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca.. Cada xis representa sua permanência em uma repetição de cada tratamento, logo, cada tratamento pode conter até quatro xis, caso o espécime seja encontrado em todas as repetições do tratamento.

Tabela 8 - Inventário das espécies com descrição da família botânica, nome científico, nome popular e hábito das espécies vegetais espontâneas presentes no sistema cinco anos após sua implementação, por tratamento.

Continua)

Família	Nome científico	Nome popular	Hábito	T	C	Cp	Sp	Mx	Ba	MxSp	MxBa	MxSpBa	Total
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo alves	Árvore	-	x	x	x	-	-	-	x	xx	6
Apocynaceae	<i>Araujia</i> sp.	Cipó apocinaceae peludo	Liana	-	x	-	-	-	-	-	-	-	1
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Jerivá	Palmeira	-	x	-	-	-	-	-	-	-	1
Asteraceae	<i>Acanthospermum australe</i>	Carrapicho de carneiro	Erva	-	x	-	x	xx	-	-	-	x	5
	<i>Ageratum conyzoides</i>	Mentrasto	Erva	-	-	-	x	-	-	-	-	-	1
	<i>Porophyllum ruderale</i>	Arnica paulista	Erva	-	x	-	-	-	x	-	-	-	2
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	Morcegueira falsa	Árvore	-	-	-	-	-	-	x	-	-	1
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	Tiriricão	Erva	-	-	-	x	-	-	-	-	x	2
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i>	Lixeira	Árvore	x	-	-	x	-	-	-	-	-	2
Euphorbiaceae	<i>Croton antisiphiliticus</i> Mar.	Canela de perdiz	Subarbusto	-	xxx	xxxx	xx	xx	xxx	xxx	xx	xxx	22
	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng	Sebastiania	Arbusto	-	-	-	-	-	x	x	-	-	2
Fabaceae	<i>Aeschynomene peniculata</i>	Peninha grande	Erva, arbusto, subarbusto	-	xx	xxx	xx	xxx	-	xxx	xx	xx	17
	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	Amendoim de carneiro	Erva, subarbusto	-	xxx	xxx	x	xx	x	xxx	-	xx	15
	<i>Arachis</i> sp	Amendoim branco	Erva estolonífera	-	x	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Chamaecrista serpens</i>	Peninha rasteira	Subarbusto	-	xxxx	-	xxx	xx	x	x	-	x	12

(Continua)

Família	Nome científico	Nome popular	Hábito	T	C	Cp	Sp	Mx	Ba	MxSp	MxBa	MxSpBa	Total
	<i>Chamaecrista trichopoda</i>	Peninha peluda	Subarbusto	-	x	x	-	-	-	xx	-	xx	6
	<i>Chamaecrista flexuosa</i>	Peninha de serpente	Erva	-	xx	x	-	x	-	-	-	-	4
	<i>Chamaecrista</i> sp.	Leguminosa de pétala amarela	Arbusto	-	-	-	-	x	-	-	-	-	1
	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaiba	Árborea	-	-	-	-	-	-	-	xx	x	3
	<i>Leptolobium</i> cf. <i>elegans</i>	Calunga	Árvore	-	x	-	-	-	x	-	-	-	2
	<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	Barbatimão	Árborea	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1
	<i>Stylosanthes</i> sp.	<i>Estilosante</i>	Subarbusto	-	xxx	xxx	-	x	-	x	-	x	9
Malpighiaceae	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	Murici-macho	Árvore	-	-	x	x	-	-	-	-	x	3
Malvaceae	<i>Sida linifolia</i>	Malva preta da folha fina	Arbusto, erva, subarbusto	-	-	x	x	x	-	-	-	-	3
	<i>Walteria indica</i>	Malva branca	Arbusto	-	xxxx	xxx	x	xxx	-	xxx	x	x	16
Passifloraceae	<i>Piriqueta rosea</i>	Piriqueta rosa	Erva, substrato	-	-	-	-	-	xxxx	-	xxxx	xxxx	12
Poaceae	<i>Digitaria</i> cf. <i>horizontalis</i>	Capim colchão	Erva	-	-	x	-	-	-	-	-	-	1
	<i>Aristida</i> cf. <i>riparia</i>	Gramínea de porfírio	Erva	-	xx	-	x	x	x	-	xx	-	7
	<i>Brachiaria brizantha</i>	Brachiarião	Erva	-	-	x	x	-	x	x	-	-	4
	<i>Brachiaria decumbens</i>	Brachiaria	Erva	-	x	-	-	-	-	-	-	-	1
	<i>Imperata</i> cf. sp.	Rabo de gato	Erva	-	-	-	xx	-	-	x	-	-	3
	<i>Panicum maximum</i>	Colonião	Erva	-	x	-	x	-	x	-	x	x	5

(Conclusão)

Família	Nome científico	Nome popular	Hábito	T	C	Cp	Sp	Mx	Ba	MxSp	MxBa	MxSpBa	Total
	<i>Paspalum</i> cf. sp.	Brachiaria do cerrado	Erva	-	-	-	x	-	-	-	-	-	1
	<i>Paspalum</i> sp.	Touceira grande	Erva	-	xx	x	x	xxx				xx	9
	<i>Setaria</i> cf. <i>parviflora</i>	Touceira média	Erva	-	-	x	xx	-	-	-	-	-	3
Polygalaceae	<i>Polygala paniculata</i>	Gelol	Erva	-	x	x	-	x	-	x	x	-	5
Rubiaceae	<i>Borreria capitata</i>	Alecrim daninha	Erva, subarbusto	-	xxx	xx	x	xx	x	-	-	xx	11
Sapindaceae	<i>Serjania lethalis</i>	Cipó-timbó	Liana	-	-	-	x	-	-	x	-	-	2
Solanaceae	<i>Solanum aculeatissimum</i>	Joá bravo	Subarbusto	-	-	-	x	x	-	x	x	x	5
Turneaceae	<i>Turnera</i> cf. <i>harleyi</i>	Piriqueta amarela	Arbusto	-	xx	x	-	x	-	-	-	-	4
-	-	Amendoim bravo	Arbusto	-	x	x	-	x	-	-	-	-	3
-	-	Alecrim bravo	Erva	-	x	-	-	-	-	-	-	-	1
Total de espécies espontâneas, por tratamento, encontradas em 2021				1	24	20	22	21	12	16	12	18	-

Fonte: Elaboração da própria autora. # T = ausência de tratamento; C = solo revolvido por mecanização; Cp = C+Composto, de esterco ovino, folhas de poda e cama de aviário, 15 kg por parcela; Sp = C+Cp, serapilheira de área de Cerrado preservado, 25 kg por parcela; Mx = C+Cp, mix de sementes nativas (copaíba, aroeira, mamica-de-porca, algodão-do-cerrado, baru, barbatimão, canafistula e marolo) e adubo-verde (mucuna-cinza, feijão-guandu, milheto, e crotalária); Ba = C, Cp, um rizoma de bananeira ao centro e cada parcela, circundada por quatro mudas de abacaxi, intercaladas com três estacas de mandioca.. Cada xis representa sua permanência em uma repetição de cada tratamento, logo, cada tratamento pode conter até quatro xis, caso o espécime seja encontrado em todas as repetições deste tratamento.

5 CONCLUSÕES

O tratamento MxSpBa reuniu os resultados mais satisfatórios relativos aos atributos físicos do solo, melhorando a densidade, aumentando a porosidade total pelo aumento de microporos, reduzindo a temperatura no período da tarde e reduzindo a resistência a penetração.

Os tratamentos Ba e Cp demonstraram valores superiores na análise dos atributos químicos do solo, apresentando melhorias relativas à maioria dos índices analisados no momento de implantação do experimento e do tratamento que representa a área degradada com recuperação natural (T).

Os tratamentos MxSpBa e MxBa demonstraram maior número de arbóreas, maior número de sobrevivência de espécies inseridas em 2016. menores índices de densidade luminosa captados, indicando maior cobertura vegetal e presença de fosfatase ácida, sendo estes os tratamentos que reúnem os melhores índices na análise dos indicadores biológicos.

Portanto, pode-se concluir por fim que a implementação de sistemas biodiversos baseados na Agricultura Sintrópica de Ernest Götsch em área de empréstimo, em especial os tratamentos contendo Ba e MxSpBa, possibilitam mudanças edáficas positivas, permitindo o reestabelecimento da cobertura vegetal e o aumento da biodiversidade.

O trabalho rejeita a hipótese nula (H0) e aceita a hipótese alternativa (H1).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho reúne alguns dos principais indicadores físicos, químicos e biológicos de saúde do solo, demonstrando as alterações sofridas após cinco anos da implementação de um sistema com bases na Agricultura Sintrópica.

A realização de novos estudos utilizando diferentes técnicas de recuperação em comparação com o presente estudo e com áreas de ecótono de Cerrado e Mata atlântica preservado, seriam de grande valia e possibilitariam um panorama ideal, que aproximar-se-ia da técnica mais adequada para a recuperação de áreas severamente degradadas em área semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, Curitiba, v. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, 2007.
- ALMEIDA, B. G. *et al.* Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 2017a. cap. 7. p. 65-75.
- ALMEIDA, B. G. *et al.* Porosidade. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 2017b. cap. 9. p. 81-94.
- ALMEIDA, D. S. Modelos de recuperação ambiental. In: _____. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus: Editus, 2016, p. 100-137.
- ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 2, p. 711-728, 2013.
- ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.
- ARAÚJO, E. A. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- BONFIM, S. S. **Educação para as Relações Étnico-Raciais do ponto de vista da localidade: desenvolvimento, segregação, ensino e Africanidades - Ilha Solteira/SP**. São José do Rio Preto, 2019, 168 f. Tese (Doutorado em Ensino e Processos Formativos) Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto, 2019
- BONI, T. S. **Vegetação espontânea e atividade microbiológica como indicadores da recuperação de uma área degradada no Cerrado**. Ilha Solteira, 2017. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2017.
- BONINI, C. S. B. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos**. 2012. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção, Faculdade de Engenharia - Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.
- BROWN, G. G. *et al.* Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. *et al.* **Serviços Ambientais em Sistemas**

Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília: Embrapa, 2015. p. 122-154.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 13 de novembro de 2023.

CALGARO, H. F. *et al.* Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização. Atributos físicos do solo. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 24, n. 3, p. 327-344, 2015.

CAMELO, D. **Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais de palma forrageira e leguminosas no Agreste de Pernambuco.** Recife, 2020. 57 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais'. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. São Paulo, 1990. **Anais...** Campus do Jordão, 1990. p. 216-221.

CARVALHO, C. A. *et al.* Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 2, n. 1, p. 38-41, 2020

CHERUBIN, M. R. *et al.* Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. **Industrial Crops and Products**. São Paulo, v. 163, p. 2-3, 2021.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1980.

DERPSCH, R. Expansão mundial do plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 59, n. 1, p. 32 - 40, 2000.

DONATO, S. L. R. *et al.* Relações hídricas I: Considerações fisiológicas e ecológicas. In: COELHO, E. F. **Irrigação da bananeira.** Brasília: Embrapa, 2002. p. 13-82.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 212.

FARDIN, F. H. *et al.* Restauração ecológica de subsolo exposto condicionado com resíduos no Cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 49 n. 130, p. 1-13, 2021

FROELICH, G. M. **Ilha Solteira: uma história de riqueza e poder (1952-1992).** São Paulo: EDUC, 2001. p. 62

FROELICH, G. M. As matrizes ideológicas do II PND (1975-1979). **Pesquisa & Debate**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 1-26, 2007.

GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture.** Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995.

GÖTSCH, E.; ANDRADE, D.; PASINI, F. **Agenda Götsch**: Ernst Götsch. Disponível em: <https://agendagotsch.com/pt/ernst-gotsch/>. Acesso em: 08 ago 2022.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GREGIO, J. V. Da degradação à floresta: a agricultura sintrópica de Ernst Götsch e sua aplicação nas fazendas Olhos d'água e Santa Teresinha, Piraí do Norte/Ba. **Ambientes: Revista de Geografia e Ecologia Política**, Francisco Beltrão, v. 2, n. 2, p. 106-118, 2020

GUSMÃO, M. *et al.* Estratificação vertical em sistema agroflorestal na Zona da Mata Rondoniense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 11., 2020, São Cristóvão, Sergipe. **Anais...** Sergipe, 2020.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**; Primeira Aproximação. Escala 1:5 000.000. Projeção Policônica. Meridiano de Referência: 54 W. Gr; Paralelo de Referência: 0, 2014. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/biomas_5000mil.pdf. Acesso em: 20 de dez. de 2023

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa geológico do Estado de São Paulo: Escala 1:500000. v.I e II. São Paulo: IPT, 1981. 126p. (Monografias, n. 6).

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St Paul, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

KARLEN, D. L. *et al.* Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, New Jersey, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KETTERINGS, Q. *et al.* **Soil Fertility and Nutrient Management**. Ithaca-NY: NRCC, 2016. 42 p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-13, 2005.

LAZZARINI, L. E. S. *et al.* Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas – revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 2, p. 122-144, 2017.

LIMA, T. F. **Ação Civil Pública**. Inquérito Civil. Inquérito Civil nº 1.34.041.000040/2017-98. Andradina, 2018.

- MALTONI, K. L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em superfície de Latossolo sob diferentes usos**. Viçosa, 1994. 139p. Tese Doutorado Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994
- MATOS, C. H. L. *et al.* Utilização de colunas de solo na avaliação da lixiviação do fósforo em Roraima. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 1, p. 11051–11059, 2021.
- MENDES, I. C. *et al.* **Bioanálise de solo**: como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa, 2018. 23 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, n. 38)
- MICCOLIS, A. *et al.* **Guia Técnico - Restauração ecológica com sistemas agroflorestais**: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: ISPN/ ICRAF, 2016. 266 p.
- MICHELON, J. D. **Sistemas agroflorestais, agricultura sintrópica e recuperação de áreas degradadas: Um novo olhar para a agricultura**. Garopaba, 2019. 46 f. Tese (Doutorado em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Santa Catarina, Garopaba, 2019.
- MORAES, M. T. *et al.* Use of penetrometers in agriculture: a review. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 179-193, 2014.
- MOREIRA, R. J. Críticas ambientalistas à Revolução Verde. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 15, p. 39-52, 2000.
- MOREIRA, R. J. Pensando o rural da modernidade e dos nossos tempos. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 248-271, 2012.
- NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 267-275, 2002.
- NRCC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL —. **Soil and water quality: and agenda for agriculture**. Washington, DC: National Academy Press, 1993. p. 542
- OLIVEIRA, S. P.; OLIVEIRA G. B. Capitalismo e meio ambiente: uma equação possível? **Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica**, Málaga, v. 3, p. 41-156, 2022.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. *In*: OLIVEIRA, R. J. MARQUIS, P. S. **Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120
- ONU BR – NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **A Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>.
- PEIXOTO FILHO, J. U. *et al.* Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 419-424, 2013.

PENEIREIRO, F. M. Fundamentos da agroflorestra sucessional. *In: SIMPÓSIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS*, 2., 2003, Aracaju. **Anais...** Tabuleiros Costeiros: Embrapa, 2004. p. 90-98.

PEREIRA, M. C. C. História e agricultura: experiências de agroflorestas no assentamento contestado, Lapa/PR. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA*, 30., 2019, Recife. **Anais...** Recife: Associação Nacional de História – ANPUH, 2019.

RAIJ B. *et al.* **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RODRIGUES, A. B. M; GIULIATTI, N. M.; JÚNIOR, P. A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 333-369, 2020.

RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 11, p. 73-80, 2007.

SALOMÃO, P. E. A. *et al.* The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 1, p. e154911870, 2020

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed., Brasília: Embrapa, 2018. 367 p.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Associação micorrízica em espécies arbóreas, atividade microbiana e fertilidade do solo em área degradada de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 289-301, 2011.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica-RJ: Embrapa, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, n. 99)

SILVA, A. M. M.; ARAÚJO, V. L. V. P.; BARROS, T. H. S. A saúde dos solos agrícolas frente as mudanças climáticas globais. *In: CARSOSO, E. J. B. N. A sustentabilidade ambiental da agricultura e das florestas tropicais: uma visão científica, ecológica, política e social*. Curitiba: Appris Ltd, 2021. p. 69 – 74.

SILVA, L. D. *et al.* Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado. *In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; VICTORIA, D. de C. (org.). Sistema de informações para planejamento florestal no cerrado brasileiro*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2019. v. I, cap. 4, p. 40-144

SILVA, M. O. *et al.* Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, M. O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SILVA, M. R. S. S. *et al.* Soil bacterial communities in the Brazilian Cerrado: response to vegetation type and management. **Acta Oecologica**, Amsterdam, v. 100, p. e103463, 2019.

SILVA, P. L. F. *et al.* Distribuição de poros por tamanho e sua relação com os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 6, p. 13, 2020.

SOUZA, A. A. L. *et al.* Desenvolvimento inicial de duas variedades de alface em função de dois tipos de substratos e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Jaboticabal, v. 10, n. 3, p. 316-326, 2016.

SOUZA, L. C.; PROCÓPIO, L. The profile of the soil microbiota in the Cerrado is influenced by land use. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 105, n. 11, p. 4791-4803, 2021.

TRINDADE-SANTOS, M. E.; CASTRO, M. S. Manejo ecológico de solo: chave para o processo de transição agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 12, 2021.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Umidade atual. *In*: TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília: Embrapa, 2017. p. 29-31.

ZANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, 1997.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Brasília, 2006. 373 f. Tese (Doutorado - Ecologia), Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, Brasília, 2006