

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Monitoramento biofísico de sistemas agroflorestais: um estudo de caso em assentamentos de reforma agrária do estado de São Paulo**

**Débora Ferreira Paiva**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheira Agrônoma

**Piracicaba**  
**2024**



**Débora Ferreira Paiva**

**Monitoramento biofísico de sistemas agroflorestais: um estudo de caso em  
assentamentos de reforma agrária do estado de São Paulo**

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO EDUARDO MORUZZI MARQUES**

Coorientador:

Dr. **FÁBIO FRATTINI MARCHETTI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma

**Piracicaba  
2024**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, às famílias dos assentamentos Dandara e Reunidas que colaboraram com a pesquisa e nos receberam tão bem durante o processo de monitoramento de seus SAFs. Agradeço ao meu coorientador, Fábio Frattini Marchetti, por estar presente e auxiliar em todos os aspectos da pesquisa. Agradeço também à equipe do Projeto Dandara e aos integrantes do Grupo Terra, que contribuíram para a coleta de dados. Sou grata às minhas amigas que acompanharam a elaboração dos materiais de coleta e à minha família pelo suporte indispensável, que permitiu que eu avançasse nos estudos e tornasse esta pesquisa possível.

## SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVO	9
2.1 Objetivos específicos	9
3. METODOLOGIA	9
3.1 Área de estudo	9
3.2 Coleta de dados	12
3.3 Análise de dados	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Cobertura morta (CM)	21
4.2 Cobertura viva (CV)	24
4.3 Macrofauna	26
4.4 Infiltração de água no solo (IAS)	30
4.5 Densidade do solo (DS)	32
4.6 Erosão do solo (ES)	34
4.7 Análise conjunta dos indicadores	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6. REFERÊNCIAS	40
7. ANEXOS	45

## RESUMO

### **Monitoramento biofísico de sistemas agroflorestais: um estudo de caso em Assentamentos de Reforma Agrária do estado de São Paulo**

Este trabalho de conclusão de curso integra parte das atividades do “Projeto Dandara: transição agroecológica em territórios de reforma agrária”, projeto de extensão que tem como objetivo facilitar o planejamento, implantação, manejo e monitoramento de sistemas agroflorestais (SAFs) em assentamentos rurais. A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver e analisar indicadores de monitoramento biofísico dos SAFs implantados no final de 2022 e início de 2023, nos assentamentos Dandara e Reunidas, em Promissão/SP. Para isso, foi preciso adequar indicadores previamente encontrados na literatura e desenvolver metodologias de coleta e análises de dados, que fossem adaptadas para a realidade local. Os dados foram coletados em seis SAFs (tratamentos) e seis pastos adjacentes (controle), nas estações de seca (setembro/2023) e de chuva (janeiro/2024), considerando os seguintes indicadores: cobertura viva, cobertura morta, erosão, infiltração de água no solo, macrofauna e densidade do solo. Os resultados apontaram melhoria em alguns dos indicadores na comparação entre SAF *versus* Pasto, como os valores médios de Cobertura morta (SAF 67,0%; Pasto 50,6%;  $p=0,0034$ ), Infiltração de água no solo (SAF 577,5 s; Pasto 1299,9 s;  $p<0,0001$ ), Densidade do solo (SAF Qe1,76; Pasto Qe3;  $p<0,0001$ ) e Macrofauna: Quantidade de indivíduos por área, no período de chuva (SAF 35 un; Pasto 16 un;  $p=0,047$ ). O resultado de cada indicador foi influenciado pelas diferenças das áreas (SAF *versus* Pasto) na comparação entre as distintas estações avaliadas (seca e chuva). Os demais indicadores, apesar de estarem favoráveis às condições biofísicas dos SAFs, não apresentaram diferença estatística. Os próximos passos envolvem o planejamento do monitoramento e a devolutiva dos resultados do estudo para os agricultores, na esperança de auxiliar no manejo dos SAFs.

**Palavras-chaves:** Sistemas agroflorestais; Agroecologia; Monitoramento biofísico

## **ABSTRACT**

### **Biophysical monitoring of agroforestry systems: a case study in agrarian reform settlements in the state of São Paulo**

This end-of-course work is part of the activities of the “Dandara Project: agroecological transition in agrarian reform territories”, an extension project that aims to facilitate the planning, implementation, management and monitoring of agroforestry systems (SAFs) in rural settlements. This research aims to develop and analyze biophysical monitoring indicators for the SAFs implemented in late 2022 and early 2023 in the Dandara and Reunidas settlements in Promissão/SP. To do this, it was necessary to adapt indicators previously found in the literature and develop data collection and analysis methodologies that were adapted to the local reality. Data was collected from five SAFs (treatments) and five adjacent pastures (control) during the dry (September/2023) and rainy (January/2024) seasons, considering the following indicators: live cover, dead cover, erosion, water infiltration in the soil, macrofauna and soil density. The results showed an improvement in some of the indicators when comparing SAF versus Pasture, such as the average values for Mulch (SAF 67.0%; Pasture 50.6%;  $p=0.0034$ ), Soil water infiltration (SAF 577.5 s; Pasture 1299.9 s;  $p<0.0001$ ), Soil density (SAF  $Qe1.76$ ; Pasture  $Qe3$ ;  $p<0.0001$ ) and Macrofauna: Number of individuals per area during the rainy season (SAF 35 un; Pasture 16 un;  $p=0.047$ ). The results for each indicator were influenced by the differences between the areas (SAF versus Pasture) when comparing the different seasons evaluated (dry and rainy). The other indicators, despite being favorable to the biophysical conditions of the SAFs, showed no statistically difference. The next steps involve planning, monitoring and giving the results of the study back to the farmers, in the hope of helping them to manage the SAFs.

**Keywords:** Agroforestry systems; Agroecology; Biophysical monitoring

## 1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda por alimentos e a conservação dos recursos naturais impactados pelas alterações climáticas, como explicitado no Sexto Relatório Síntese de Avaliação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), vê-se a importância de fomentar iniciativas que fortaleçam modos de produção de alimentos saudáveis, de maneira a assegurar a resiliência dos agroecossistemas, bem como a sustentabilidade e proteção dos recursos naturais, além de garantir viabilidade econômica para os produtores (Altieri; Nicholls, 2017A).

A Lei nº 16.684, de 19 de março de 2018, institui a Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica (PEAPO) com o objetivo de promover práticas agrícolas mais sustentáveis no estado de São Paulo. A referida lei estabelece que agroecologia é: “campo do conhecimento transdisciplinar que estuda os agroecossistemas, visando ao desenvolvimento equilibrado das relações entre capacidade produtiva, equilíbrio ecológico, eficiência econômica, equidade social e uso e conservação da biodiversidade e dos demais bens naturais, por meio da articulação entre conhecimento técnico-científico, práticas sociais diversas e saberes e culturas populares e tradicionais;”. Proporcionando a recuperação da fertilidade e o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas através da transição agroecológica (Brasil, 2018).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) biodiversos, ancorados nos princípios agroecológicos, são indicados como possíveis soluções de mitigação e adaptação aos preocupantes efeitos dos eventos climáticos extremos (Altieri, 2012; Marchetti et al., 2023; Schembergue, 2017). As práticas agroflorestais, as quais abrangem diversas formas de uso do solo, têm potencial para elevar a qualidade e o potencial produtivo da área, ao cultivar conjuntamente produtos agrícolas, elementos arbóreos e possivelmente inteirar pastagens e animais no sistema, como no caso da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (Ribaski; Montoya; Rodigheri, 2001).

Ademais, os SAFs elevam a garantia de segurança alimentar no processo de abastecimento do mercado interno com alimentos e insumos diversos, desde que sejam intensificadas as políticas públicas e as iniciativas de incentivo à qualificação técnica de profissionais e produtores, em bases agroecológicas (Schembergue, 2017).



Políticas públicas como o PRONAF, disponibiliza linhas de crédito para a agricultura familiar, como: PRONAF Floresta, o qual engloba financiamento e assistência técnica para atividades de implantação de sistemas agroflorestais, conservação e manejo sustentável de recursos naturais (Banco da Amazônia, 2024); PRONAF Bioeconomia, para projetos de adequação ambiental das unidades familiares de produção, implantação de viveiros e de sistemas agroflorestais, incentivo às práticas conservacionistas do sistema solo-água-plantas, recuperação de pastagens, entre outras atividades de cunho ambiental (Banco da Amazônia, 2024); e PRONAF Agroecologia, que incentiva a produção de base agroecológica ou orgânica (Banco da Amazônia, 2024). Cada qual com suas especificidades, de maneira a apoiar financeiramente a agricultura familiar. Contudo, em territórios de reforma agrária, o acesso a tais políticas públicas ainda é escasso e enfrenta uma série de entraves que dificultam a inclusão das famílias assentadas nos programas de crédito. Os programas privilegiam os setores mais capitalizados do segmento da agricultura familiar, e exclui aqueles mais vulneráveis, especialmente aqueles sem a titularidade da terra, sem acesso à assistência técnica, ao mercado e com infraestrutura precária (Aquino, Gazolla, Schneider, 2018; Mattei, 2016; Zeller, Schiesari, 2020).

O “Projeto Dandara: transição agroecológica em territórios de reforma agrária” é uma iniciativa que busca apoiar a implementação e desenvolvimento de sistemas agroflorestais em assentamentos rurais no estado de São Paulo (Marchetti et al., 2024). Articula-se como um projeto de extensão desenvolvido pelo Núcleo de Cultura e Extensão em Educação e Conservação Ambiental (NACE-PTECA/USP), em parceria com a Cooperativa dos Produtores Camponeses (COPROCAM), a ONG internacional WeForest e a empresa de energia AES Brasil. Iniciado em abril de 2022, o projeto está alinhado com o plano nacional do MST “Plantar Árvores e Produzir Alimentos Saudáveis”, que visa plantar 100 milhões de árvores até 2030 e promover a produção de alimentos saudáveis nas áreas de assentamentos e acampamentos do movimento (MST, 2024). O Projeto Dandara tem como objetivo fortalecer as ações desse plano no estado de São Paulo, com foco no apoio ao planejamento, implantação, manejo e monitoramento de sistemas agroflorestais (SAF). Por meio de metodologias participativas e de base agroecológica, 23 famílias participaram de oficinas de capacitação técnica em agroecologia, bem como do planejamento e implantação de 14 hectares de sistemas agroflorestais biodiversos (média de 0,6 ha/família) (Marchetti et al., 2024).

Ademais, o Projeto visa também auxiliar a restauração ecológica de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reservas Legais (RL) do assentamento. Diante da implementação de projetos como este, nesse sentido torna-se cada vez mais evidente a necessidade de avanços nas pesquisas de monitoramento, capazes de fornecer *insights* fundamentais para a elaboração e aplicação mais eficaz de políticas públicas voltadas à restauração ecológica e à produção de alimentos saudáveis, especialmente em áreas com solos em processo de degradação.

A presente pesquisa visa desenvolver e avaliar indicadores de monitoramento da dimensão biofísica de SAFs implantados entre novembro de 2022 e janeiro de 2023, pelo Projeto Dandara, nos Assentamentos Dandara e Reunidas, em Promissão/SP, a fim de entender as possíveis limitações, potencialidades e interferências desses sistemas no ambiente.

Indicadores ambientais, biofísicos, agronômicos, financeiros e socioculturais para avaliação de sistemas agroflorestais são frequentemente indicados, porém pouco testados na prática, evidenciando-se a dificuldade na interpretação e correlação de dados das experiências avaliadas, além do alto nível de especificação de cada SAF, o que torna ainda mais complexo esse tipo de análise e comparação (Vivian, 2004). Chagas (2024) apresenta em sua tese de doutorado, a importância de se atentar à resiliência do sistema agroflorestal, como sendo a capacidade do sistema absorver perturbações externas e se articular para manter suas funções e estruturas. Por meio do uso de indicadores desenvolvidos pelo Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS), da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL) (São Paulo, 2021), o autor destaca a importância de analisar os fatores que interferem em seu resultado positivo, para demonstrar o nível de resiliência e avaliar quais atitudes devem ser tomadas para obter êxito (Chagas, 2024).

Segundo Dale e Beyeler (2001), os indicadores devem apresentar as seguintes características: I) serem fáceis de monitorar; II) serem sensíveis às tensões às quais o sistema está submetido; III) responder às tensões de forma previsível; IV) serem antecipatórios, ou seja, apresentar mudanças iminentes em aspectos chaves do sistema; V) prever mudanças que possam ser evitadas por meio do manejo; VI) serem integrados, ou seja, o conjunto dos indicadores deve fornecer uma compreensão ampla dos gradientes chaves do sistema.

A iniciativa desta pesquisa considera que a disseminação de SAFs biodiversos encontra-se em uma fase experimental no Brasil e as avaliações objetivas sobre

indicadores de monitoramento de SAFs ainda são raras (Oliveira, 2016; Recoftc, et al.; 2020; Silva, 2012). Além disso, observa-se a necessidade de realizar um monitoramento efetivo dos SAFs implantados através do Projeto Dandara, para fortalecer a resiliência e a sustentabilidade dos SAF e possibilitar ações contextualizadas e eficazes, com vistas ao aprimoramento desses sistemas. Esta pesquisa tem o potencial para fornecer informações úteis e aplicadas ao desenvolvimento de SAFs, inserindo-se como parte das demandas vinculadas ao Projeto Dandara, de modo a aferir cientificamente os métodos de monitoramento da frente biofísica de seis áreas com SAF.

## **2. Objetivo**

Avaliar o desempenho dos fatores biofísicos dos SAFs implantados pelo Projeto Dandara em comparação com pastos locais.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Analisar a viabilidade do uso de indicadores da dimensão biofísica de SAFs para aprimorar o monitoramento e as ações de médio e longo prazo do Projeto Dandara
- Analisar quali e quantitativamente a diferença entre SAFs e Pastos em relação às características biofísica de ambos.
- Aprofundar a discussão acerca do monitoramento biofísico de SAFs.

## **3. Metodologia**

### **3.1. Área de Estudo**

O estudo está sendo realizado nos Projetos de Assentamento (PA) Reunidas e Dandara, em Promissão/SP (FIGURA 1), em seis SAFs, sendo cinco deles escolhidos previamente, dentro do universo de 16 SAFs do Projeto Dandara, priorizando o envolvimento dos produtores participantes desde o planejamento e implantação dos sistemas agroflorestais. Porém ao longo da pesquisa, após a primeira coleta (setembro de 2023) um dos cinco agricultores realizou uma interferência com maquinário em seu SAF, essa atividade não estava prevista na pesquisa, portanto ele precisou ser substituído por outro agricultor para a realização da segunda coleta (janeiro de 2024), totalizando seis SAFs avaliados ao longo da pesquisa.



Figura 1: Mapa do estado de São Paulo, com destaque para a cidade de Promissão. Fonte: Cati, 2015.

As famílias do Assentamento Dandara ocuparam a região da antiga Fazenda Floresta em 21 de novembro de 1997 às margens da rodovia BR 153, onde residiam em barracos de lonas, até serem assentadas em 24 de novembro de 2004, depois de resistirem 7 anos na condição de acampamento. O PA Dandara possui 203 lotes, com cerca de 12 hectares cada, os quais são divididos em três agrovilas: Agrovila Irmã Doroty, Agrovila Floresta e Agrovila Dourado (Pereira, 2020).

Localizado a 18 quilômetros da cidade de Promissão/SP, faz divisa com outros dois assentamentos da região, Promissãozinha e Reunidas, os quais ocupam conjuntamente um terço da área do município.

O Assentamento Reunidas é o segundo maior assentamento do Brasil. A fazenda “Reunidas” foi desapropriada em Junho de 1986 e no ano seguinte as famílias receberam o título de posse pelo INCRA. Atualmente o assentamento conta com 637 famílias, divididas em sete agrovilas: Agrovila São Pedro, Agrovila de Penápolis, Agrovila de Birigui, Agrovila de José Bonifácio, Agrovila de Campinas, Agrovila Central e Agrovila dos 44 e mais cinco pequenas agrovilas, denominadas: Agrovila do Cintra, Agrovila de Santa Luzia, Agrovila de São Bento, Promissãozinha e Agrovila dos 12 (Promissão, 2023).

A forte produção de legumes, leite e cereais auxiliam, juntamente com a produção advinda dos assentamentos da região, na alimentação da cidade de Promissão/SP, somando 20 milhões de litros de leite por mês (Promissão, 2023). É nítida a presença de movimentos sociais como o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), desde a ocupação do território em 1997.

Segundo Pereira (2020), as famílias da região organizam-se coletivamente em associações e cooperativas, destacando-se dentre elas, a Cooperativa dos Produtores Campesinos (COPROCAM), fundada em 2013, parceira e beneficiária direta do Projeto Dandara. A COPROCAM atua na aquisição de insumos, produção hortifrutigranjeira e comercialização dos produtos através de políticas públicas como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e Programa Paulista da Agricultura de Interesse Social (PPAIS), com experiência também em Sistemas Agroflorestais (SAF), através do Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS), em parceria com a SEMIL (São Paulo, 2021).

Os seis SAFs avaliados na presente pesquisa têm área média de 0,8 ha, sendo cinco deles abaixo de 1 ha e um acima de 1 ha. Todos foram implantados nas mesmas condições de arranjo produtivo e desenho, como apresentado no croqui base em anexo (ANEXO 1), com diferenças entre as espécies de frutíferas escolhidas pelas famílias de acordo com suas preferências. As espécies arbóreas nativas e os espaçamentos utilizados foram os mesmos para todas as famílias (Marchetti et al., 2024).

Meses após a implantação dos SAFs, foi realizada uma oficina acompanhada de um mutirão para apresentar, distribuir e implementar o sistema de irrigação por gotejamento (Marchetti et al., 2024). Alguns agricultores conseguiram instalar o sistema, enquanto outros enfrentaram dificuldades por diferentes motivos, resultando em variações nas práticas de irrigação nas áreas analisadas. O presente estudo não mapeou as áreas com ou sem irrigação.

### 3.2. Coleta de dados

O marco zero para avaliação da evolução dos indicadores biofísicos foi feito através da análise de pastos locais, em geral adjacentes e com área semelhante aos SAFs, que reflete a situação da área de interesse anteriormente à implantação dos SAFs. De forma a monitorar as condições biofísicas dos SAFs implantados pelo Projeto Dandara e proporcionar uma melhor tomada de decisão na manutenção desses sistemas, é desejável o uso de indicadores práticos de serem avaliados e com métodos de coleta simplificada, que possam ser desenvolvidos em conjunto com os agricultores participantes.

Os indicadores foram previamente selecionados pela equipe técnica do Projeto Dandara e o Grupo de Extensão Universitária Territorialidade Rural e Reforma Agrária (TERRA/ESALQ), a partir de bibliografia especializada (Chagas, 2021; Oliveira, 2016; Silva, 2012), bem como de experiências em projetos semelhantes (PDRS), com o intuito de levantar possíveis modificações nos fatores biológicos e físicos, intrínsecos ao ambiente em que o sistema foi implantado.

Os indicadores de monitoramento do Projeto Dandara contemplam as dimensões: biofísica, produtiva-econômica e sociocultural, conforme tabela em anexo (ANEXO 2). O presente estudo avalia o desenvolvimento apenas dos indicadores da dimensão biofísica (Quadro 1). As demais dimensões foram contempladas em outros projetos de pesquisa.

Quadro 1. Descrição dos indicadores e seus objetivos a serem analisados.

<b>Indicadores</b>	<b>Descrição dos indicadores</b>
Cobertura Viva (CV)	Todo material vegetal que ainda está vivo sobre o solo
Cobertura Morta (CM)	Todo material vegetal morto, ou seja, a palhada que está sobre o solo.
Infiltração de água no solo (IAS)	Avaliação do tempo que 100ml de água demora para infiltrar em um cilindro de 6 cm de diâmetro.

Densidade do solo (DS)	<p>Avaliação da densidade, partículas e agregados do solo, além da presença de bioporos. Análise feita através da técnica VESS.</p> <p>A avaliação pelo VESS vai de Qe1 a Qe5, o primeiro é referente a solos arejados, com muita presença de raízes e fáceis de manusear; o segundo é referente a solos muito adensados, com pouco espaço para raízes e de difícil manuseio (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011).</p>
Erosão (ES)	<p>Avaliação da gravidade da perda de solo devido a processos erosivos, a fim de identificar a intensidade da erosão e compreender os impactos na qualidade do solo</p> <p>A erosão é o fenômeno em que as partículas do solo se soltam da estrutura coesa e são posteriormente transportadas para áreas mais baixas por agentes como a água ou o vento (Cooper, 2008).</p>
Macrofauna do solo: Quantidade de ordens por área (MS); Quantidade de indivíduos por área (MIA)	<p>A fauna do solo pode ser dividida em diferentes categorias, o tamanho dos indivíduos é uma delas, separando em microfauna (&lt;0,2 mm), mesofauna (0,2 mm a 4 mm), macrofauna (4 mm a 80 mm) e megafauna (&gt;80 mm) (Alves et al., 2015). Aqui analisaremos a macrofauna edáfica.</p>

Fonte: Autor, 2024.

Para a coleta dos dados, foi desenvolvida a metodologia de sorteio dos pontos, conforme as seguintes etapas: medição da largura e comprimento do SAF. Sorteio do ponto (metro) correspondente à largura e depois ao comprimento, de forma a tirar o número referente à quantidade de metros que deverá andar a partir da borda do SAF ou do Pasto. O ponto de partida é aquele localizado no canto Noroeste da área.

Os pontos sorteados de acordo com o tamanho da área são os mesmos tanto para o pasto (controle) quanto para o SAF. Para análise estatística, definiu-se que áreas com até 1 (um) hectare seriam amostrados de 3 a 5 pontos de coleta (SAF pequeno) e áreas acima de 1 hectare de 5 a 8 pontos (SAF grande), a depender do

indicador utilizado.

A coleta de dados ocorreu na estação seca (setembro de 2023) e na estação chuvosa (janeiro de 2024), com o objetivo de analisar melhor as diferenças nos resultados entre as estações, além de fornecer uma possível média dos valores encontrados em ambas as coletas, que refletem a variação dessas características ao longo do ano. A primeira foi essencial para testar as metodologias de coleta de dados, quando se percebeu a necessidade de adaptações metodológicas, algumas das quais ocorreram ainda em campo para que obtivessem melhores resultados logo na primeira campanha, em especial para a coleta da macrofauna do solo e a avaliação da erosão.

Em reunião técnica com especialista em estatística da ESALQ, foi definido que os pontos sorteados para a coleta de dados seriam em área total do SAF, sem fazer distinção de linhas e entrelinhas do sistema. Além disso, a abordagem estatística auxiliou na seleção dos indicadores que atendessem às especificidades do projeto. As metodologias atualizadas nas coletas estão apresentadas abaixo para cada indicador:

## **I. Cobertura viva**

- A. Método de coleta: Em cada ponto de coleta foi colocado o quadrado reticulado de 1 m<sup>2</sup>. Observou-se de cima e realizou a contagem de quadrados que estão preenchidos com cobertura viva (FIGURA 2). Quando mais de 50% do quadrado estava preenchido com material vegetal vivo, considerou-se o quadrado cheio, caso contrário, foi considerado o quadrado vazio.
- B. Periodicidade: Duas coletas por ano: estação seca e estação chuvosa.
- C. Materiais necessários: Quadrado reticulado (Poggiani et al., 1996).
- D. Repetições: 5 em SAFs pequenos e 8 em SAFs grandes.



## II. Cobertura morta

- A. Método de coleta: Em cada ponto de coleta foi colocado o quadrado reticulado de 1 m<sup>2</sup>. Observou-se de cima e realizou a contagem de quadrados que estão preenchidos com cobertura morta (palhada). Quando mais de 50% do quadrado estava preenchido com palhada, considerou-se o quadrado cheio, caso contrário, foi considerado o quadrado vazio.
- B. Periodicidade: Duas coletas por ano: estação seca e estação chuvosa.
- C. Materiais necessários: Quadrado reticulado (Poggiani et al., 1996)
- D. Repetições: 5 em SAFs pequenos e 8 em SAFs grandes



Figura 2: Coleta de dados de cobertura viva e cobertura morta com quadrado reticulado posicionado em campo. Fonte: Autor, 2024.

## III. Macrofauna (Chagas, 2021)

- A. Método de coleta: No ponto de coleta, cavou-se uma trincheira de 20 x 25 x 25 cm, para permitir a inserção de uma pá de corte para coletar horizontalmente uma camada de até 5 cm de profundidade do solo (a mesma trincheira foi utilizada para a análise de densidade do solo). Foi realizada a retirada da serrapilheira que cobre o solo para a realização da coleta. A amostra foi colocada em saco reforçado, o qual foi levado para a contagem e identificação seletiva de indivíduos, até o nível de Ordem, em laboratório. Os indivíduos foram armazenados em potes com álcool 90 (FIGURA 3).
- B. Pote identificados com os devidos dados:
- Local - Número do lote/assentamento;
  - Nome do(a) agricultor(a) responsável;

- Saf ou pasto;
  - Data da coleta;
  - Número do ponto coletado.
- C. Periodicidade: Duas coletas por ano: estação seca e estação chuvosa.
- D. Materiais necessários:
- Cavadeira para abrir a trincheira;
  - Pá de corte - para coleta do solo;
  - Pinça - para coleta dos indivíduos;
  - Saco plástico reforçado;
  - Potes com tampa - um para cada ponto coletado;
  - Álcool 90%.
- E. Repetições: 3 em SAFs pequenos e 5 em SAFs grandes.



Figura 3: Coleta de dados da macrofauna: coleta de 5 cm de profundidade do solo, coleta e transposição dos indivíduos para o álcool, análise dos indivíduos em campo e identificação dos indivíduos em laboratório. Fonte: Autor, 2024.

#### IV. Infiltração de água (Chagas, 2024)

- A. Método de coleta: No ponto de coleta, foi inserido no solo um cilindro metálico de tamanho conhecido (6 cm de diâmetro por 15 cm de comprimento) e com as extremidades vazadas, na profundidade de 5 cm. Adicionou-se 100 ml de água no cilindro e cronometrou o tempo de infiltração total (FIGURA 4).
- A. Periodicidade: Duas coletas por ano: estação seca e estação chuvosa.
- B. Materiais necessários:
- Cilindro de metal resistente de 6 cm de diâmetro por 15 cm de comprimento
  - Garrafa com água
  - Medidor de água
  - Cronômetro
  - Martelo - auxiliou na inserção do cilindro no solo
- C. Repetições: 3 em SAFs pequenos e 8 em SAFs grandes



Figura 4: Coleta de dados da infiltração de água no solo: marcação de 5 cm do cilindro, inserção do cilindro no solo com auxílio de um martelo, despejo de 100 ml de água (início da contagem do cronômetro). Fonte: Autor, 2024.

#### II. Densidade do solo

- A. Método de coleta: No ponto de coleta, foi feita a abertura de uma trincheira para inserção da pá de corte na vertical, com o objetivo de retirar uma camada de terra de 10 cm de largura, 25 cm de comprimento e 25 cm de profundidade. A camada de solo foi colocada bem disposta em uma bandeja branca para melhor analisar o solo.



(FIGURA 5), analisar os agregados do solo comparando com as imagens e padrões da cartilha VESS (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011).

B. Periodicidade: Uma vez ao ano: estação chuvosa.

C. Materiais necessários:

- Pá de corte;
- Cartilha Vess (ANEXO 3);
- Bandeja branca de 50 cm por 35 cm - para disposição do torrão de solo.

D. Repetições: 3 em SAFs pequenos e 6 em SAFs grandes



Figura 5: Coleta de dados da densidade do solo: medição de 10 cm de largura da camada a ser coletada; camada sendo retirada do solo e colocada na bandeja para análise; análise em campo seguindo o padrão da cartilha VESS. Fonte: Autor, 2024.

### III. Erosão

A. Avaliada visualmente por meio de uma caminhada no raio de 2 metros ao redor do ponto de coleta. Ao encontrar uma erosão identificou-se se é erosão laminar (superficial), de sulco (com rastros) ou voçoroca (FIGURA 6).



Figura 6: Imagens da observação de erosão da superfície de solos. Fonte: Autor, 2024.

### 3.3. Análise de Dados

Os dados de Cobertura Viva, Cobertura Morta, Infiltração, Densidade, Erosão e Macrofauna referentes aos tratamentos (SAFs) e controle (Pastos) foram analisados por meio do Teste t para Duas Amostras Independentes, através do software Bioestat (Ayres et al., 2007).

Foi realizada uma análise dos indicadores biofísicos. Para isso, os dados foram categorizados com base em ponderações e pesos. A metodologia de Oliveira (2016) e Silva (2012) foi adaptada para essa análise e foram atribuídos pesos de 1 a 5 a todos os indicadores e parâmetros de avaliação (Quadro 2). O peso 1 representa o pior cenário, e o peso 5, o melhor. Essa abordagem permite visualizar as mudanças nas áreas com SAFs. Também facilita a compreensão do processo de evolução dessas áreas, em comparação com as áreas de controle.

As ponderações foram atribuídas conforme os seguintes critérios para cada indicador:

- Cobertura viva - 100% de cobertura / 5 (quantidade de categorias)
- Cobertura morta - 100% de cobertura / 5
- Infiltração de água - 1 hora (3600 segundos) / 5

Foi estabelecido um teto de 1 hora para a coleta de infiltração

- Erosão - possíveis estágios a serem encontrados de erosão, separados em 5 níveis.
- Densidade do solo - na cartilha VESS a ponderação é feita de Qe1 para Qe5, a

qual estabelece do solo menos denso ao mais denso, aqui esta ponderação foi invertida.

- Ordens por área - total de ordens encontradas / 5
- Indivíduos por área - 70 / 5

Foram encontrados o máximo de 64 indivíduos em uma única área, esse valor foi arredondado para 70 e dividido pelo total de categorias.

Quadro 2: Escala de pontuação dos indicadores.

Indicadores	1	2	3	4	5
Cobertura viva	Inexistente	menor 25%	26 a 50%	51 a 75%	76% a 100%
Cobertura morta	Inexistente	menor 25%	26 a 50%	51 a 75%	76% a 100%
Infiltração de água (segundos)	2880-3600	2160-2880	1440-2160	720-1440	0-720
Erosão	Sinal de Voçoroca (erosão intensa, que atinge o lençol freático - erosão subterrânea)	Sinal de erosão em sulco (rastros no solo de água corrida de maneira rasa e alongada)	Grande parte da área com erosão laminar Ao chover desce enxurrada	Sinal de erosão laminar em pequena parte da área (área mais plana com solo parcialmente coberto)	Sem sinal de erosão (área totalmente plana e solo bastante coberto)
Densidade	Qe5	Qe4	Qe3	Qe2	Qe1
Ordem por área	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15
Indivíduos por área	0-14	14-28	28-42	42-56	56-70

Fonte: Autor, 2024.

#### 4. Resultados e Discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados do estudo. No quadro a seguir (Quadro 3) serão apresentados os valores das médias e os valores de  $p$  que serão

posteriormente analisados com seu indicador referente.

Quadro 3: Valores das médias e valor *p* de cada indicador analisado.

	<b>CV (%)</b>	<b>CM (%)</b>	<b>IAS (s)</b>	<b>DS</b>	<b>ES</b>	<b>MIA (un)</b>	<b>MS (un)</b>
SAF	50,8	67,0	577,5	1,76	1,8	24,7	5,2
Pasto	45,2	50,6	1299,9	3	1,8	15,9	3,9
<i>p</i>	0,149	0,0034	<0,0001	<0,0001	0,5	0,09	0,082

Fonte: Autor, 2024.

Ao longo de um ano após a implantação, o manejo em cada SAF foi diferente, seguindo a disponibilidade, interesse e conhecimentos da própria família, bem como as diferentes condições do solo dos lotes, o que tem resultado em diferenças específicas de um SAF para o outro. Além disso, cada área de SAF tem histórico de utilização diferente, algumas áreas eram utilizadas para pastagens, outras hortas ou roças de culturas anuais, como: quiabo, milho e mandioca.

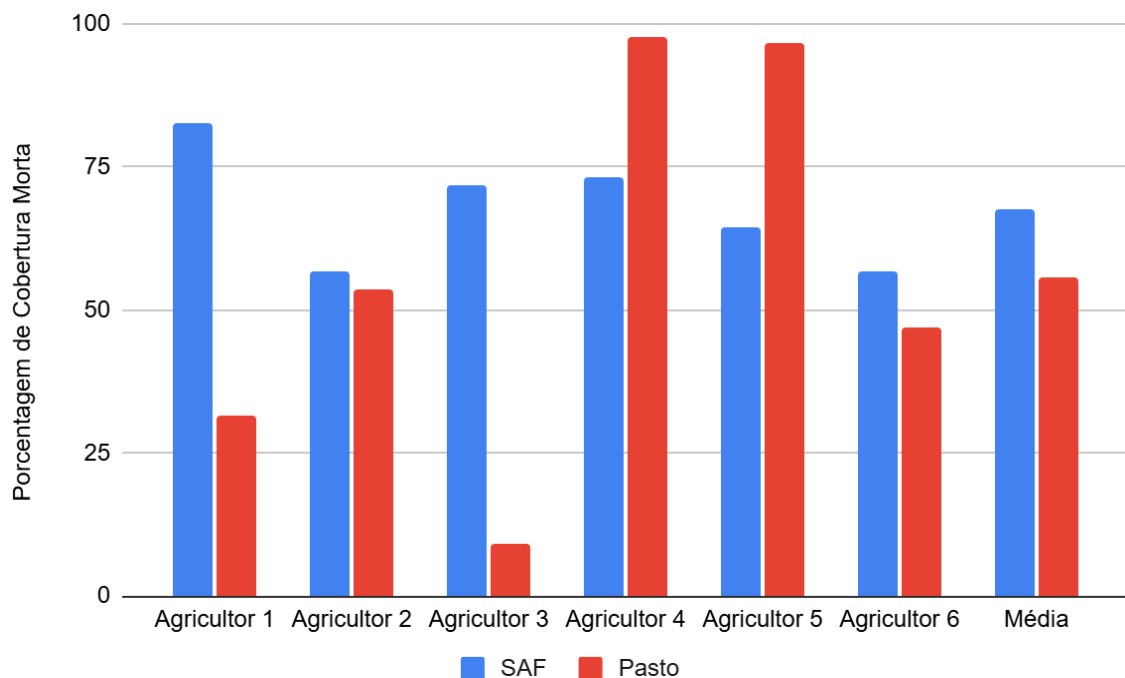
#### 4.1. Cobertura morta (CM)

Com o objetivo de destacar como o manejo da cobertura e da fertilidade do solo influenciaram os resultados finais, apresento os dados sobre a cobertura morta coletada em cada propriedade (Gráfico 1). Os dados obtidos nos diferentes tratamentos (SAFs) e nas áreas de controle (Pastos) mostraram padrões de manejo e históricos distintos, o que impacta diretamente os resultados.

Por exemplo, os agricultores 4 e 5 apresentaram maior cobertura morta nas áreas de Pasto do que nos SAFs. Isso ocorreu porque as áreas de pastagem eram utilizadas anteriormente como roça de culturas anuais ou de outros cultivos. Esses cultivos demandavam adubação e cuidados agrícolas frequentes, o que resultou em solos com melhor aptidão para o crescimento das plantas. Em comparação, os solos das áreas onde grande parte dos SAFs foram implantados não recebiam atividades agrícolas ou processos de recuperação do solo.

Esses tratos culturais como a adubação e o cultivo no solo favoreceram o crescimento de forrageiras, que posteriormente viraram grossas camadas de palhadas. Nos demais casos, os agricultores mantiveram um histórico de baixo manejo nas áreas de Pasto e iniciaram os manejos nas áreas de SAF após a implantação.

Gráfico 1: Relação de cobertura morta nos SAFs e nos Pastos de cada agricultor. Médias das coletas de Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, valores (%).



Fonte: Autor, 2024.

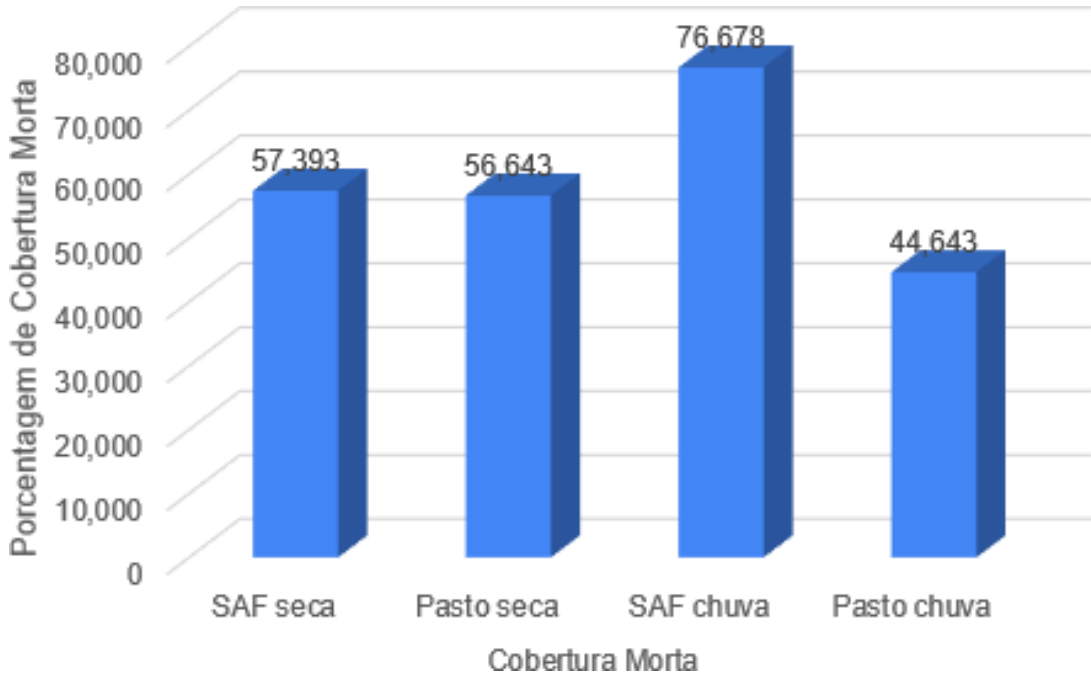
A cobertura morta desempenha um papel crucial na manutenção da umidade do solo, reduzindo a exposição direta ao sol e, conseqüentemente, a evaporação. Diminui o impacto das chuvas e o arraste de partículas que acarretam erosão. Além disso, contribui para o fortalecimento da ciclagem de nutrientes, criando um ambiente propício para microorganismos benéficos que promovem a saúde do solo (Silva, 2012)

Na análise de resultados, a cobertura morta teve diferença estatística na comparação entre as médias das coletas dos SAFs e dos Pastos, apresentou um valor de  $p = 0,0034$  (Quadro 3) sendo menor que 0,05, ou seja, dentro do intervalo de significância.

No Gráfico 2, pode-se destacar que a quantidade de material vegetal morto nos SAFs foi consideravelmente maior na época chuvosa, mesmo período em que a porcentagem de matéria viva também estava em seu ápice. Já nas coletas nos pastos em época chuvosa, mesmo com o favorecimento das condições climáticas para o crescimento das plantas, houve diminuição na quantidade de material encontrado, o que é um indicativo de que nos SAFs houve manejo de biomassa para a cobertura dos solos.



Gráfico 2: Relação entre as médias de cobertura morta nos SAFs e nos Pastos, nas estações seca ( $p=0,463$ ) e chuvosa ( $p=0,0002$ ). Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, valores (%).



Fonte: Autor, 2024.

Pode-se compreender então que a comparação entre as áreas na estação chuvosa influenciou para que esse indicador obtivesse diferença estatística (Quadro 4).

Quadro 4: Valor das médias e valor de p da Cobertura morta nas estações de seca e de chuva.

Cobertura morta (CM)				
	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva
Médias	57,393	56,643	76,678	44,643
p	0,463		0,0002	

Fonte: Autor, 2024.

Chagas (2024) analisa, além da porcentagem de cobertura, também a espessura das mesmas na linha de SAF, a porcentagem de solo exposto e o uso da cobertura morta, o que traz mais especificidade para os possíveis usos desse material. Os

resultados de Chagas para porcentagem da área com cobertura morta sobre o solo e a porcentagem de solo exposto, não obtiveram tendência significativa, ou seja, não apresentaram um padrão de tendência a aumentar ou diminuir de acordo com os fatores analisados (Chagas, 2024).

Ao contrário dos sistemas naturais e agrícolas, onde a biomassa introduzida no solo é predominantemente composta por materiais senescentes, nos SAFs do Projeto Dandara, a folhagem verde é a principal fonte de biomassa. A diferença crucial está no manejo da poda: nos SAFs, o material é podado antes de completar a senescência, o que significa que ele retém uma maior concentração de nutrientes. Em contraste, nos sistemas naturais, os nutrientes são translocados das folhas senescentes para as partes mais jovens da planta antes da queda. Portanto, ao podar o material enquanto ainda está verde, os SAFs garantem que os nutrientes presentes sejam diretamente incorporados ao solo, enriquecendo-o de forma mais eficiente e imediata (Nair; Kumar; Nair, 2021).

Uma outra abordagem da fertilidade do solo é destacada por Primavesi (2017), na qual a matéria orgânica é indicada com a base da fertilidade do solo, não por agir como fonte de nutrientes na forma orgânica, mas porque atua na nutrição da vida no solo, através da formação de agregados no solo e na mobilização de nutrientes (Primavesi, 2017). Tanto por um lado, quanto por outro, é possível inferir que a cobertura do solo é essencial para o bom desenvolvimento de sistemas agroecológicos, e que as famílias do Projeto Dandara conseguiram, ao longo do primeiro ano de manejo dos SAFs, manter uma cobertura de solo em suas áreas.

#### 4.2. Cobertura viva (CV)

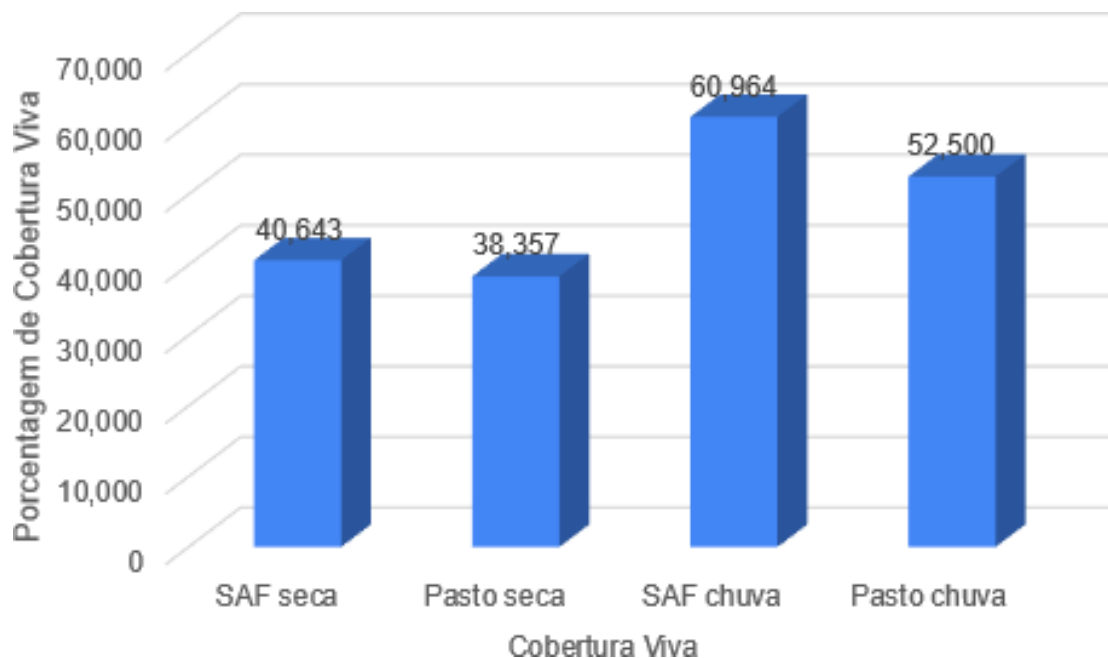
A cobertura vegetal viva desempenha um papel fundamental na restauração de solos agrícolas, oferecendo múltiplos benefícios para a saúde do solo e a produtividade das culturas. Ela é essencial para minimizar a exposição direta do solo, o que reduz a erosão e a evaporação da umidade. Além disso, a cobertura viva fornece biomassa que contribui para a ciclagem de nutrientes, aumenta a quantidade de bioporos formados pelas raízes e melhora a oferta de alimentos para as espécies animais presentes no solo. Essa vegetação também serve como um ambiente propício para microorganismos benéficos, fortalecendo a rede de interações biológicas essenciais para a saúde do solo e auxilia na produção de

matéria orgânica para o solo, a qual proporciona a melhor disponibilidade dos nutrientes para as plantas (Primavesi, 2002).

Ao analisar os resultados, a média desse indicador nos SAFs em comparação com os Pastos, obteve melhoria, entretanto, estatisticamente não se pode confirmar significativa diferença, uma vez que o valor de  $p$  encontrado foi de 0,1493 (Quadro 3).

Contudo, avaliando o Gráfico 3, tanto na coleta realizada na seca, quanto na coleta em época de chuva, a quantidade, em porcentagem, encontrada nas áreas com SAF, foi maior do que nas áreas com pasto, porém essas diferenças não foram expressivas, uma vez que apresentaram  $p > 0,05$  (Quadro 5). Destaca-se também que no período de chuvas essa diferença cresceu devido às boas condições para o desenvolvimento das plantas de cobertura.

Gráfico 3: Relação entre as médias de cobertura viva nos SAFs e nos Pastos, nas estações seca ( $p=0,355$ ) e chuvosa ( $p=0,1378$ ). Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, valores (%).



Fonte: Autor, 2024.

Quadro 5: Valor das médias e valor de p da Cobertura viva nas estações de seca e de chuva.

Cobertura viva (CV)				
	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva
Médias	40,643	38,357	60,964	52,500
p	0,355		0,1378	

Fonte: Autor, 2024.

Embora o manejo da cobertura para usos externos ao SAF não tenha sido contabilizado, foi perceptível a atividade de retirada de matéria orgânica ou vegetação do SAF para usos em outras atividades, como alimentação animal. É importante ressaltar, portanto, que o sistema não é fechado, ou seja, nem toda a matéria orgânica disponível contribui para a decomposição e melhoria das condições do solo local, visto que esse material está passível de retirada do sistema para outros fins.

#### 4.3. Macrofauna

A macrofauna edáfica foi analisada de maneira a avaliar sua quantidade e diversidade populacional, com o objetivo de compreender seu papel na melhoria da estrutura do solo, na ciclagem de nutrientes e na promoção da saúde do solo, além de identificar como essas espécies influenciam o desenvolvimento do ambiente e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A avaliação deste indicador foi feita tanto em quantidade de ordens por área (MS), quanto na quantidade de indivíduos por área (MIA). Para a avaliação da Quantidade de ordens por área o valor de  $p=0,0823$  e para a avaliação de Quantidade de indivíduos por área o valor de  $p=0,09$ , em ambos os casos valor de  $p>0,05$  (Quadro 3). Esse valor de p avalia a diferença geral entre SAFs e Pastos e não considera as diferentes estações analisadas, assim não demonstra diferença estatística.

Porém, ao avaliar cada estação, é possível observar a diferença estatística na elevação do número de indivíduos, influenciada pela presença da água, uma vez que no período de chuva, a diferença na Quantidade de indivíduos por área, dos

SAFs em comparação com os Pastos, é expressa pelo valor de  $p < 0,05$  (Quadro 6).

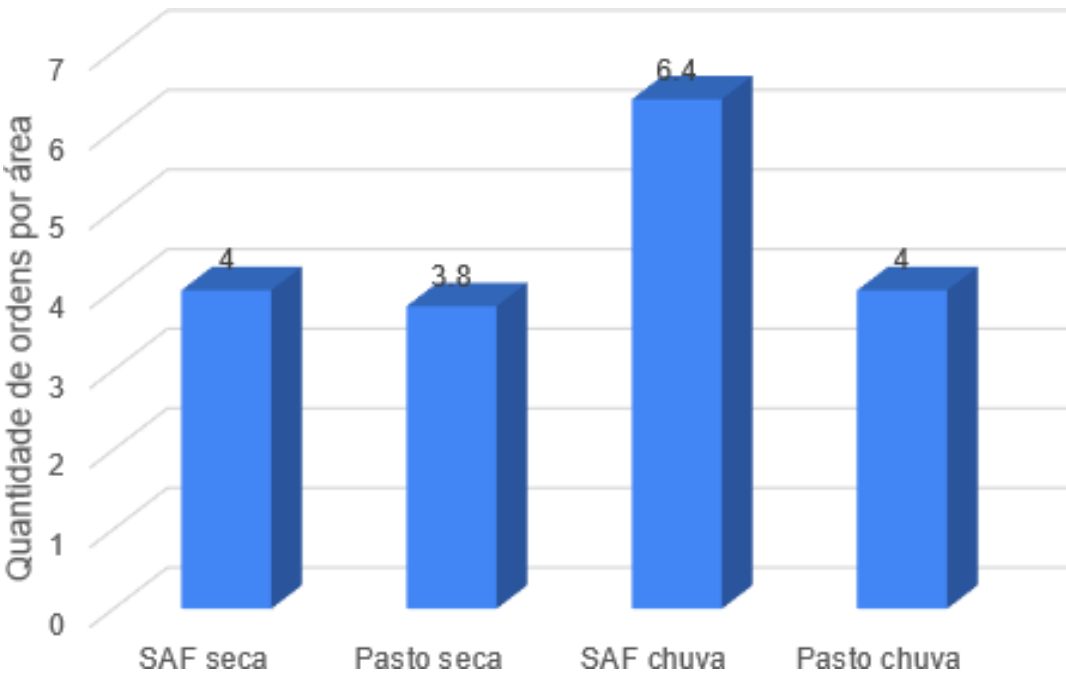
Quadro 6: Valor das médias e valor de  $p$  da Macrofauna para Quantidade de indivíduos por área e para Quantidade de ordens por área, nas estações de seca e de chuva.

	Quantidade de ordens por área				Quantidade de indivíduos por área			
	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva
Médias	4	3,8	6,4	4	14,4	15,8	35	16
$p$	0,428		0,054		0,415		0,047	

Fonte: Autor, 2024.

Em ambas as análises é possível ressaltar que o período de chuva no SAF proporcionou melhores condições para a fauna edáfica, resultando na discrepância apresentada nos gráficos, em relação às outras coletas (Gráfico 4).

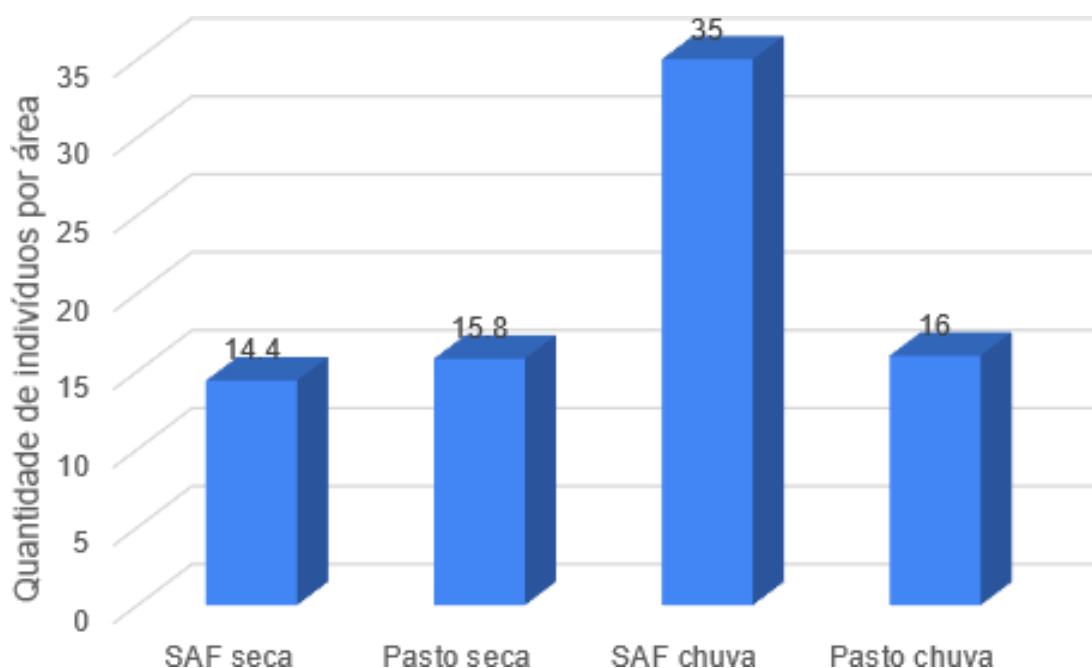
Gráfico 4: Média da quantidade de Ordens zoológicas nos SAFs e nos Pastos, nas estações seca ( $p=0,415$ ) e chuvosa ( $p=0,047$ ). Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, valores (unidades).



Fonte: Autor, 2024.

É possível observar que a presença de chuva impactou diretamente na quantidade de indivíduos da macrofauna encontrados nas coletas dos SAFs (Gráfico 5), esse fato pode ser relacionado à quantidade de cobertura do solo (Gráfico 2), colaborando para melhores condições de vida para a macrofauna edáfica, a partir do fornecimento de alimentos e manutenção da umidade.

Gráfico 5: Média da quantidade de indivíduos da macrofauna nos SAFs e nos Pastos, nas estações seca ( $p=0,428$ ) e chuvosa ( $p=0,054$ ). Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, valores (unidades).



Fonte: Autor, 2024.

Entende-se que cada espécie em um sistema tende a modificar o ambiente de forma a permitir que outras espécies se desenvolvam no local. Esse processo visa a complexificação do ambiente e a redução da competição, uma vez que diferentes espécies desempenham funções distintas, organizadas em grupos funcionais específicos que são atraídos para o sistema (Silva, 2012). Com isso vem a hipótese de encontrar, com o passar do tempo, mais diversidade e quantidade de ordens e de indivíduos no solo do SAF, quando comparado com pasto.

A presença de macrofauna do solo tem sido reconhecida por seu papel nos processos de ciclagem de nutrientes do sistema, uma vez que o material vegetal utilizado como biomassa para a cobertura do solo é decomposto por

microrganismos e pela fauna edáfica, devolvendo os nutrientes ao solo e tornando-os disponíveis para as plantas (Nair; Kumar; Nair, 2021). As populações deste grupo também são importantes na dispersão dos resíduos de vegetais e animais no solo, tanto de forma longitudinal quanto horizontal (Alves et al., 2015).

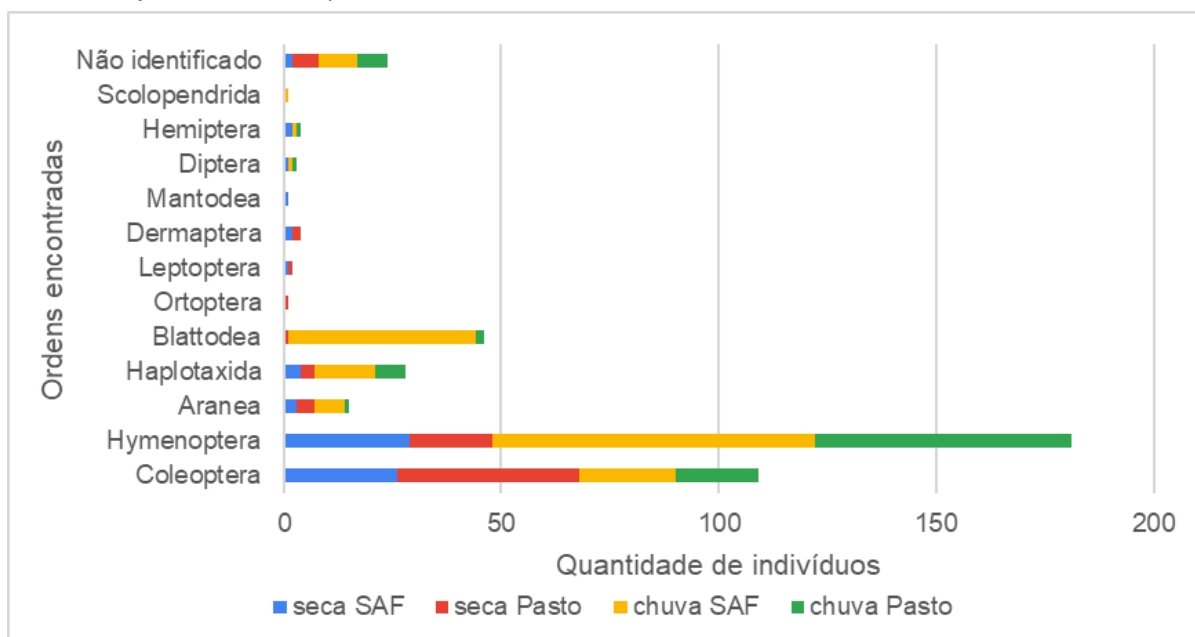
Segundo Brown et al. (2015) a macrofauna pode auxiliar em processos como a retenção e infiltração de água no solo, a partir da modificação da estrutura física do solo, o qual aumenta a porosidade na superfície do solo; altera o solo que serve como habitat para microrganismos; estimula a atividade microbiana e auxilia direta e indiretamente no controle de pragas com seus múltiplos hábitos alimentares. O que nos leva a crer que a melhora neste indicador, afeta diretamente os demais e a efetiva qualidade do solo (Brown et al., 2015).

As ordens de macrofauna encontradas nas coletas foram: Coleoptera, Hymenoptera, Araneae, Haplotaxida, Blattodea, Orthoptera, Lepidoptera, Dermaptera, Mantodea, Diptera, Hemiptera, Scolopendridae e outras não identificadas. É possível observar que Hymenoptera e Coleoptera tiveram destaque em quantidade superior de indivíduos, seguidas das ordens Blattodea, Haplotaxida e Araneae (Gráfico 6). Os coleópteros estiveram em maior concentração nos pastos na seca e os demais acima citados mantêm um padrão de maior concentração na chuva, principalmente nos SAFs.

A ordem Hymenoptera tem como grande representante as formigas, que possuem papel fundamental na aeração do solo, no processo de construção de galerias, além de auxiliarem na trituração da matéria orgânica e incorporação da mesma no solo (Pinto; Aquino; Assis, 2023)..

A ordem Coleoptera é a ordem com mais representantes existentes, representada por invertebrados como os besouros. Possui papel fundamental na incorporação de matéria orgânica no solo e na ciclagem de nutrientes, além de serem ótimos dispersores de sementes. Ademais, esses indivíduos colaboram para a construção de galerias no solo, auxiliando para a diminuição da densidade e manutenção da umidade (Pinto; Aquino; Assis, 2023).

Gráfico 6: Média da quantidade de indivíduos por ordem da macrofauna do solo dos SAFs e dos Pastos, nas estações seca e chuvosa (Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, respectivamente).



Fonte: Autor, 2024.

Das ordens citadas acima, as que foram encontradas exclusivamente nos SAF foram: Mantodea, Scolopendridae. A ordem Orthoptera foi encontrada somente em Pastos. Indicando que o SAF pode contribuir para o aumento de biodiversidade, por meio de abrigo, alimento e melhores condições de vida para a macrofauna.

#### 4.4. Infiltração de água no solo (IAS)

Para garantir que as plantas tenham boa disponibilidade de água no solo, é crucial que a infiltração seja adequada. Se a infiltração for baixa, o resultado será o escoamento superficial, que pode causar erosão e reduzir a quantidade de água que penetra no solo e fica, em partes, disponível para as plantas (Chagas 2021).

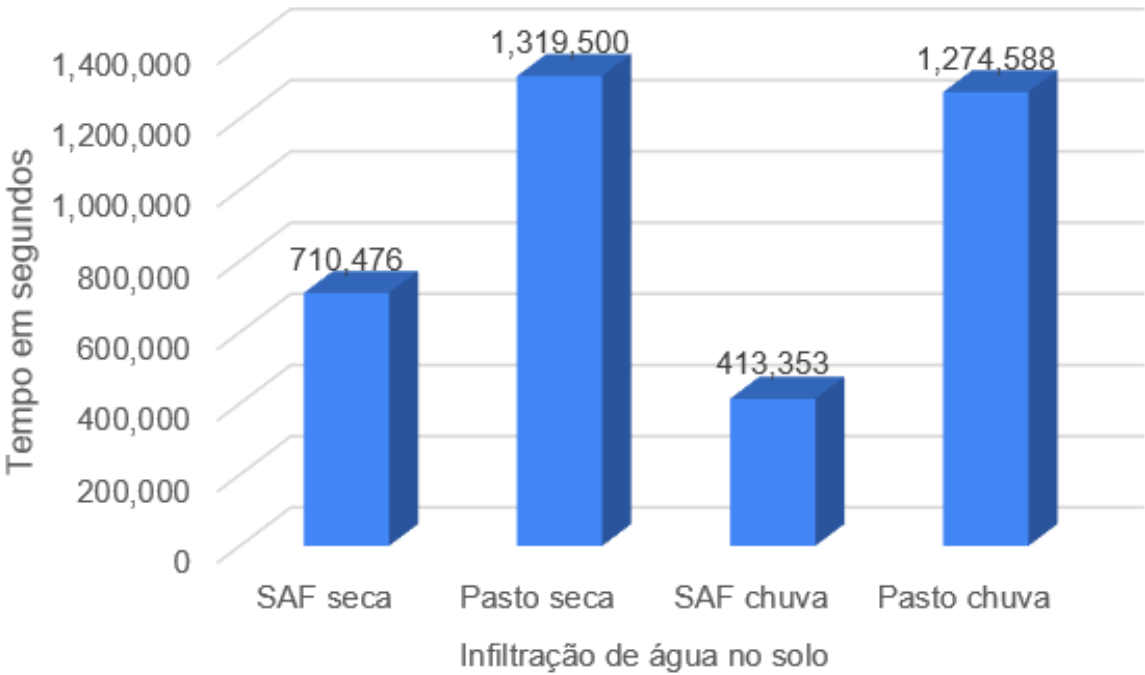
Por outro lado, uma infiltração muito rápida também pode indicar baixa disponibilidade de água, pois a água percola rapidamente, como acontece em solos mais arenosos. Porém esta última situação não foi considerada na avaliação, uma vez que o foco foi analisar a infiltração de água no solo e não exatamente a retenção de água no solo.

Os resultados apresentados no Gráfico 7, com resultado do tempo em segundos que a água demorou para infiltrar no solo, explicitam que nas duas campanhas de campo, a infiltração de água no solo dos SAFs foi estatisticamente mais rápida do



que no pasto  $p < 0,05$  na seca e na chuva (Quadro 7), o qual leva ao valor geral de  $p < 0,0001$  (Quadro 3).

Gráfico 7: Tempo médio de infiltração da água no solo, em segundos, nos SAFs e nos Pastos, nas estações seca ( $p=0,0035$ ) e chuvosa ( $p=0,0003$ ) (Setembro de 2023 e Janeiro de 2024, respectivamente). Onde 1,400,000 equivale a 1.400,000.



Fonte: Autor, 2024.

Quadro 7: Valor das médias e valor de  $p$  da Infiltração de água no solo, nas estações de seca e de chuva.

Infiltração de água no solo (IAS)				
	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva
Médias	710,476	1.319,500	413,353	1.274,588
p	0,0035		0,0003	

Fonte: Autor, 2024.

Esse resultado nos leva a entender a relação com a conservação e melhoria das condições físicas do solo, uma vez que quando a taxa de infiltração está baixa, surgem problemas como o escoamento superficial, o que pode levar à erosão do solo (Chagas, 2024).

Primavesi (2017) afirma que quando o solo se adensa e perde sua estrutura porosa, a infiltração de água diminui, o que reduz o nível de água no solo e prejudica o crescimento das raízes, as quais ficam rasas e sofrem com o calor excessivo. Além de dificultar a absorção de água e nutrientes, tornando as plantas mais suscetíveis a pragas e doenças, por exemplo. A matéria orgânica ajuda a melhorar a estrutura do solo, ao agregar as partículas, tornando-o mais poroso, o que facilita a infiltração de água e favorece a saúde das plantas (Primavesi, 2017).

#### 4.5. Densidade do solo (DS)

Análise feita através da técnica VESS, com o objetivo de avaliar a estrutura do solo, identificar sinais de compactação e degradação, e compreender a influência desses fatores na saúde do solo e na sua capacidade de suportar práticas agrícolas sustentáveis.

A avaliação de densidade através do método VESS, indica que quanto maior o valor de  $Q_e$ :  $Q_{e1}$  a  $Q_{e5}$ , mais compactados estão os agregados, ou seja, mais adensado é o solo. Esse método foi descrito por Ball et al. (2007) e adaptado em Guimarães et al. (2011). Para esse indicador, não é realizada coleta de dados na estação seca, devido à excessiva compactação do solo durante esse período.

Nos casos observados (Gráfico 8), os solos das áreas com SAF, menos densos, apresentaram considerável diferença ( $p < 0,0001$ ) (Quadro 3), quando comparado com as áreas de Pasto, mais densos (Figura 7).

Segundo Lopes et al. (2024) o baixo valor da densidade do solo pode ser explicado pelo recente revolvimento da área. Em sua pesquisa, ela analisou a comparação dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho em sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado e apresentou que os sistemas de integração obtiveram tamanho de raízes e agregados distintos, indicando um potencial para melhora na qualidade estrutural do solo desses sistemas quando comparado com mata nativa (Lopes et al., 2024).

Gráfico 8: Relação entre as médias de densidade dos solos de SAF e Pasto, ( $p < 0,0001$ ).



Fonte: Autor, 2024.



Figura 7: Coletas de densidade no agricultor 1, imagens superiores são referentes às coletas no pasto e as imagens inferiores são referentes às coletas no SAF. Fonte: Autor, 2024.

É possível relacionar os indicadores de Infiltração e de Densidade, uma vez que um é inversamente proporcional ao outro. Solos mais compactados, com maior densidade, possuem uma baixa taxa de infiltração, ou seja, maior o tempo para que

a água penetre no solo. Ambos os indicadores apresentaram diferença estatística na comparação dos SAFs (menos densos e maior taxa de infiltração) com os pastos (mais densos e menor taxa de infiltração).

#### 4.6. Erosão do solo (ES)

Um dos principais fatores que determinam a vulnerabilidade de uma região à erosão do solo é a forma como a terra é utilizada (Minella et al., 2007).

Os resultados da análise da presença de erosão nos diferentes sistemas mostraram-se semelhantes tanto no tratamento (SAF, na seca e na chuva) quanto no controle (Pasto, na seca e na chuva) ( $p=0,5$ ) (Quadro 3). Ao avaliar cada estação separadamente, observa-se um valor de  $p$  distinto para cada uma, porém é mantido  $p>0,05$  (Quadro 8).

Quadro 8: Valor das médias e valor de  $p$  da Erosão do solo, nas estações de seca e de chuva.

Erosão do solo (ES)				
	SAF seca	Pasto seca	SAF chuva	Pasto chuva
Médias	4	5	5	4
$p$	0,173		0,152	

Fonte: Autor, 2024.

Este foi um indicador com baixa capacidade de resposta, frente ao curto tempo de análise, uma vez que o solo ainda está em melhoria, além do fator de baixa precisão ocasionado pelo método de observação direta, sem uma técnica de mensuração objetiva.

Os fatores que influenciam diretamente a erosão incluem: clima, estrutura e textura do solo, drenagem, cobertura vegetal, uso da terra e práticas conservacionistas (Guerra, 1990).

Ao avaliar esses fatores através dos demais indicadores analisados, como a presença das coberturas e a infiltração, é possível compreender que a melhoria desses indicadores pode levar a uma redução da erosão no futuro, uma vez que o aumento de cobertura vegetal do solo tem potencial para proporcionar uma diminuição do processo erosivo. É essencial que a vegetação e o manejo do solo

sejam feitos de forma integrada em prol de preservar o potencial produtivo da terra (Cooper, 2008; Chagas, 2024).

#### 4.7. Análise conjunta dos indicadores

Ao analisar o compilado dos resultados encontrados para todos os indicadores, é possível observar que na maioria dos casos a situação dos SAFs, quanto aos quesitos biofísicos analisados, foi melhor ou mínimo igual aos pastos, com exceção da Erosão (Gráfico 9).

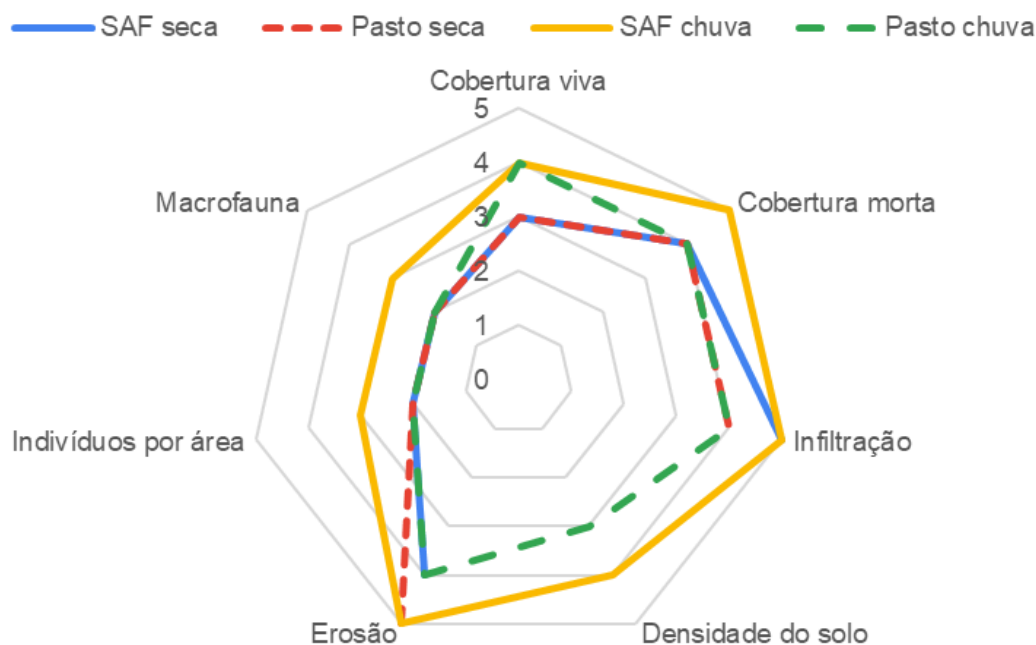
Observa-se que no gráfico 9 os tracejados referentes às coletas da seca não aparecem para o indicador de Densidade do solo, uma vez que este foi coletado somente na época de chuva. Na estação avaliada, este indicador mostrou diferença entre as áreas analisadas, o qual demonstra através das ponderações, que os SAFs estão melhores que os Pastos.

Para os demais indicadores é possível observar que os resultados estão maiores nos SAFs na coleta da chuva, o que nos leva a refletir sobre a influência da água no crescimento das plantas e como a diferença entre SAFs e Pastos cresce nessa época de potencialização do sistema, diferente da seca, em que essa comparação mantém os indicadores praticamente no mesmo nível da escala. Com isso, as análises realizadas nos levam a concluir que os SAFs auxiliaram no desenvolvimento da maioria dos atributos analisados, principalmente na época de chuva.

Avalia-se que o crescimento e o manejo da biomassa no sistema interfere diretamente nos demais indicadores do SAF. Quanto maior a vegetação de cobertura, viva ou morta, maior a presença e diversificação da macrofauna local. Além de refletir na menor densidade do solo, uma vez que os bioporos formados tanto por raízes, quanto galerias criadas por invertebrados do solo, auxiliam nesse processo de descompactação e de infiltração de água no solo (Brown et al., 2015) .

Gráfico 9: Relação entre os indicadores biofísicos dos SAFs e dos Pastos nas diferentes estações analisadas.

Evolução dos indicadores, sendo: 1 indesejado e 5 desejado.



Fonte: Autor, 2024.

É importante salientar que a melhoria nas características biofísicas analisadas, após um ano de uso do Sistema Agroflorestal pode ser atribuída a diversos fatores, como: o preparo do solo na implantação dos SAFs, alterando as condições físico-químicas dessas localidades, o que não ocorreu nos pastos; a inserção de plantas em consórcio com diferentes portes, como arbóreas e arbustivas, além de herbáceas espontâneas, que contribuiram para a formação de bioporos e a exploração de diferentes horizontes do solo; o manejo da biomassa para cobertura do solo dos SAF; além do diferente histórico de uso das áreas.

Para melhor visualizar a diferença entre as áreas de SAFs e Pastos de diferentes agricultores, seguem imagens das diferentes áreas de dois agricultores (Figura 8 e 9).





Figura 8: À esquerda a imagem do SAF do agricultor 6 e à direita a imagem do Pasto do mesmo agricultor.

Fonte: Autor, 2023.



Figura 9: À esquerda a imagem do SAF do agricultor 4 e à direita a imagem do Pasto do mesmo agricultor.

Fonte: Autor, 2024.

De acordo com Vezzani (2015) quanto maior a biodiversidade do ecossistema, mais ele fornece serviços ecossistêmicos, ou seja, serviços que geram impacto econômico direta ou indiretamente, como: ciclagem de nutrientes, fluxo de energia e matéria e fornecimento de água (Vezzani, 2015).

## 5. Considerações finais

Com o decorrer das análises, foi possível avaliar a diferença entre os modos de uso da terra: sistema agroflorestal e pasto; bem como as possíveis correlações entre os indicadores avaliados, de acordo com as variáveis biofísicas selecionadas.

As áreas onde já haviam hortas ou alguma produção agrícola com uso de adubos externos, pode-se observar melhor crescimento tanto das espécies implantadas como das plantas de cobertura, isso tanto nos SAFs como nos pastos, que antes recebiam adubação e manejo recorrente.

Neste estudo, não foi analisada a diferença entre SAFs com ou sem irrigação, porém é perceptível, através da avaliação nas diferentes estações, que a água influencia no desenvolvimento dos SAFs. Ademais, também não foi analisada a distribuição de raízes no solo, as quais poderiam auxiliar na melhora na análise e complementação dos resultados, em caso de futuros estudos.

Os próximos passos envolvem, além do planejamento do monitoramento a médio e longo prazos, a devolutiva dos resultados do estudo para os agricultores, na esperança de auxiliar no manejo adaptativo para as áreas atingirem seu melhor potencial de produção e resiliência dentro dos SAFs.

O presente estudo avalia a melhora contínua, quanto aos atributos biofísicos intrínsecos ao SAF e destaca a importância de aprofundar os estudos frente a resiliência do sistema em diferentes situações, tanto ao analisar diferentes indicadores, como ao avaliar esses indicadores ao longo do tempo. Uma vez que, com o passar do tempo, é esperado que a diferença entre os sistemas de produção (SAF *versus* Pasto) tende a aumentar, devido ao crescimento das espécies arbóreas e alteração das condições biofísicas dos SAFs.

O aprofundamento de estudos, como este, traz resultados práticos sobre o impacto do investimento em sistemas agroflorestais aliados ao uso conservacionista do solo e dos recursos naturais, reforçando a importância da criação e implementação de políticas públicas que fortaleçam os sistemas agroecológicos, como as linhas do PRONAF Bioeconomia, Floresta e Agroecologia e o PDRS. Essas políticas possibilitam que as famílias beneficiadas alcancem autonomia na produção, ao mesmo tempo em que contribuem para a manutenção e conservação dos recursos naturais.

O aprimoramento das metodologias e as coletas de dados foram satisfatórias ao longo do estudo, contribuindo para o aprimoramento dos métodos de coleta e



análise de indicadores biofísicos de SAF, porém a metodologia de coleta da Erosão do solo pode ser melhor desenvolvida, com técnicas de mensuração objetivas para obter resultados de maior precisão.

Os resultados indicam uma evolução na maioria das características biofísicas avaliadas, quando comparado aos sistemas de pastos do assentamento, ressaltando a importância dos SAFs, para o aumento da agrobiodiversidade, como, por exemplo, o bom desenvolvimento da fauna edáfica, e para a melhora nas propriedades físicas do solo, condicionando o solo para um melhor desenvolvimento das plantas ali cultivadas, bem como na evolução e complexificação do ecossistema e de suas funções ecológicas.

Portanto, vê-se a importância primordial do cuidado com o manejo e conservação do solo em sistemas de produção agroecológicos, pois como já dizia Primavesi (2017), “Somente com solo recuperado combate-se a miséria. E somente com a miséria vencida controla-se o meio ambiente e se salva a vida superior em nosso planeta”.

## 6. Referências

- ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. São Paulo: Expressão Popular, 2012, 400 p.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, v. 140, p. 33-45, 2017.
- ALVES, Paulo Roger Lopes; CASSOL, Pahola Baptista; SEGANFREDO, Milton Antônio; SPAGNOLLO, Evandro. **Contribuição da fauna do solo para os serviços ambientais**. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 121-154. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128021/1/final9207.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- Aquino, J. R. de ., Gazolla, M., & Schneider, S.. (2018). Dualismo no Campo e Desigualdades Internas na Agricultura Familiar Brasileira. *Revista De Economia E Sociologia Rural*, 56(1), 123–142.
- AYRES, M.; AYRES JUNIOR, M.; AYRES, D.; SANTOS, A. *BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas*. Belém: Ong Mamirauá, 2007.
- BANCO DA AMAZÔNIA. PRONAF Agroecologia. Banco da Amazônia. Disponível em: <https://www.bancoamazonia.com.br/agricultura-familiar/pronaf-agroecologia>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- BANCO DA AMAZÔNIA. PRONAF Bioeconomia. Banco da Amazônia. Disponível em: <https://www.bancoamazonia.com.br/agricultura-familiar/pronaf-bioeconomia>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- BANCO DA AMAZÔNIA. PRONAF Floresta. Banco da Amazônia. Disponível em: <https://www.bancoamazonia.com.br/agricultura-familiar/pronaf-floresta>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality: a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, v. 23, p.

329-337, 2007.

BRASIL. Lei nº 16.684, de 19 de março de 2018. Institui a Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica - PEAPO, e dá outras providências. (Projeto de lei nº 236, de 2017, dos Deputados Ana do Carmo - PT e Aldo Demarchi - DEM). *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, 19 mar. 2018.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF : Embrapa, 2015. p. 121-154.

CHAGAS, G. F. *Impactos biofísicos e socioeconômicos dos sistemas agroflorestais: um estudo de caso no Estado de São Paulo*. 2021. 47 p. Exame de Qualificação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

CHAGAS, Germano de Freitas. *Impactos biofísicos e socioeconômicos dos sistemas agroflorestais: um estudo de caso no estado de São Paulo*. 2024. 86 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Piracicaba, 2024.

COOPER, Miguel. *Degradação e Recuperação de Solos*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2008.

DALE, Virginia H.; BEYELER, Suzanne C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2001.

GUERRA, Antonio José Teixeira. *O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos*. Rio de Janeiro: Igeo-UFRJ, 1990.

LEE, H. *Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6)*. *IPCC AR6 Syr.*, v. 6, n. 6, p. 1-85, 2023.

LOPES, Izabely Alves; PAIVA FILHO, Silvio Vasconcelos de; FERREIRA, Camila Jorge Barnabé; TAVARES, Rose Luiza Moraes. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho em sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado. In: CONGRESSO DA UNIVERSIDADE DE RIO VERDE, 2024, Rio Verde. Anais... Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2024. Disponível em: <http://revistas.unirv.edu.br/index.php/cicurv/article/view/58/59>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MARCHETTI, F. F.; LOPES, K. C. S. A.; GUYOT, M.; SORRENTINO, M.; LOPES, P. R. Agroecologia: ciência, movimento político e prática social para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 18, n. 1, p. 388-415, 2023. MARCHETTI, F. F.; GUSSON, E.; LOPES, J. A.; MOREIRA, R. D.; GUERIN, N.; MARQUES, P. E. M. Projeto Dandara: transição agroecológica em territórios de reforma agrária. *Cadernos de Agroecologia*, v. 19, n. 1, 2024.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. dos. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MST (org.). *Plantar árvores produzir alimentos saudáveis*. Disponível em: <https://mst.org.br/especiais/plantar-arvores-produzir-alimentos-saudaveis/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. *An introduction to agroforestry: four decades of scientific developments*. 2. ed. Cham: Springer Nature, 2021. 666 p.

OLIVEIRA, J. E. *Monitoramento participativo de sistemas agroflorestais nos assentamentos do município de Iperó-SP*. 2016. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal de São Carlos, 2016.

PEREIRA, T. G. N. *A reforma agrária no Brasil: dilemas, perspectivas e estratégias das famílias do Assentamento Dandara*. 2020. 236 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Marília, 2020.

PINTO, Maria Clara Estoducto; AQUINO, Adriana Maria de; ASSIS, Renato Linhares

de. *Cartilha de identificação da fauna do solo: principais organismos encontrados no solo e suas funções ecológicas*. 2023. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R. E.; CUNHA, G. C. *Prática de ecologia florestal*. Documentos Florestais, v. 16, p. 1-44, 1996.

PRIMAVESI, Ana. *Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 2002.

PRIMAVESI, Ana Maria. *Pergunte o porquê ao solo e às raízes*. São Paulo: Expressão Popular, 2017.

PROJETO DANDARA. *Projeto Dandara: transição agroecológica em territórios de reforma agrária*. Relatório técnico. Piracicaba: NACE-PTECA/USP; COPROCAM/MST, 2022.

RECOFTC; ICRAF; AWG-SF. *Agroforestry for climate-resilient landscapes: training manual*. Bangkok: RECOFTC, 2020.

PROMISSÃO (Município). *Plano Municipal – Agricultura e Meio Ambiente*. Disponível em: <https://www.promissao.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 jun. 2023.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. *Embrapa*, v. 22, n. 212, p. 61-67, 2001.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. *Biodiversidade como fonte de renda na agricultura familiar: caminhos, desafios e aprendizados do PDRS*. São Paulo: CETESB / SIMA, 2021. 160 p.

SCHEMBERGUE, A. et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil 2. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 55, n. 1, p. 9-30, 2017.

SILVA, P. P. V. *Guia para monitoramento de projetos de restauração florestal baseados em sistemas agroflorestais*. Produtos Técnicos. São Paulo: SIMA, 2012. Disponível em: <[www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar](http://www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar)>. Acessado em: 02 jun. 2023.

VEZZANI, Fabiane Machado. Solos e os serviços ecossistêmicos. *Revista Brasileira*

*de Geografia Física*, v. 8, n. especial IV SMUD, p. 673-684, 2015. ISSN 1984-2295.

VIVIAN, J. L.; FLORIANI, G. S. Construção participativa de indicadores de sustentabilidade em sistemas agroflorestais em rede na Mata Atlântica. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2004, Curitiba – SAF: Desenvolvimento com proteção ambiental. Curitiba: Embrapa Florestas, 2004. p. 134-139.

ZELLER, M.; SCHIESARI, C.. The unequal allocation of PRONAF resources: which factors determine the intensity of the program across Brazil?. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 58, n. 3, p. e207126, 2020.

Dandara.























**Anexo 2:** Dimensões, atributos e indicadores de monitoramento do Projeto Dandara.

<b>Dimensão</b>	<b>Atributo</b>	<b>Indicador</b>
Biofísica	Biodiversidade	Avistamento de fauna
		Macrofauna do solo
	Qualidade do solo	Cobertura viva
		Cobertura morta
		Erosão
		Infiltração de água
		Fertilidade (MO e nutrientes)
		Plantas indicadoras (retirado)
		Temp, Umid, Sombra (transferido para dimensão produtiva)
Produtiva	Agrobiodiversidade	Taxa mortalidade
		Quantidade de espécies agrícolas incorporadas no sistema
		Diversidade de espécies agrícolas incorporadas no sistema
		Espécies adubação verde
	Insumos	Uso de agrotóxicos
		Uso de adubos minerais
		Uso de adubos orgânicos
		Uso de insumos
	Manejo	Intensidade de manejo
		Poda
		Supressão de indivíduos



		Capina
		Plantio
	Produção	Colheita
	Desenho	Evolução do desenho croqui
Econômica	Escoamento	Comércio
		Autoconsumo
		Doação e/ou trocas
	Geração de renda	Renda Familiar
		Custos associados
		Agregação de valor
Sociocultural	Engajamento	Nº participantes
		Nº desistentes
		Engajamento feminino
		Engajamento etário
		Engajamento diplomático
	Conhecimento Agroecológico	Compreensão
		Apropriação
		Disseminação
	Sociabilidade	Mutirão
		Outros eventos
	Satisfação	Satisfação com o Projeto
		Satisfação com o SAF
	Governança	Fortalecimento COPROCAM
		Autonomia
		Relações Institucionais

**Anexo 3:** cartilha VESS (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011).

Qualidade Estrutural	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível e raízes	Aparência depois do manuseio: vários solos	Aparência depois do manuseio: mesmo solo diferentes manejos	Característica distintiva	Aparência e descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro	0
<b>Qe1 Friável</b>  Agregados quebram facilmente com os dedos	Maioria < 6 mm após a quebra	Alta porosidade  Raízes por todo solo			  Agregados pequenos	  A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.	1 2 3 4 5
<b>Qe2 Intacto</b>  Agregados quebram facilmente com uma mão	Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm  Sem presença de torrões	Maioria dos agregados são porosos  Raízes por todo solo			  Agregados altamente porosos	  Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.	10
<b>Qe3 Firme</b>  Maioria dos agregados quebram com uma mão	Uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes	Macroporos e fissuras presentes  Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados			  Agregados com baixa porosidade	  Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.	15
<b>Qe4 Compacto</b>  Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável	Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm	Poucos macroporos e fissuras  Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados			  Macroporos bem distintos	  Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.	20
<b>Qs5 Muito compacto</b>  Difícil quebra	Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso	Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas. Poucas raízes e restritas a fissuras			  Cor azul-acinzentada	  Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras.	25 cm