

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA ORGÂNICA

DISSERTAÇÃO

**Análise Hídrica de 3 Cenários: SAF Horta Floresta,
Pasto e Floresta Nativa. Um Estudo de Caso em
Florestal, MG**

Felipe Elia de Almeida Magalhães

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**ANÁLISE HÍDRICA DE 3 CENÁRIOS: SAF HORTA FLORESTA,
PASTO E FLORESTA NATIVA. UM ESTUDO DE CASO EM
FLORESTAL, MG**

FELIPE ELIA DE ALMEIDA MAGALHÃES

Sob a Orientação do Professor
Eduardo F. C. Campello

e

Coorientação do Pesquisador
Leonardo D. B. Silva

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Orgânica, no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

Seropédica, RJ
Junho de 2023

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Magalhães, Felipe Elia de Almeida, 1983-
M188a Análise hídrica de 3 cenários. Sistema
agroflorestal horta floresta, pasto e fragmento de floresta
nativa, em Florestal, MG: um estudo de caso
/ Felipe Elia de Almeida Magalhães. - Seropédica, 2023.
109 f.: il.

Orientador: Eduardo F. C. Campello.
Coorientador: Leonardo D. B. Silva. Dissertação (Mestrado).
-- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura Orgânica, 2023.

1. Cobertura do solo. 2. Sistema agroflorestal. 3.
Disponibilidade de água. I. Campello, Eduardo F. C., 1956-,
orient. II. Silva, Leonardo D. B., 1971-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-
Graduação em Agricultura Orgânica. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA -
PPGAO**

FELIPE ELIA DE ALMEIDA MAGALHÃES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura Orgânica**, no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 05/07/2023.

Eduardo Francia Carneiro Campello. Dr. Embrapa
Agrobiologia
(Orientador)

Pâmela Gomes Nakada Freitas. Dra. UNESP

Bruno Nery Fernandes Vasconcelos. Dr. UFV



Emitido em 18/09/2023

DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS Nº 16430/2023 - PPGAO (12.28.01.00.00.36)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 20/09/2023 09:50)

PÂMELA GOMES NAKADA-FREITAS

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.118-##

(Assinado digitalmente em 21/09/2023 10:26)

BRUNO NERY FERNANDES VASCONCELOS

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.656-##

(Assinado digitalmente em 19/09/2023 10:14)

EDUARDO FRANCIA CARNEIRO CAMPELLO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.197-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/documentos/> informando seu número: **16430**, ano: **2023**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS**, data de emissão: **18/09/2023** e o código de verificação: **1e9242ce0d**

DEDICATÓRIAS

Aos meus filhos Bernardo, Maína e Nitai e aos amigos deles. Às crianças que vivem em meio a discussões valiosas e importantes para a sobrevivência com paz, amor, empatia, cooperação e amizade entre todos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos colegas de teimosia e alegria em praticar agricultura orgânica, mesmo quando não temos apoio financeiro, a todos os colegas do GAO e Apêti UFV.

Agradeço à professora orientadora da “turma da agroecologia” em Viçosa, Irene Cardoso, que me permitiu entrar na turma de agrônomos quando ofereceu uma carona numa visita técnica à Fazendinha em Seropédica RJ no ano de 2005. Depois ela continuou a apresentar em suas aulas sistemas regenerativos e visões da agricultura que me fortaleceram a tomar esse rumo de pesquisa.

Agradeço ao meu orientador, doutor Eduardo Francia Campello, pela paciência, empatia e sentido prático com que me orienta neste trabalho.

Ao meu coorientador Leonardo Duarte Batista da Silva, que me auxilia e direciona a explorar a engenharia de água e solo de forma objetiva. Agradeço por me ajudar a desenvolver essa linguagem.

Ao pesquisador da Embrapa Alexander de Resende pelas correções e apontamentos que tornaram o estudo mais sólido e relevante.

Ao Luiz Fernando Duarte pela orientação empática e detalhada na revisão formal do trabalho.

Desejo agradecer aos meus colegas de agricultura e irrigação, Caio, Mauro Lucio e Henrique pelas parcerias e trabalhos.

Ao amigo e professor na UFV campus Florestal, Denis Guedes pela parceria e apoio no desenvolvimento do trabalho.

Aos preciosos conselhos acadêmicos do professor Valdeir Eustáquio Junior.

À ajuda fundamental de Stephane, Cássio, Danielle e Gabriel.

Agradeço ao Lucas e à Kyvia por colocarem o sítio e o sistema horta floresta à disposição para servir de base para esse estudo.

Aos colegas das turmas 10,11,12 e 13 do PPGAQ que pela convivência me deram a certeza que eu estava no caminho certo, em sintonia com pessoas com propósitos admiráveis.

Aos colegas da Agência de Ibiá da CAIXA ECONÔMICA FEDERAL que me apoiaram nessa empreitada.

Aos sábios agricultores: José Teles, Seu Nonô, Seu Manguito e Ernst Götsch.

Aos meus pais pelo filme “Tem Boi no Trilho” que inspira a luta pela vida e o encontro interior de forças para desmontar máquinas e sistemas.

A minha família pelo amor e coerência no modo de pensar.

RESUMO

MAGALHÃES, Felipe Elia de Almeida. **Análise hídrica de 3 cenários: SAF horta floresta, pasto e floresta nativa. Um estudo de caso em Florestal, MG.** 2023. 96p. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

O aumento da área de produção agrícola no Brasil e a concentração da agricultura em cultivos de grãos anuais gera consequências ao ambiente e ao modo de produção rural. Duas grandes consequências são: a escassez de água gerada pela alta demanda de área irrigada e a degradação ambiental, decorrente de supressão da cobertura vegetal nativa e de práticas intensivas de cultivo. Diante desse cenário, surge uma corrente de pensamento que busca modos de cultivo de alimentos que sejam eficientes na conservação da água no ambiente e que gerem benefícios ambientais ou o mínimo de impactos negativos. Nesse contexto, esta pesquisa avaliou os parâmetros ambientais indicadores da conservação de água em uma área de produção agroflorestal do tipo “horta floresta”, sistema que vem sendo listado como alternativa prática de recuperação do ambiente. O trabalho foi realizado no Sítio das Mangueiras, em Florestal, MG e analisou se o sistema horta floresta pode gerar benefício hídrico ambiental semelhante a áreas florestais. A avaliação da conservação de água no ambiente foi feita a partir de medições de umidade do solo durante o período chuvoso entre os meses de novembro de 2021 a janeiro de 2022 e durante o período seco, de junho a agosto de 2022. A umidade do solo foi determinada com frequência média de três vezes por semana. Os dados obtidos para os três cenários foram submetidos à análise de variância e quando o F foi significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). O acompanhamento das relações hídricas nos sistemas foi realizado possibilitando uma estimativa da quantidade de água que seria necessária para irrigação de uma hipotética produção agrícola no período. Para caracterizar as áreas foram coletados dados pontuais de temperatura e umidade relativa do ar, textura e taxa de infiltração de água no solo. As análises de umidade e a caracterização dos cenários permitiram testar se existem indícios de benefícios hídricos pela adoção de horta floresta no local. As conclusões do estudo foram: primeiro, que tanto no período de chuvas como na seca o sistema água-solo-planta no fragmento florestal apresentou características de conservação da umidade do solo significativamente superior ao SAF horta floresta e à pastagem, enquanto não houve diferença significativa entre a conservação de umidade do solo entre as áreas de SAF e pastagem. Segundo, em relação à simulação da irrigação nos três cenários o fragmento florestal apresentou 71% de economia de água em relação ao SAF, que por sua vez apresentou economia de uso de água da ordem de 12 % quando comparado à pastagem.

Palavras-chave: Cobertura do solo. Sistema agroflorestal. Disponibilidade de água.

ABSTRACT

MAGALHÃES, Felipe E. A. **Water analysis of 3 scenarios. Vegetable agroforestry system, pasture and native forest fragment, in Florestal, MG: a case study.** 2023. 96p. Dissertation (Professional Masters in Organic Agriculture). Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

The increase in the Brazilian agricultural production area and the agriculture focus on annual grain crops has consequences for the environment and the way of farm production. Two major consequences are: water scarcity generated by the high demand for the irrigated area and environmental degradation, resulting from the suppression of native vegetation cover and intensive cultivation practices. Faced with this scenario, a stream of thought emerges that seeks ways of growing food that are efficient in conserving water in the environment and that generate environmental benefits or a minimum of negative impacts. In this context, this research evaluates the environmental parameters that indicate water conservation in a production area of the vegetable agroforestry system (VAFS), a production form that has been listed as an alternative practice for recovering the environment. The work was carried out at Sítio das Mangueiras, in Florestal, MG and analyzed whether the VAFS can generate environmental water benefits like fragments of native forest. The evaluation of water conservation in the environment was carried out from measurements of soil moisture during the rainy season between the months of November 2021 to January 2022 and during the dry season, from June to August 2022. Soil moisture was determined with an average frequency of three times a week. The data obtained for the three scenarios were submitted to analysis of variance and when the F was significant, the means were compared using the Tukey test (5%). The monitoring of water relations in the systems was carried out, allowing an estimate of the amount of water that would be needed for irrigation of a hypothetical agricultural production in the period. To characterize the areas, punctual data on temperature and relative humidity of the air, texture and rate of water infiltration into the soil were collected. Moisture analyzes and the characterization of the scenarios allowed testing whether there are indications of water benefits from the adoption of the VAFS at the site. The conclusions of the study were: first, that in the both seasons, the water-soil-plant system in the forest fragment showed characteristics of soil moisture conservation significantly superior to VAFS and pasture, while there was no difference significant difference between soil moisture conservation between VAFS and pasture areas. Second, in relation to the simulation of irrigation in the three scenarios, the forest fragment showed 71% water savings compared to the VAFS, which in turn showed savings in water use of around 12% when compared to the pasture.

Keywords: Soil coverage. Agroforestry system. Water availability

LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

| | |
|------------------|--|
| APP | reas de preservação permanente |
| CTA | capacidade total de água no solo (mm) |
| ET _{pc} | evapotranspiração potencial (mm) |
| ETR | evapotranspiração real (mm) |
| LAA | lâmina atual de água no solo (mm) |
| SAF | sistema agroflorestal |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FAO | Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura |
| ha | hectare |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| PPGAO | Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica |
| UFRRJ | Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro |
| VAFS | Vegetable agroforestry system |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Degradação Ambiental, Perda da Cobertura Florestal, Escassez de Água e Mudanças Climáticas | 3 |
| 2.2 Florestas Nativas e Serviços Ambientais | 5 |
| 2.3 SAF, Florestas e Serviços Ambientais | 7 |
| 2.4 Os Sistemas Agroflorestais em Relação à Paisagem..... | 9 |
| 2.5 Coberturas Vegetais do Solo e Conservação de Água no Solo | 10 |
| 2.6 Condições Hídricas nos Ecossistemas..... | 11 |
| 2.6.1 Evapotranspiração | 11 |
| 2.6.2 Temperatura e umidade relativa do ar | 12 |
| 2.6.3 Umidade do solo..... | 13 |
| 2.6.4 Infiltração de água no solo | 14 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 16 |
| 3.1 Área de Estudo: Sítio das Mangueiras – Florestal MG | 16 |
| 3.2 Áreas de Estudo | 18 |
| 3.2.1 Área 1: SAF horta floresta..... | 18 |
| 3.2.2 Área 2: pastagem | 21 |
| 3.2.3 Área 3: fragmento de floresta estacional semidecídua | 22 |
| 3.3 Escolha da Área de Fragmento Florestal..... | 23 |
| 3.4 Caracterização da Fertilidade do Solo nas Áreas | 26 |
| 3.5 Parâmetros Hídricos Avaliados | 26 |
| 3.5.1 Evapotranspiração | 26 |
| 3.5.2 Umidade do solo..... | 26 |
| 3.5.3 Velocidade de infiltração de água no solo..... | 27 |
| 3.5.4 Temperatura e umidade relativa do ar nas áreas de cultivo..... | 27 |
| 3.6 Análise e Comparação dos Dados | 27 |
| 3.6.1 Precipitação e evapotranspiração..... | 27 |
| 3.6.2 Balanço de água..... | 28 |
| 3.7 Análise Estatística | 28 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 4.1 Distribuição da Precipitação Durante o Período Analisado | 29 |
| 4.2 Caracterização da Fertilidade do Solo nas Áreas | 30 |
| 4.3 Umidade do Solo | 32 |
| 4.3.1 Análise do período chuvoso | 32 |
| 4.3.2 Análise do período seco..... | 33 |
| 4.3.4 Análise do efeito das precipitações na umidade do solo | 38 |
| 4.3.5 Discussão sobre a variação da umidade do solo nos dois períodos analisados (chuvoso e seco)..... | 41 |
| 4.4 Teste de Infiltração de Água no Solo | 43 |
| 4.5 Temperatura e Umidade Relativa do Ar ao Nível do Solo (Período Chuvoso) | 46 |
| 4.6 Balanço Hídrico..... | 48 |
| 4.6.1 Balanço hídrico utilizando os dados da Estação Meteorológica de Florestal..... | 48 |
| 4.6.2 Comportamento hídrico nas áreas considerando a umidade do solo no período de chuvas | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6.3 Comportamento hídrico nos cenários considerando a umidade do solo no período de seca | 57 |
| 4.7 Simulação de Irrigação em um cultivo hipotético de feijão | 61 |
| 4.7.1. Cálculo do número de irrigações necessários para os três cenários avaliados, considerando o período de chuvas..... | 61 |
| 4.7.2. Simulação 2. Cálculo do número de irrigações necessários para os três cenários avaliados, considerando o período seco | 61 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 64 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 65 |
| 7 RECOMENDAÇÕES / PROPOSTAS DE NOVOS TRABALHOS..... | 66 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |
| ANEXOS | 79 |
| Anexo A. Umidade do solo de 0-15 cm. Período de chuvas. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários..... | 79 |
| Anexo B. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade. | 80 |
| Anexo C. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta. | 81 |
| Anexo D. Umidade do solo de 15-30 cm. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. 3 cenários..... | 82 |
| Anexo E. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período chuvoso. | 83 |
| Anexo F. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta. | 84 |
| Anexo G. Umidade do solo de 0-15 cm. Período seco. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários..... | 85 |
| Anexo H. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade no período seco..... | 86 |
| Anexo I. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade no período seco. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta. | 87 |
| Anexo J. Umidade do solo de 15-30 cm no período seco. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários..... | 88 |
| Anexo K. Resultados da análise de variância para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período seco. | 89 |
| Anexo L. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período seco. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta. | 90 |
| Anexo M. Umidade e temperatura do ar a nível do solo. 16 dias. Médias de 4 amostras. 3 cenários. A estação Florestal A535 não é um cenário (serve como caracterização da região).91 | |
| Anexo N. Análise de Variância das médias de Umidade Relativa obtidas no período chuvoso. | 92 |
| Anexo O. Teste Tukey para as médias de Umidade Relativa obtidas no período chuvoso. O cenário A corresponde ao Fragmento Florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta. | 93 |
| Anexo P. Análise de variância para a Temperatura do ar ao nível do solo nos três cenários. .94 | |
| Anexo Q. Teste Tukey para a Temperatura do ar ao nível do solo nos três cenários. | 95 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Anexo R. Triângulo textural..... | 96 |
|----------------------------------|----|

1 INTRODUÇÃO

A manutenção do equilíbrio climático e das condições de vida da espécie humana no planeta têm relação de dependência com a cobertura do solo com florestas nativas (MARENGO; SOUZA JR., 2018). A recente conversão massiva de áreas florestais no Brasil para áreas de monocultivo ocorrida nos séculos XX e XXI contribuiu de forma expressiva com mudanças no ambiente como o aquecimento do clima e a desertificação (KOHLHEPP, 2020; ROMEIRO, 1998).

Desde que houve atenção suficiente da comunidade científica para este fato, a atenção para a importância de se manter e recuperar áreas de florestas aumentou e ganhou status de assunto chave para a sobrevivência (MARENGO; SOUZA JR., 2018; PARRON *et al.*, 2015). As florestas nativas exercem funções múltiplas para a manutenção do equilíbrio ecológico e nesse contexto, a biodiversidade das florestas é um dos principais indicadores da capacidade de resiliência dos sistemas vivos no planeta terra.

A biodiversidade das florestas indica que existem diferentes organismos com diferentes métodos de estabelecer trocas de elementos químicos, regular a insolação e o consumo de água, luz, nutrientes, fixar o carbono atmosférico através da fotossíntese e regular a ocorrência de doenças nos sistemas vivos. A diminuição da cobertura vegetal biodiversa implica na perda da quantidade e qualidade dos organismos vivos nos agroecossistemas, provoca perda na capacidade para enfrentar eventos climáticos extremos, altera a dinâmica de trocas de gases e fluidos (ANJOS; DE TOLEDO, 2018; PRIMAVESI, 2017).

A presença de florestas tem íntima relação com a presença de água nos sistemas vivos. A dinâmica de água nas florestas e nos agroecossistemas é um indicador ambiental fundamental para a manutenção da vida. A quantidade de água no solo, a capacidade de armazenamento e a dinâmica de infiltração e de evapotranspiração nos sistemas agrícolas e florestais são considerados indicadores de qualidade ambiental e variáveis essenciais para o planejamento e sucesso da agricultura e dos sistemas vivos em geral (PEREIRA; BARBIEIRO; QUEVEDO, 2020; GORDON; FINLAYSON; FALKENMARK, 2010).

A umidade relativa do ar e a armazenagem de água nos sistemas solo-planta em áreas degradadas sem florestas é menor que em áreas de florestas nativas. As variações de temperatura ambiente em áreas sem florestas se tornam mais extremas (WANDERLEY; MIGUEL, 2019). O sistema agroflorestal (SAF) é uma das formas de criar florestas a partir da introdução de árvores em áreas de produção agrícola. O sistema proporciona benefícios ambientais que são cada vez maiores à medida que seguem no sentido da diversidade arbórea e composição de elementos do ambiente florestal. Os diferentes tipos de SAF proporcionam diferentes benefícios e efeitos ambientais.

O sistema agroflorestal com aleias tipo horta floresta surgiu como proposta de conciliação do reflorestamento com a produção de horta. Trouxe a opção de se aproveitar o preparo intenso do solo realizado para as culturas agrícolas exigentes e de ciclo curto para o desenvolvimento de um sistema com componente florestal. A proposta foi utilizar a energia de preparo de solo e a grande intervenção agrícola para aumentar a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes, de modo que em algum momento o sistema pudesse evoluir para um enriquecimento de espécies florestais. A estratégia deixa o agricultor a vontade para decidir a hora da transição para um sistema florestal mais complexo (GÖTSCH, 2009).

O presente trabalho busca por avaliar a questão hídrica comparando esse agroecossistema com as áreas de pastagem e fragmento de floresta nativa. Teve inspiração na frase: “Água se planta” de Ernst Götsch. Com esta, ele atribui diretamente ao SAF o efeito de produzir ou recuperar condições hídricas favoráveis em locais em que são instalados.

(REBELLO, 2018). Ernst Götsch é um agricultor e pesquisador prático de cultivos em consórcios de plantas agrícolas e florestais em sistema orgânico. Nascido na Suíça, residente no Brasil, ele desenvolveu em sua fazenda cacaueteira um sistema de produção em consórcio que ficou conhecido em todo o mundo.

O sistema agroflorestal de Ernst Götsch foi motivo de grande sucesso com produção orgânica de frutas, aumento da biodiversidade e objeto de inspiração para estudos científicos (PASINI, 2017; SILVA, 2002; PENEIREIRO, 1999; VIVAN, 1998). Com a fama de seu sistema e reconhecimento internacional por seu trabalho, Ernst passou a se dedicar à consultoria e cursos em sistemas agroflorestais no Brasil e no exterior.

No documentário *Life in Syntropy*, apresentado na COP21 em Paris, Ernst afirma que com o seu modo de cultivo, a temperatura do ambiente em sua fazenda mudou e hoje está mais baixa que a temperatura das fazendas da região. Em matéria jornalística, a BBC Brasil atribuiu ao reflorestamento de Ernst o ressurgimento de 11 riachos na fazenda, justificando sua frequente afirmação: “Água se Planta”.

Nesse contexto, para avaliar a afirmação “água se planta” é importante caracterizar com dados de monitoramento científico o comportamento hídrico dos sistemas agroflorestais com que ele trabalha. É possível considerá-los semelhantes a áreas de pastagens? Ou semelhantes a fragmentos nativos em regeneração natural? Ou ainda, dizer que têm um comportamento próprio? Possivelmente uma dinâmica de fluxo de água interna diferente do que ocorre em áreas de pastagem ou em áreas de regeneração florestal?

O sistema agroflorestal tipo horta floresta do Sítio das Mangueiras é um SAF inspirado em cursos e ensinamentos de Ernst e um dos tipos de SAF em que a água é essencial e limitante, por se tratar do cultivo de hortaliças. Em outras palavras, o manejo da água no SAF horta floresta é muito importante para o sucesso da produção e renda do agricultor e por isso a questão se torna relevante e sensível.

O tema desse trabalho e a abordagem da questão proposta nele surgiram da prática de responder a questionamentos técnicos através de laudos periciais. A avaliação pericial é a análise de um parecer realizado por um perito, profissional especializado, que coleta informações técnico-científicas sobre um determinado problema ou questionamento e a partir da análise dos parâmetros que o envolvem, ocorre a elaboração de um laudo técnico com informações que significam uma resposta prática à questão. As análises sempre são fundamentadas no conhecimento e dados técnicos estabelecidos sobre o assunto (RIBASKI, 2021). A tentativa de se fazer um laudo pericial decorre da possibilidade de se fazer algo mais prático e expedito, pois fazer um balanço hídrico completo para cada uma das situações do estudo iria demandar muito tempo, esforço de deslocamento e de recursos para obtenção de dados completos, o que inviabilizaria essa proposta.

Como forma de avaliar a influência do SAF no manejo de água, o objetivo desse trabalho foi analisar o sistema solo-água-planta dos três cenários diferentes, sistema agroflorestal horta floresta, uma área de pasto e um fragmento de floresta nativa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Degradação Ambiental, Perda da Cobertura Florestal, Escassez de Água e Mudanças Climáticas

A medida em que o tempo passa, o ser humano cria novas máquinas e intensifica a exploração dos recursos naturais. Com a expansão agrícola no Brasil, a palavra de ordem vem sendo flexibilizar os códigos ambientais e fortalecer o aumento da produção bruta do agronegócio. Isso vem acontecendo com o uso indiscriminado do solo, fiscalização inadequada, com políticas de desvalorização das florestas nativas, inclusive com a formação de áreas de cultivo a partir do desmatamento ilegal e queimadas. Com predomínio da violência e opressão aos povos tradicionais, com o sucateamento do sistema de gestão ambiental, principalmente do Ibama e do ICMBio (SOARES, 2019).

O cenário é de degradação ambiental e alguns comemoram o aumento da produção bruta e do grande volume de exportação de grãos. Em estudo sobre impactos da expansão do agronegócio no Brasil, Gomes (2019) enfatiza que não está sendo computado o custo ambiental gerado pelo agronegócio na produção e por isso “podemos ter perdas ambientais irremediáveis”. As áreas florestais do Brasil vêm sendo degradadas para dar lugar a áreas de produção de monocultura de grãos, pastagens e outras atividades numa organização de produção voltada para exportação e geração de capital a curto prazo de modo concentrado e excludente.

A exploração extrema e em ritmo acelerado por um lado provoca uma sensação inicial de desenvolvimento às pessoas, por gerar uma movimentação impressionante. Tráfego intenso de máquinas pesadas, alterações visuais no ambiente, aumento do fluxo de dinheiro e consequentemente de relações comerciais em regiões interioranas. Uma sensação de modernização. Mas a expansão da agricultura do modo como vem sendo feita no Brasil representa também aumento na concentração de terras e diminuição da mão de obra empregada na produção direta do campo (ÁVILA *et al.*, 2019; ALVES, 2007; ROMEIRO, 1998). O censo agropecuário do IBGE (2017) registrou que em 2006, 1% dos estabelecimentos rurais detinham 45% das terras do país e em 2017 esse percentual subiu para 48%. Com a perda de suas terras, a maior parte dos antigos agricultores tradicionais passou a viver marginalizada e sem renda, dependente de uma lógica econômica que a desvaloriza.

Os seres humanos que pregam aumento indefinido de áreas de monoculturas tratam a terra apenas como modo de produção e não se sentem pertencentes ao meio natural. A produtividade não é pensada no nível de sistemas, mas apenas em termos de lucratividade. (SHIVA, 2018). Em suas brigas por quem controla cada pedaço de terra vão se formando desertos verdes. Monoculturas controladas por poucas pessoas que tem como único objetivo extrair o máximo de produção que possa ser convertida em dinheiro o mais rápido possível. Nessa lógica, as florestas nativas são tratadas como algo inútil. Não tem valor de exploração intensa imediata. Não podem ser transformadas em produção para exportação imediata. São muito complexas. E sua grande complexidade dificulta o trabalho de exploração e formação de um único produto para ser negociado e vendido. A floresta biodiversa dificulta a vida de quem só quer o lucro individual e o controle do espaço produtivo. As florestas são um bem coletivo que tem efeitos coletivos para muitos seres humanos e para muitos seres vivos de outras espécies. (SHIVA, 2018). As florestas nativas devem ser manejadas com consciência e tratadas como engrenagem essencial de funcionamento da vida no planeta (SHIVA, 2018; VIVAN, 1998; GÖTSCH, 1995).

Em geral as áreas florestais têm a capacidade de manter condições favoráveis à vida humana e a sua degradação pode provocar mudanças como aquecimento do clima e a desertificação (SCHEMBERGUE *et al.*, 2017). A temperatura e a umidade relativa do ar são indicadores ambientais que podem ser facilmente medidos e demonstram o efeito da degradação de florestas no clima. Wanderley e Miguel (2019) estudaram a influência da degradação da Floresta da Tijuca no microclima do Rio de Janeiro e perceberam que “a degradação da floresta contribuiu para o aumento da temperatura do ar e redução da umidade relativa no local”. Atualmente, alguns estudos relacionam mudanças no clima em escala regional ou global com a degradação florestal. As mudanças são para os autores um sinal claro de que a influência humana no aumento de emissões de gases do efeito estufa tem relação com o aumento da temperatura global (MARENGO; SOUZA JR., 2018).

No Quinto relatório IPCC AR5^{1,2}, publicado em 2013, a principal conclusão foi que o aquecimento global é inequívoco desde meados de 1950 e que não tem precedentes nos últimos milênios. A atmosfera, oceano e continentes têm aquecido, o nível do mar se elevou e a concentração de gases de efeito estufa (GEE) tem aumentado. A influência humana no aquecimento é clara e, de fato, é “altamente provável” que as ações humanas, como queima de combustível fóssil e desmatamento, sejam a causa principal do aquecimento global observado desde meados do século XX. (MARENGO; SOUZA JR, 2018, p.2).

O painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC), simulando as alterações do clima para o final do século XXI aponta aquecimento da temperatura do ar global acima de 4°C e redução de chuvas na ordem de 40% na Amazônia. Os modelos não incluem taxa de desmatamento como parâmetro direto das alterações, mas colocam-na como possível responsável pelo desequilíbrio dos ecossistemas. O desmatamento diminui a capacidade dos ecossistemas em lidar com os efeitos das mudanças climáticas. (MARENGO; SOUZA JR, 2018; SCHEMBERGUE *et al.*, 2017).

Existe também grande influência das florestas no ciclo da água. A alteração do ciclo hidrológico causada pela perda de cobertura florestal é um grande problema. A escassez de água é provocada pela alteração de processos do seu ciclo natural e principalmente pela demanda crescente de água na agricultura irrigada (LONDE *et al.*, 2014). O Brasil é abundante em quantidade total de água superficial, mas a demanda pela agricultura irrigada, concentrada na região sudeste, gera conflitos e consequências preocupantes (PAOLINELLI; DOURADO NETO; MANTOVANI, 2022).

Gordon (2010) afirmou que 85% do uso consuntivo da água está sob responsabilidade da atividade agrícola. O uso da água para irrigação é responsável por 66% e tem provocado o esgotamento dos rios e alterações de fluxo em ecossistemas alagados. Londe *et al.* (2014) em trabalho sobre os desastres relacionados à água no Brasil, chamam a atenção para a competição crescente pelos recursos hídricos, terra e energia e alertam para uma “evidente necessidade de inibir os efeitos negativos para o ambiente decorrentes da produção de alimentos”. Dessa forma, é preciso melhorar a gestão e manejo dos recursos hídricos para prevenir racionamentos, conflitos e desastres ambientais (LONDE *et al.*, 2014).

As áreas florestais e a cobertura vegetal do solo, além de servir ao propósito de regulação do clima, tem a função de proteger o solo da erosão como consequência do aumento na capacidade de infiltração de água no solo (MICCOLIS *et al.*, 2016). A preservação das florestas é portanto, parte fundamental na gestão dos recursos hídricos e também no planejamento para o enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas (JACOBI; BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2021; BARBADO; LEAL, 2021). No Brasil a lei 12651 de 2012, o código florestal, prevê a proteção das áreas de florestas com a manutenção de vegetação nativa nas APP e Reservas legais.

Addiscot (1995) descreve “as áreas de preservação permanente (APP) no país como os locais de vegetação que previnem ou minimizam o movimento de sedimentos por processos erosivos em áreas agrícolas e retêm defensivos agrícolas e outros poluentes, funcionando como zonas tampão”. Uma das formas de se cumprir a lei florestal no Brasil é a recuperação da vegetação nativa em APP e reservas legais com sistemas agroflorestais como prevê a lei 12651 de 2012.

2.2 Florestas Nativas e Serviços Ambientais

Serviço se refere a trabalho. Serviço é “ação ou efeito de servir, de dar de si algo em forma de trabalho” (GOOGLE DICTIONARY, 2023). Para que servem as florestas? O que elas entregam em forma de trabalho? As florestas despertam a ideia no observador comum de que servem apenas para produção de madeira (RAMOS; SILVA, 2018). Os serviços de provisão de madeira são os mais diretos de serem mensurados. Basta medir a quantidade de árvores e o valor da madeira e pronto. A função e o valor da floresta estão calculados. Mas na realidade não é assim tão simples. As florestas possuem muitos outros serviços e que se conectam e geram mais serviços. Esta é a abordagem de serviços ecossistêmicos e com ela o entendimento e mensuração da função total das florestas ficam mais realistas e mais complexos (PARRON *et al.*, 2015).

Os principais serviços prestados pelas florestas nativas são a manutenção da biodiversidade, regulação de temperatura, sequestro de carbono e a contribuição no ciclo hidrológico (OLIVEIRA *et al.*, 2020; WANDERLEY; MIGUEL, 2019; MICCOLIS *et al.*, 2016; ZWIRTES *et al.*, 2013). As áreas de florestas são capazes de criar condições favoráveis à vida e são multifuncionais. As condições que são criadas por atividade direta dos seres humanos (pela recuperação de florestas nativas por exemplo) provocam efeitos no ambiente e são chamadas de serviços ambientais (PARRON *et al.*, 2015; MURADIAN *et al.*, 2010).

É comum considerar serviços ambientais e serviços ecossistêmicos como sinônimos, porém a diferença entre eles é que os serviços ambientais têm origem em uma ação humana (EMBRAPA, 2005). “Os serviços ambientais são definidos como os benefícios ambientais resultantes de intervenções intencionais da sociedade na dinâmica dos ecossistemas” (MURADIAN *et al.*, 2010). Já a abordagem de “serviços ecossistêmicos”, feita por Cardoso (2021), se relaciona à capacidade inerente das florestas nativas em manter sistemas que possibilitam que sejam criadas condições propícias às necessidades de sobrevivência dos seres vivos. Como exemplo de serviços ecossistêmicos, os autores citam a capacidade de bactérias que habitam o ambiente florestal têm de sintetizar compostos benéficos à agricultura e dizem que a síntese desses compostos sem a presença de florestas teria altos custos. O serviço de sintetizar os compostos benéficos é definido como um serviço ecossistêmico da floresta. A inclusão dos serviços ecossistêmicos pode aumentar muito o valor que é dado a uma floresta nativa, já que normalmente a valoração da floresta vem sendo calculada apenas em função do potencial de exploração da madeira que ela contém e considera a floresta como mero depósito de madeira (RAMOS; SILVA, 2018).

A diversidade de organismos, de seres vivos e de interações que existem no ambiente de cada tipo de floresta passa a ser valorizada e detalhada para se chegar à mensuração do valor do serviço ecossistêmico da área florestal. A biodiversidade é definida como a totalidade das espécies de seres vivos e de material genético que existe em algum lugar. Nesse sentido, o estudo da biodiversidade passa a ser assunto chave para entender o modo como a floresta presta serviços. A biodiversidade é valorizada por permitir ao conjunto de seres vivos sobreviver a mudanças no ambiente através de diferentes estratégias, além disso, ela sustenta uma grande quantidade de interações biológicas. (VILLAS BÓAS, 2021; PARRON *et al.*, 2015). As florestas naturais são consideradas abrigo da biodiversidade e dependendo da

“biblioteca genética” que elas contenham o trabalho de abrigar esse material pode ser de enorme importância (PAULA; RIBEIRO, 2022).

A floresta não é apenas (COSTA; SILVA; GALVÃO, 2022; DI SACCO *et al.*, 2021; VARGAS-PÉREZ; MARTÍNEZ-REVELO, 2016) um depósito de biodiversidade. A relação entre a floresta nativa e a biodiversidade é uma via de mão dupla. As características do conjunto de elementos que compõem a floresta (vegetação, solo, minerais, microrganismos, animais, relevo) influenciam as características da biodiversidade e as características da biodiversidade influenciam a arquitetura e a dinâmica de crescimento das florestas. Os organismos vivos das florestas se conectam e precisam estar fisicamente alcançáveis para se manter em abundância (COSTA; SILVA; GALVÃO, 2022; DI SACCO *et al.*, 2021; VARGAS-PÉREZ; MARTÍNEZ-REVELO, 2016). O desmatamento dificulta a sobrevivência das espécies não somente quando elimina o habitat em que vivem, mas também quando altera a biodiversidade e a forma e dispersão de fragmentos florestais. O estudo da fragmentação de florestas indica que muitos organismos não sobrevivem sem proximidade de outros da mesma espécie e muitas vezes precisam de ligações físicas contínuas entre os fragmentos florestais (LIMA *et al.*, 2020).

A floresta Atlântica já se encontra extremamente fragmentada. Os maiores fragmentos de florestas nativas atualmente são reservas e unidades de conservação. Elas garantem a conectividade entre as espécies e a manutenção de biodiversidade (LIMA *et al.*, 2020). Além disso, a diminuição da área de florestas tem consequências gerais. O relatório do IPCC aponta o desmatamento de áreas de vegetação florestal nativa na Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga como possíveis causas de mudanças nos regimes de chuvas, na temperatura e na umidade do ar, em escalas local, regional e global. (MARENGO; SOUZA JR, 2018).

As florestas nativas do planeta são consideradas por cientistas como reservatório de carbono e como um eficiente obstáculo ao aquecimento global causado pela ação do ser humano (THOMPSON *et al.*, 2009). Cardoso *et al.* (2010) estudaram os estoques de carbono e nitrogênio em florestas nativas desmatadas e observaram que os pastos nativos e os cultivados não são mais capazes de manter os estoques de carbono no solo semelhantes às florestas. Nesse sentido, a convenção de Paris de 2015 estabeleceu metas de diminuição de geração de gases de efeito estufa para evitar a ocorrência de catástrofes climáticas. As metas consideram que a existência das florestas nativas proporciona a manutenção do carbono na biomassa das plantas e no solo e ameniza o aumento da temperatura no planeta (FILTER, 2020). De modo contrário, o desmatamento libera gases ricos em carbono (chamados “gases do efeito estufa”, GEE) para a atmosfera, esses dificultam a saída da radiação de calor terrestre formando uma estufa, que provoca o aquecimento do planeta. A floresta, ao invés de contribuir com o efeito estufa, sequestra os gases que a formam (MIKHAYLOV *et al.*, 2020). No relatório mais recente, em março de 2023, o IPCC estabelece como meta global a redução em 50% das emissões de GEE até 2030 (BOEHM; SCHUMER, 2023).

Além disso, a perda de cobertura florestal também gera impactos no comportamento da água. Por manter o ciclo da água funcionando, a existência de áreas de florestas nativas é considerada um serviço ecossistêmico de regulação hidrológica. A ocupação do solo por raízes constrói vias de infiltração de água no solo, a existência de matéria orgânica contribui para o aumento da capacidade de retenção de água no solo. A estrutura do dossel florestal protege o ambiente da radiação solar dificultando a evaporação de água abaixo do dossel das grandes árvores. A substituição da cobertura florestal causa efeitos em diferentes escalas no ciclo hidrológico dependendo do tipo de solo, clima, topografia (GOEKING; TARBOTON, 2020; TAMBOSI *et al.*, 2015). Fransozi (2020) afirma ainda, que a idade da floresta é um fator importante a ser considerado para que sejam alcançadas mudanças em características de monitoramento hidrológico em uma bacia hidrográfica (vazão média, mínima, máxima, deflúvio e índice de fluxo base). Em seu trabalho, a autora avaliou fragmentos florestais com

origem em áreas de recuperação de pastagens e concluiu que as florestas secundárias à medida que envelhecem (a partir dos 20 anos de idade) começam a alcançar os níveis de referência de fragmentos florestais relacionados à água e solo.

A constatação de que a diminuição das áreas de florestas nativas provoca prejuízos pela diminuição de serviços ecossistêmicos (MARENGO; SOUZA JR, 2018) evidencia a necessidade de estimativa do valor dos danos gerados pelo desmatamento e pela ausência de áreas florestais. Surgem então, trabalhos e iniciativas de pagamento por serviços ambientais com objetivo de atenuação dos prejuízos ou de ressarcimento pelos danos gerados. A lógica é manter ou recompor áreas florestais com a capacidade de gerar serviços ambientais semelhantes aos serviços ecossistêmicos de florestas nativas. Grande parte das iniciativas considera o efeito estufa como foco. Outra parte está focada nos efeitos do desmatamento para a escassez de água potável e alteração do ciclo hidrológico (GOEKING; TARBOTON, 2020; BARROS *et al.*, 2020; SONE *et al.*, 2019; GJORUP *et al.*, 2016).

2.3 SAF, Florestas e Serviços Ambientais

Sistema agroflorestal é um sistema de produção que integra espécies de plantas florestais arbóreas e espécies de produção agrícola em consórcio em uma mesma área. (AMADOR; VIANA, 1998). Dentro dessa classificação, existem modelos mais simplificados e mais complexos. Os mais simplificados possuem poucas espécies arbóreas e poucas de cultivo agrícola. Uma espécie florestal e uma agrícola por exemplo, eucalipto e braquiária, ou seringueira e braquiária. Pela classificação do IBGE (2017) esses sistemas simples são classificados como “matas plantadas”. São os consórcios entre espécies florestais e agrícolas mais difundidos na agricultura convencional e os mais comuns no Brasil (MARTINS; RANIERI, 2014; IBGE, 2017).

Alves (2013) aborda os sistemas agroflorestais como sinônimo de sistemas silvipastoris simples. Ressalta o efeito do não revolvimento do solo e a capacidade de integração do componente florestal com a pastagem. Os sistemas de consórcios simples entre espécies arbóreas e de cultivo de pastagens são apontados como forma de incorporação e manutenção de nutrientes e também da promoção de melhoria nas condições físicas do solo do cerrado brasileiro (CARVALHO; XAVIER, 2005). Pasini (2017) diz que no Brasil a Embrapa contribuiu com muitas publicações para definir SAF como sistemas de integração entre componentes de produção de madeira e de produção animal e como sinônimo de integração lavoura pecuária florestas. Diz também que nessa lógica a definição de SAF não restringe o uso de biocidas. Em função de se adequar ao sistema convencional e à lógica econômica atual, os consórcios simples são os sistemas agroflorestais que recebem a maior quantidade de crédito do programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono), o principal sistema de financiamento da agricultura de baixo carbono no Brasil (CONCEIÇÃO, 2022).

Existem definições de SAF, como a de Nair (1984), que trazem o objetivo de produção sustentável e abordam o SAF dizendo que os seus componentes têm a dimensão ecológica e econômica ao mesmo tempo. A definição de SAF passa a exigir uma interação maior entre espécies, exigindo delas a capacidade de manutenção do ambiente de produção de forma ecológica e por longa duração. Miccolis (2016) define SAF sucessional estratificado como o consórcio de plantas perenes lenhosas e anuais que se organizam no tempo e no espaço no processo de sucessão natural da floresta nativa e compõem os diversos estratos de altura de dossel, assim como numa floresta nativa. Para isso, necessita de grande diversidade de espécies.

Essa e outras definições impõem ao SAF a missão de incorporar no ambiente de produção rural a essência multifuncional das florestas biodiversas. Existem sistemas que exploram com maior intensidade a integração entre os componentes de sucessão florestal e de

forma mais ecológica. Trazendo mais componentes intermediários de formação das florestas (MARTINS; RANIERI, 2014). Ernst Götsch inicialmente classificava o sistema que planejava como SAF baseado no processo de sucessão natural. As características principais eram o manejo orgânico e a utilização de grande diversidade de plantas afim de completar todas as fases de sucessão de uma floresta biodiversa (PENEIREIRO, 1999). Suas consultorias e cursos fizeram muito sucesso e passou a denominar o seu método não mais de sistemas agroflorestais, mas de agricultura sintrópica, a fim de diferenciá-lo da técnica de consórcios simples de espécies agrícolas e florestais. Em suas aulas, passou a dar mais ênfase à capacidade de seus sistemas em produzir efeitos ambientais positivos e semelhantes a florestas nativas. Antes, os sistemas agroflorestais que planejava eram reconhecidos principalmente pela inovação de se produzir alimentos em consórcios florestais (REBELLO, 2018; PASINI, 2017).

Entre os diferentes tipos de SAF, o horta floresta, também denominado horta sintrópica é definido como “um desenho de agroecossistema sintrópico (sistema de relações ecológicas de produção de alimentos organizadas de modo a aumentar a complexidade de relações entre as espécies vivas e da quantidade total de energia interna e seu fluxo entre os indivíduos)” que consiste em conjunto de aleias modulares. No sistema é possível controlar o estágio de sucessão que se deseja trabalhar, permitindo a evolução das espécies florestais ou controlando o sombreamento e a sucessão com podas e desbastes das árvores para manutenção da horta por mais tempo. O SAF horta floresta é um tipo de SAF que alterna linhas de árvores com faixas de horta (COUTO; LOSS, 2020; FREITAS *et al.*, 2014).

As florestas nativas no Brasil cobriam aproximadamente 498 milhões de hectares em 2022, segundo estimativa do Sistema Nacional de Informações Florestais (SINF). A floresta amazônica representa aproximadamente metade de toda área de florestas brasileiras. Entre os anos de 2019 a 2022 a taxa de desmatamento anual na Amazônia foi superior a 1 milhão de hectare (TERRA BRASILIS, 2023). Os diferentes tipos de SAF estão em outra escala se comparados com as florestas. A matéria: **Sistemas agroflorestais: Uma oportunidade viável para agricultura familiar** (publicada no site agroinsight.com.br), estima que podem ser na ordem de 13 milhões de hectares no Brasil. A estimativa cita o censo agropecuário do IBGE de 2017. Enquanto os números em relação ao desmatamento das florestas estão acima de 1 milhão de hectares anuais, a recuperação de florestas com SAF ou outra alternativa não chega a essa taxa. As áreas ocupadas por sistemas agroflorestais não estão na mesma escala das áreas de florestas do Brasil. E a proposta de ocupação do SAF é se inserir no contexto da agricultura. A maior parte do crédito rural destinado a SAF se referem ao programa de incentivo à agricultura de baixo carbono. Os recursos são destinados a sistemas silvipastoris de consórcio simples. Sistemas de pastagens e silvicultura. Uma pequena parte dos sistemas agroflorestais seguem o contexto da agricultura ecológica, orgânica, regenerativa, chamados pela Embrapa de sistemas SAFRA, sistema agroflorestal regenerativo e análogo (CONCEIÇÃO, 2022; SCHEMBERGUE *et al.*, 2017; CANUTO, 2017; IBGE, 2017).

O SAF tem importante papel na regeneração do ambiente. A dinâmica de cobertura viva do solo, com a ocupação do ambiente por plantas de arquitetura diferente pode promover alterações benéficas nos parâmetros ambientais tais como: prolongamento do tempo de armazenamento de água na região superficial do solo, diminuição da temperatura no sistema solo planta, aumento da taxa da atividade biológica, estabilização dos agregados do solo e favorecimento da ciclagem de nutrientes (CANUTO, 2017). Kang (1981) e Altieri (2012) citados por Couto (2020) descrevem o cultivo em aleias como um sistema de pousio melhorado incrementando os aportes de material orgânico sobre o solo oriundos das podas e aumentando a disponibilidade de nutrientes, em especial o nitrogênio pela utilização de leguminosas arbóreas capazes de se associar com bactérias fixadoras de N₂ atmosférico. O SAF sucessional estratificado proporciona benefícios como a regulação hídrica, além do

aumento da biodiversidade nos plantios, controle da erosão e efeitos positivos nas características físicas, químicas e biológicas do solo (MICCOLIS, 2016).

Em estudo sobre SAF e mudanças climáticas, resultados apontam a capacidade destes em retardar ou reverter a degradação do solo e se consolidar como medida adaptativa às mudanças climáticas. Também são citados diversos benefícios ambientais como: manutenção de água no solo, controle de erosão e mitigação aos aumentos de temperatura. “Os sistemas agroflorestais podem tornar o setor agropecuário menos exposto aos efeitos negativos das mudanças climáticas, tanto no presente quanto em cenários futuros” (SCHEMBERGUE *et al.*, 2017).

A área de atuação ambiental do SAF, onde ele tem o maior potencial de gerar benefícios ambientais é na função de preencher o quebra-cabeça de fragmentos de florestas nativas. Possibilitando que a conectividade das florestas seja reestabelecida. Para isso, são necessários sistemas de transição para a biodiversidade. O SAF precisa caminhar para a complexificação. É efetivo quando possui grande quantidade de espécies que se conectam de forma favorável com os fragmentos de florestas naturais (PAULA; RIBEIRO, 2022; PADOVAN *et al.*, 2009; VIVAN, 1998). É preciso incluir o manejo da cobertura do solo no planejamento de políticas públicas de forma que se considere os efeitos da cobertura florestal sobre a água e o clima. As interações entre uso do solo e o aumento de temperatura e mudanças na frequência e intensidade de chuvas em bacias hidrográficas tem efeitos geopolíticos que merecem mais atenção acadêmica e social (GAROFOLO; RODRIGUEZ, 2022).

2.4 Os Sistemas Agroflorestais em Relação à Paisagem

Quando se trata de recuperação de paisagens biodiversas com agricultura de base ecológica, a posição e o tamanho dos sistemas utilizados na recuperação são fundamentais para surtir efeitos ambientais positivos (GJORUP *et al.* 2016; MICCOLIS, 2016; ALTIERI, 2012). Paula e Ribeiro (2022) geraram modelos para auxiliar trabalhos de implementação de SAF dando suporte inicial para identificação das áreas mais propícias ao plantio. Os sistemas vivos têm forte relacionamento e dependência com a água e por isso os locais mais efetivos para instalação de projetos de recuperação são as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APP) hídricas. Por esse motivo, é importante a escolha dos locais de implantação de SAF em relação à posição na paisagem considerando a bacia hidrográfica. Quando localizados nas duas posições extremas: maiores altitudes e próximos à água, a tendência de sucesso é maior. As altas altitudes contribuem com a dispersão de sementes e nutrientes e a proximidade da água potencializa a velocidade de reprodução das espécies vegetais. A interpretação da paisagem é muito importante para avaliar a efetividade de projetos de recuperação ambiental (PAULA; RIBEIRO, 2022; GJORUP *et al.* 2016; TAMBOSI *et al.*, 2015).

O código florestal brasileiro classifica áreas de matas ciliares e de encostas e topos de morro como APP. As áreas de encostas, quando cobertas por florestas, protegem o solo da erosão e permitem a dispersão de sementes pelo vento a longas distâncias. As áreas ribeirinhas, quando cobertas por florestas, influem no processo de filtragem e limpeza das águas, no fluxo de sementes e alimentação de seres aquáticos e na proteção do solo contra a erosão pela força das águas nos mananciais. Áreas estratégicas para a conectividade entre fragmentos também são consideradas prioritárias para a recuperação da biodiversidade, onde é possível criar os chamados corredores ecológicos. Está claro que quanto maior o tamanho dos fragmentos florestais, maior sua importância para conservação da biodiversidade. Quando o indicador de biodiversidade são os mamíferos de grande porte as áreas mínimas devem ser extensas. Di Bitetti *et al.* (2003) consideram que “a área de 10.000 ha de floresta bem

protegida seria o mínimo para conter um macho adulto e 1-2 fêmeas adultas de onça-pintada, constituindo assim a área requerida por uma unidade reprodutiva mínima desta espécie”.

A fragmentação excessiva das florestas e a escolha de locais isolados de outros fragmentos diminui muito os efeitos ambientais de um projeto de recuperação. O SAF pode ser planejado para formar corredores ecológicos entre os fragmentos de florestas remanescentes constituindo grandes fragmentos compostos por SAF e florestas nativas (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SANTOS; CROUZEILLES; SANSEVERO, 2019; PAUL; WEBER; KNOKE, 2017).

2.5 Coberturas Vegetais do Solo e Conservação de Água no Solo

De modo geral, a curto prazo os sistemas agroflorestais, assim como fragmentos florestais jovens, podem não apresentar resultados imediatos em relação à infiltração e conservação de água no solo. Podem apresentar características de infiltração inicial favoráveis dependendo do preparo de solo realizado no plantio. À medida que o SAF vai evoluindo para um estágio de sucessão semelhante às florestas nativas mais velhas, espera-se que tenha características hidrológicas favoráveis e semelhantes (MOKONDOKO; AVILA-FOUCAT; GALEANA-PIZAÑA, 2022; SILVA *et al.*, 2020; CANUTO, 2017; GROUP2016; ZWIRTES, 2013). Sistemas agroflorestais podem ser uma forma de transição, favorecendo as condições ambientais para sistemas florestais biodiversos, que tenham a capacidade de manter características de conservação e infiltração de água que justifiquem o mérito por serviços hidrológicos (CANUTO, 2017; ELLISON *et al.*, 2017; ZWIRTES *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2012).

Ernst Götsch ensina o manejo de SAF com a disposição de folhas e pedaços de madeira no solo e bastante matéria orgânica entre as plantas de cultivo. Ensina estratégias de manejo de sucessão de espécies no SAF no sentido da biodiversidade, alta ocupação do solo e do espaço aéreo. Considera que para o sistema vivo trabalhar no sentido da complexificação dos organismos e interações, o que pode ser lido como aumento da biodiversidade, ele precisa poder evoluir localmente, com os recursos fornecidos pela natureza (ANDRADE, 2018; ADDISCOTT, 1995). As folhas e madeira amortecem as gotas de chuva que passam a infiltrar lentamente. O solo não sofre tanto a pressão das gotas e a camada de matéria orgânica permite que o solo continue poroso durante os ciclos de chuva e seca. A diminuição da compactação do solo faz com que muitas vezes se perceba mudanças na dinâmica de água no local (CANUTO, 2017).

Jiang (2017) aprofunda a questão do manejo da água no SAF trazendo o conceito de diferentes camadas e formas de suprimento de água às plantas. A eficiência do consumo de água no sistema está ligada às diferentes camadas de suprimento e aos mecanismos de suprimento que variam segundo às diferenças dos sistemas agroflorestais. A presença constante e o aumento de material orgânico no solo são muito favoráveis à manutenção de água no sistema. A matéria orgânica favorece a formação de agregados no solo. A porosidade do solo aumenta, a densidade do solo diminui e a capacidade de adsorção de água aumenta. Os sistemas com muita matéria orgânica conseguem manter a água no solo por mais tempo e como consequência o SAF com muita matéria orgânica pode ser mais resistente a falta de chuvas ou de irrigação (SCHEMBERGUE *et al.*, 2017; MICCOLIS *et al.*, 2016; STONE; MOREIRA, 2000).

Contudo, o manejo da matéria orgânica e a alta densidade de espécies na área de SAF não bastam para produzir mudanças no ciclo da água no sentido da chamada produção de benefícios hídricos. A questão da água no sistema envolve as características de variação de temperatura, da formação do solo, das características de ocupação e de fisiologia das plantas também. O comportamento hídrico está relacionado às mudanças da cobertura vegetal em

uma bacia hidrográfica de forma multidisciplinar. Conhecimentos em hidroquímica, hidroecologia, análises físicas e biogeoquímica auxiliam a compreensão. Fatores como tipo de solo, clima e a topografia também precisam ser considerados (GAROFOLO; RODRIGUEZ, 2022).

Freitas *et al.* (2012), por exemplo, encontraram em seu experimento características de infiltração de água melhores em agricultura de toco (sistema de cultivo tradicional) com menor teor de matéria orgânica do que em um SAF. Os autores afirmaram que o manejo intenso de aração e revolvimento na agricultura de toco gerou condições melhores de infiltração aos solos.

2.6 Condições Hídricas nos Ecossistemas

As avaliações periciais precisam se basear em análises do ambiente e das variáveis que serão periciadas de forma a fornecer material qualitativo e quantitativo que responda às questões formuladas para entender como o tipo de cobertura vegetal e o manejo do agroecossistema podem influenciar na dinâmica de água no ambiente. Para permitir a avaliação pericial alguns parâmetros hídricos e ambientais precisam ser considerados.

2.6.1 Evapotranspiração

Estimar a evapotranspiração é essencial para se determinar a quantidade de água que um tipo de cultura agrícola necessita para se desenvolver. A evapotranspiração é uma medida da quantidade de água que o sistema exporta por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração varia de acordo com as condições do clima e da cobertura de solo. (ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015). A estimativa da evapotranspiração é feita através do cálculo de uma evapotranspiração de referência (E_t0), em que a cultura de referência é a grama batatais. A partir da E_t0 a evapotranspiração de outra cultura é calculada pela utilização do coeficiente de cultura (K_c). O coeficiente K_c se refere à quantidade de água que o solo coberto com o cultivo da planta evapotranspira. É calculado em relação à evapotranspiração potencial de referência (E_T0). Quando o coeficiente de cultura K_c se iguala a 1 significa que a evapotranspiração do sistema coberto pelo cultivo equivale exatamente à evapotranspiração potencial de referência (BERNARDO *et al.*, 2006).

O K_s é também um coeficiente relativo à evapotranspiração de referência, mas que considera a umidade presente no solo em que está a cultura agrícola. Considera-se que solos mais úmidos proporcionam maiores valores de evapotranspiração e que quando a umidade do solo alcança a capacidade de campo o valor de K_s se iguala a 1. Nessas condições a evapotranspiração da cultura é igual à evapotranspiração potencial de referência (BERNARDO *et al.*, 2006). O balanço hídrico, além da evapotranspiração potencial, possibilita estimar a evapotranspiração real, excedente hídrico, deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo, cujas definições são as seguintes (ALFONSI; 1995 apud BERNARDO *et al.*, 2006). Evapotranspiração real: a quantidade de água que nas condições reais evapora do solo e transpira das plantas. Deficiência hídrica: diferença entre a evapotranspiração potencial e a real. Excedente hídrico: diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água (BERNARDO *et al.* 2006).

O comportamento hídrico busca detalhar o quanto que entra de água no sistema por precipitação ou irrigação e quanto que sai por evapotranspiração somada às perdas. Assim é possível estimar quanta água está disponível para as plantas em determinado período.

2.6.2 Temperatura e umidade relativa do ar

Monitorando a temperatura interna aos fragmentos florestais e a umidade relativa do ar, Wanderley e Miguel (2019) concluíram que existe diferença significativa entre áreas sem fragmentos florestais e as áreas da Floresta da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro. Podendo chegar a diferenças na temperatura do ar de até 4° C no mesmo horário. Ribeiro (2008) utilizou um termo-higrômetro digital para avaliar as temperaturas e umidade relativas do ar em diferentes fragmentos florestais do cerrado goiano. Observou tendência de semelhança entre locais de borda e interior dos fragmentos e uma tendência de diferença significativa entre temperatura e umidade relativa do ar entre áreas antropizadas e as áreas florestais.

Ribeiro (2008) destaca também que a temperatura do ar e do solo mais altas e a umidade relativa mais baixa nas bordas dos fragmentos florestais são fatores que favorecem a ocorrência de espécies de plantas pioneiras. A ocorrência de espécies pioneiras ocorre preferencialmente nas bordas dos fragmentos, onde, pelo efeito de borda, a temperatura do ar é mais alta e a umidade relativa mais baixa. A temperatura e a umidade relativa do ar são parâmetros ambientais muito importantes para se avaliar as condições de vida das plantas no ambiente. Para cada espécie vegetal existe uma faixa de temperatura ótima para cada fase de produção. A temperatura do ar ideal para o florescimento e polinização da cultura do meloeiro, por exemplo, situa-se na faixa de 19 a 30°C. Já para a fase de crescimento vegetativo da alface a faixa ideal é de 8 a 25°C (FONTES; NICK, 2019).

A umidade relativa representa a quantidade de água que está presente no ar em relação à quantidade de água de saturação do ar na mesma temperatura e pressão (SILVA, 2006). A umidade relativa tem forte dependência em relação à temperatura. Quando se analisa a umidade relativa sem considerar as variações de temperatura, não é possível afirmar ter havido uma mudança na concentração de vapor d'água do ar. “A alteração na umidade relativa pode advir exclusivamente de alteração na temperatura ambiente. A umidade relativa do ar aumenta quando a temperatura diminui e vice-versa. Como consequência desse efeito, deve-se esperar que a umidade relativa diminua, a partir do nascimento do sol, atingindo o valor mínimo nas horas mais quentes do dia, voltando a aumentar em seguida, apenas por efeito térmico. Esse é o comportamento esperado e normalmente observado. No entanto, pode ser bastante modificado sob situações atmosféricas capazes de alterar a temperatura, a razão de mistura, ou ambas” (SILVA, 2006).

A umidade relativa exerce influência sobre a transpiração das plantas e sobre a incidência de doenças (FONTES; NICK, 2019). A umidade relativa do ar quando está baixa em um sistema solo-planta indica que existe um processo de evapotranspiração e consequente transferência de água do solo e das plantas para a atmosfera. Em condições prolongadas a maior parte das espécies vegetais começa a sofrer com a desidratação (BERNARDO *et al.*, 2006). Para o ser humano, a umidade relativa do ar abaixo de 30% é considerada crítica, quando existe sério risco à desidratação (GONÇALVES; NEDEL; ALVES, 2012). Temperaturas acima de 30°C e umidade relativa maiores que 70% dificultam a produção de hortaliças como tomate, alface e pimentão (REIS, 2005).

A temperatura e umidade relativa do ar podem ser decisivas na germinação de sementes, florescimento, podem afetar taxas de desenvolvimento, duração do ciclo vegetativo e ainda, podem determinar a diversidade vegetal que ocorre no local. O entendimento das variações micrometeorológicas pode ser auxiliado por instrumentos de medição com sensores capacitivos associados a sistemas de aquisição de dados, caso do termo-higrômetro digital (BORELLA *et al.*, 2021). A temperatura e umidade relativa do ar interferem na taxa de evapotranspiração das plantas. Quando a umidade relativa é alta existe muita água em forma de vapor na atmosfera. Isso dificulta a passagem de água da forma líquida para a forma gasosa. Em condições de baixa umidade relativa e altas temperaturas, a evapotranspiração é

relativamente maior, além de existir mais espaço no ar para o vapor d'água, a passagem da forma líquida nas plantas para a gasosa no ar é favorecida pelo gradiente de difusão (ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015)

2.6.3 Umidade do solo

A umidade do solo tem relação com processos no solo e na planta, como: movimento de água, compactação, aeração e desenvolvimento radicular (FONSECA *et al.*, 2018). Braga *et al.* (2018) descrevem o método de determinação da umidade como sendo o teor de água no solo obtido de forma direta e seu valor expresso em percentagem de umidade em massa (base seca - massa de água/massa de solo) ou em volume (base volumétrica - volume de água/volume de solo).

O monitoramento regular da umidade do solo (U_s) é fator primordial para o manejo racional da irrigação, tanto para estabelecer o momento de irrigar quanto para determinar a lâmina de água a ser aplicada. A U_s caracteriza a quantidade de água armazenada e disponível para as plantas. O método de irrigação pelo controle de U_s consiste em preestabelecer um limite de U_s e avaliar diariamente quando e quanto irrigar. A umidade limite e a lâmina de água utilizada na irrigação são determinadas para cada cultura em cada condição de solo, relevo e clima.

Existe conhecimento empírico sobre os diferentes tipos de solo e a relação de diferentes espécies de planta em relação à capacidade de retirar a água do solo dependendo da umidade existente. À medida que a U_s diminui, a água livre contida nos macroporos é a que sai do sistema primeiro. A que resta se encontra nos microporos, mais fortemente retida e por isso chega um ponto em que apesar de existir água, a planta não é mais capaz de retirá-la (BERNARDO *et al.*, 2006).

O estudo de quanta água e com que força ela se encontra retida nos poros do solo é chamado de características de retenção de água no solo. Elas variam de acordo com o manejo de cobertura do solo, com a densidade do solo, que é a relação massa sobre volume do solo e com o manejo físico de preparo do solo. A disposição de matéria orgânica pode influenciar a quantidade de água que é retida no solo e os momentos durante o ano em que existe maior facilidade relativa de disponibilização de água para determinadas espécies ou determinados consórcios vegetais (TEIXEIRA *et al.*, 2017; BRITO *et al.*, 2011).

A densidade do solo tem relação próxima com a capacidade de retenção de água no solo. U_s de solos com densidades e texturas diferentes não devem ser comparadas. Em um solo argiloso e muito denso a força que a planta deve fazer para capturar a água do solo é muito maior do que em um solo arenoso e com baixa densidade (FONSECA *et al.*, 2018). Silva (2005) avaliando diferentes sistemas de preparo de solo, observou que quanto maior o teor de matéria orgânica, o solo se torna mais poroso e a U_s relativa à capacidade de campo (quando o solo se encontra com quantidade de armazenamento de água estável e facilmente disponível) é mais alta. Michelon *et al.* (2009) encontraram densidade do solo de 1,17 e 1,16 g/cm³ para as camadas superficial e intermediárias (0-25cm) e (25-50cm) em solos do estado de Minas Gerais contendo entre 40 a 50% de areia. Encontraram valores médios de 1,36 e 1,27 g/cm³ para solos com 50 a 60% de areia no estado de São Paulo. O Manual de Necessidade de Água para Irrigação organizado por José Antônio Frizzone (2017) apresenta como valores médios para solos da camada superficial a faixa de 1,25 a 1,35 g/cm³ para solo argilo arenoso.

A obtenção do valor de U_s na capacidade de campo normalmente é obtida pela curva de retenção de água no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A determinação da capacidade de campo é descrita como a quantidade de água que o solo saturado contém depois de ser submetido a uma pressão de 10 kpa. O ponto de murcha permanente foi descrito por

experimentos como a quantidade de água que resta no solo após ser submetido a uma pressão de 1500 kpa (REYNOLDS; 2008).

Dutra Junior (2013) caracterizou o intervalo hídrico ótimo de um argissolo vermelho amarelo eutrófico em Turuçu, RS. Encontrou valores de Us em volume na capacidade de campo próximos a 30%. Os valores obtidos para a umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ficaram próximos à faixa de 10 a 15%. Dardengo (2005) obteve valores de umidade volumétrica na capacidade de campo variando de 20 a 28 % em um argissolo vermelho amarelo em Jerônimo Monteiro ES. Silva (2005) avaliou as condições físicas de armazenamento de água no solo em argissolo vermelho em Eldorado do Sul, RS, e encontrou variação na umidade volumétrica do solo entre 20 e 35% entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo.

Na agricultura, para proporcionar o mais alto rendimento das culturas agrícolas, a irrigação é planejada de forma que a Us não seja inferior ao ponto em que a água passe do estado de fácil disponibilidade (próximo à capacidade de campo) para uma difícil disponibilidade (caminhando para o ponto de murcha permanente). Em outras palavras, a umidade do solo é monitorada para que a força de retirada que a planta deve fazer para consumir água do solo não seja grande e desgastante para ela, de modo que possa se desenvolver ao máximo (SILVA *et al.*, 2013).

Manejando o sistema agroflorestal no momento certo é possível que sem que seja necessário o uso da irrigação, se consiga efeitos de disponibilização de água para o sistema. (GÖTSCH, 2009). O monitoramento da Us por longos períodos permite detectar se o manejo do solo, um dos principais fatores relacionados as propriedades físicas do solo, tem relação com a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água às plantas (SILVA, 2019). Estudos demonstram que o manejo de árvores e da matéria orgânica na área pode contribuir de forma substancial para a redução da quantidade de água utilizada para a irrigação. A utilização de consórcios e manejos de espécies arbóreas e adubação orgânica podem promover economia de água e energia em cultivos comerciais mantendo a produtividade (THEVS; ALIEV; LLESHI, 2021; SOUZA, 2019; SANTOS *et al.*, 2008).

Em florestas nativas tropicais a umidade do solo se mantém em níveis suficientes à vida ao longo do ano apenas com a água das chuvas. As espécies nativas sobrevivem a períodos de seca e as grandes árvores são as principais responsáveis pela reciclagem da água na região florestal. Os processos que garantem essa dinâmica podem não ser os mais produtivos em termos de um só produto específico, ou que possam garantir recordes de produtividade como as monoculturas com monitoramento de irrigação e grande utilização de insumos químicos artificiais, mas são impressionantemente eficientes e capazes de gerar grande quantidade de biomassa vegetal e um fluxo contínuo de energia (KUNERT *et al.*, 2017; TAMBOSI *et al.*, 2015; GÖTSCH, 2009).

Em áreas de cultivo de alimentos, mesmo em períodos chuvosos existem momentos em que a chuva cessa por dias, os chamados veranicos, e em algumas ocasiões a Us fica tão baixa que se não houver irrigação as plantas cultivadas podem interromper seu ritmo de crescimento ou até morrer. O manejo da irrigação com o monitoramento da Us nas chuvas proporciona a garantia de irrigação complementar possibilitando que as culturas agrícolas não sofram falta de água e possam alcançar seu mais alto potencial produtivo (BRAGA *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2016).

2.6.4 Infiltração de água no solo

O monitoramento somente da umidade do solo não é suficiente para entender o processo como a água se movimenta no sistema. Dessa forma, o teste de infiltração da água no solo permite o cálculo da velocidade de infiltração. A partir daí, torna-se possível entender

um pouco mais sobre como se dá o transporte de água no sistema solo planta. Com a velocidade de infiltração é possível estimar para uma chuva de determinada intensidade e duração a quantidade de água que infiltra e a que escoar pela superfície (ALMEIDA JÚNIOR; CASTRO; SANTOS, 2020).

Zuquete e Palma (2006) em estudo sobre os materiais não consolidados (materiais de origem da rocha que se encontram soltos) nos solos da região de Botucatu perceberam que a condutividade hidráulica desses é influenciada pelas características de uso do solo da região: plantações de eucalipto, cana de açúcar e pastagem. Zwirtes *et al.* (2013) em trabalho realizado na área experimental da Universidade de Santa Maria, Londrina, observaram resultados da taxa de infiltração em solos com área de mata nativa com taxas de infiltração maiores que áreas de cultivo em plantio direto e pastagem. Apesar disso, Garofolo e Rodriguez (2022) pontuam que apesar de existir relação entre a cobertura florestal e o escoamento superficial, a cobertura do solo não é por si só um preditor preciso dos fluxos hidrológicos.

A infiltração de água no solo expressa um conjunto de características físicas e estruturais do solo e indica como o sistema pode se comportar em situações de chuvas intensas. Altas taxas de infiltração podem impedir o escoamento superficial e amenizar os efeitos de erosão, por exemplo. Assim, durante a chuva as gotas têm facilidade de entrada no perfil do solo e se a quantidade de matéria orgânica for distribuída pela profundidade a capacidade de infiltração de água será mais duradoura e eficiente. A existência de micro e macro organismos vivos no sistema, a frequência em que materiais orgânicos são adicionados, o tempo e o tipo de formação (pedogênica ou biogênica) dos agregados influenciam nas características de porosidade do solo. (MERGEN JUNIOR *et al.*, 2019). A ocupação do solo com florestas de alta densidade arbórea e com acúmulo de matéria orgânica no solo permite que sejam alcançadas altas taxas de infiltração de água. Em topos de morro esse tipo de cobertura influi de forma positiva na recarga dos aquíferos, proteção, estruturação do solo e redução da velocidade de escoamento superficial e conseqüentemente da erosão. (TAMBOSI *et al.* 2015; ZWIRTES *et al.* 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo: Sítio das Mangueiras – Florestal MG

O Sítio das Mangueiras encontra-se no município de Florestal MG e está localizado à 60 km de Belo Horizonte, MG e foi escolhido por apresentar diferentes situações de agroecossistemas para comparação em termos de conservação hídrica. A Figura 1 abaixo indica a localização de Florestal na região sudeste do Brasil.

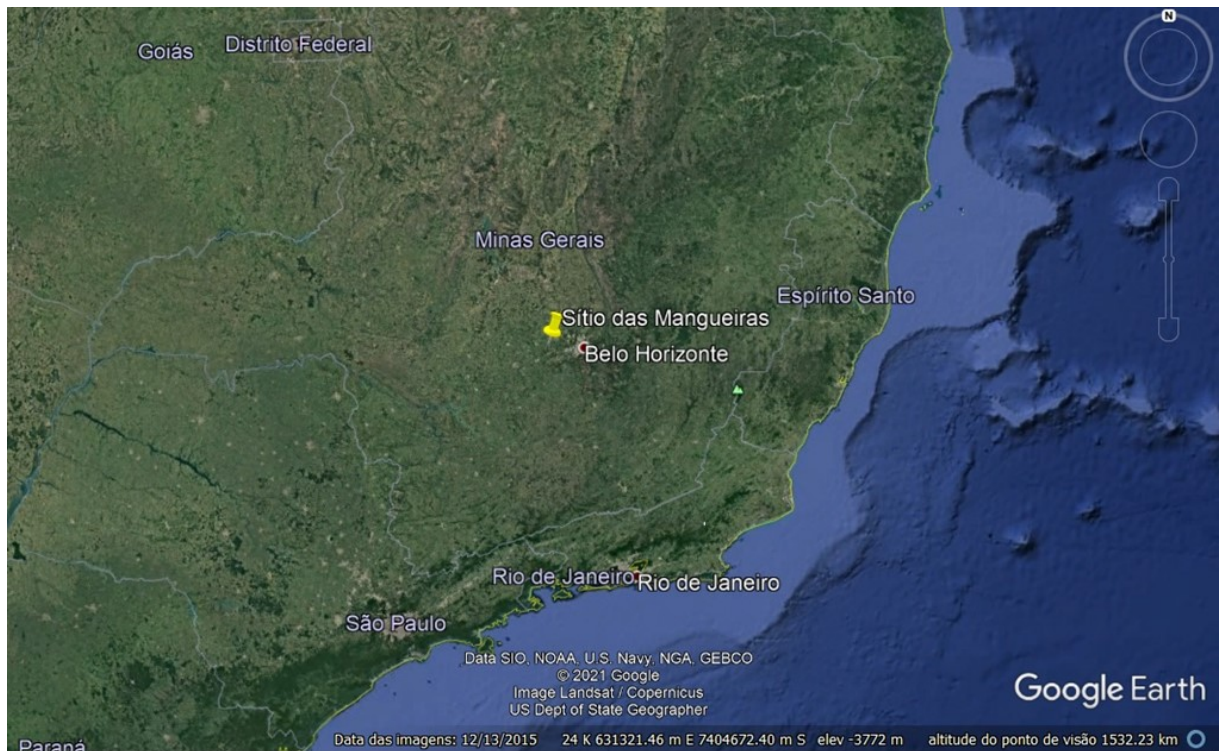


Figura 1. Localização do Sítio das Mangueiras, município de Florestal, MG, sudeste do Brasil. Fonte: Google Earth Pro (2021).

O Sítio das Mangueiras tem área total de aproximadamente 5 hectares, desenvolvendo, desde 2008, projetos voltados para o manejo agroecológico dos sistemas de produção agrícola e buscando ser um exemplo de cultivo em consórcios. Atraindo visitantes da região de Belo Horizonte e estudantes do *Campus* Florestal da Universidade Federal de Viçosa. A Figura 2 situa o sítio em relação à cidade de Florestal.



Figura 2. Localização do Sitio das Mangueiras, delimitado em vermelho, em relação à cidade de Florestal MG. Fonte: Google Earth Pro (2021).

O sítio se encontra nos limites entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica segundo a Lei 11.428 de 2006 (BRASIL, 2006). Com presença de vegetação antropizada em sua área de APP e área de reserva declarada com cobertura arbórea composta por frutíferas exóticas, mangueiras, citrus e outras. A vegetação natural em Florestal MG é descrita como floresta estacional semidecídua. A fonte de água para irrigação da área de cultivo agroflorestal é um poço profundo e uma pequena represa indicada na Figura 3.



Figura 3. Sítio das Mangueiras em 2019. Córrego em cor ciano e polígono delimitando a área da represa em cor azul. Polígono em cor laranja delimitando os limites do sítio e polígono em cor branca delimitando a área de sistema horta floresta. Fonte: Google Earth Pro (2021).

Em estudo sobre Florestal MG o solo foi classificado pela base cartográfica da FEAM (AMARAL *et al.*, 2004) como PVAe12: argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico + argissolo vermelho eutrófico típico, ambos textura média/argilosa ou média/muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado e forte ondulado (60-40%)

Segundo relato do proprietário do sítio, Lucas Machado, o terreno já foi considerado impróprio pelos vizinhos para produção de hortaliças e frutas “por se tratar de um terreno de topo de morro, onde as condições não são favoráveis para o cultivo, pelo fato de ser mais ensolarado, mais seco, exposto a ventos cortantes e com o solo mais arenoso.”

3.2 Áreas de Estudo

3.2.1 Área 1: SAF horta floresta

A área de cultivo com horta floresta tem 7.000 m², com histórico de uso anterior como pastagem intensiva. O sistema foi implantado no ano de 2014 com desenho inspirado no SAF do Sítio Semente localizado no Distrito Federal, constituído por faixas de 3 a 5 m de largura de cultivo de hortaliças (alface, couve, tomate, pimentão, rabanete, beterraba, cenoura, salsa, cebolinha, abóbora, abobrinha) intercaladas por linhas de bananeiras e árvores diversas (café, pupunha, eucalipto, abacate, ingá, citrus, acácia mangium, guapuruvu). A Figura 4 caracteriza o espaçamento do plantio das linhas de árvores e bananeiras no sistema. A Figura 5 apresenta a vista aérea do SAF.



Figura 4. Espaçamento das linhas de árvores e bananeiras e disposição das faixas de horta cobertas por palhada de capim braquiária na área do SAF horta floresta no Sítio das Mangueiras, Florestal, MG. Fonte: Lucas Faria Machado.



Figura 5. Vista aérea do sistema agroflorestral horta floresta no Sitio das Mangueiras, Florestal, MG. Fonte: Lucas Faria Machado.

A área em estágio mais avançado de regeneração tende a se tornar mais sombreada, a medida em que as árvores frutíferas e o café chegam em seu estágio de produção. Nesse momento, o produtor tem as áreas centrais de cultivo de horta mais sombreadas e protegidas do vento. O primeiro cenário que o trabalho propôs testar foi justamente o ambiente e o solo das faixas de cultivo de horta que sofrem influência das linhas de árvores mais sombreadas e protegidas, as linhas de árvores no estágio de sucessão exemplificadas na Figura 6. A declividade média no local é de 10% e o solo é um argissolo vermelho amarelo.



Figura 6. Local de linhas de produção de árvores diversas com sombreamento arbóreo, proteção do vento e deposição de matéria orgânica de restos de poda e adubação orgânica na área de SAF horta floresta no Sítio das Mangueiras, Florestal, MG. Fonte: Felipe E.A. Magalhães.

3.2.2 Área 2: pastagem

A segunda situação escolhida foi avaliar uma área de pastagem, formada antes de 2009 pelo menos (GOOGLE EARTH, 2021), vizinha à área de horta floresta, que caracteriza o ambiente inicial que havia antes da implantação do sistema agroflorestal. A pastagem apresenta declividade média de 10% e o solo também é um argissolo vermelho amarelo. (Figura 7).



Figura 7. Área de pastagem, segundo cenário para teste das condições hídricas, vizinha ao sistema horta floresta no Sítio das Manguieras, Florestal, MG. Fonte: Felipe E. A. Magalhães.

3.2.3 Área 3: fragmento de floresta estacional semidecídua

A terceira área avaliada apresentava cobertura de solo com floresta estacional semidecídua. A Figura 8 apresenta as características vegetais do fragmento florestal e do local onde foi definida parcela quadrada de 10 m x 10 m com declividade média de 10% e solo da ordem dos argissolos, buscando semelhança aos demais cenários estudados. A área é coberta por vegetação florestal nativa desde o ano de 2009 pelo menos (GOOGLE EARTH, 2021).



Figura 8. Fragmento florestal do terceiro cenário de teste das condições hídricas próximo ao Sítio das Manguieras, Florestal, MG. Fonte: Felipe E. A. Magalhães.

3.3 Escolha da Área de Fragmento Florestal

A área de fragmento florestal foi identificada em campo levando em consideração a semelhança em características originárias da formação do solo em relação à área interna ao Sítio das Manguieras: local mais próximo possível, na mesma bacia hidrográfica, declividade semelhante, mesma altitude, com mesma classificação de solo e posição do relevo. Para definir o local e o tamanho do fragmento a ser utilizado nesse estudo foram analisadas quatro opções. A princípio foram analisados 2 fragmentos com área, relevo e forma semelhante ao SAF. Eles estão representados na Figura 9.



Figura 9. Fragmentos florestais com área e relevo semelhante ao SAF horta floresta em Florestal, MG. Fonte: Google Earth Pro (2021).

Ao analisar a textura do solo desses fragmentos verificou-se que apresentavam textura diferente das áreas de SAF e pastagem. A Tabela 1 traz a análise de textura dos fragmentos evidenciando que os solos dos fragmentos têm textura diferente do SAF do Sítio das Mangueiras.

Tabela 1. Análises de textura do solo (0-30 cm) dos fragmentos 1 e 2.

| Área | Areia (g kg ⁻¹) | Silte (g kg ⁻¹) | Argila (g kg ⁻¹) | Textura |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| SAF horta Floresta | 504 | 112 | 384 | Argilo Arenosa |
| Fragmento 1 | 304 | 164 | 532 | Argilosa |
| Fragmento 2 | 420 | 98 | 482 | Argilosa |

A partir desse momento, a opção foi diminuir a área da parcela analisada e realizar um reconhecimento de outras duas opções de fragmentos florestais, mais próximos para aumentar a probabilidade de possuírem o mesmo tipo de solo, mesmo que não possuíssem formatos nem relevo semelhante à área total do SAF.

A Figura 10 apresenta as duas opções de fragmentos próximos que foram reconhecidas nesse trabalho. Ao final da análise visual do relevo, dos aspectos morfológicos do solo e das análises de textura, foi escolhido o fragmento mais ao sul, descrito na figura como fragmento ARGISSOLO? para ser o parâmetro de comparação com as outras duas situações, pastagem e SAF.



Figura 10. Fragmentos florestais próximos ao SAF horta floresta em Florestal, MG. Fonte: Google Earth Pro (2021).

A Tabela 2 a seguir apresenta as análises de textura do fragmento florestal escolhido em comparação com a área de pastagem, evidenciando que os três cenários: SAF, Pastagem e o fragmento florestal escolhido possuem solos com textura semelhantes na profundidade de 0-30 cm.

Tabela 2. Análises de textura do solo (0-30 cm) do fragmento argissolo e da área de pastagem.

| Área | Areia (g/kg) | Silte (g/kg) | Argila (g/kg) | Textura |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| Fragmento argissolo | 446 | 148 | 406 | Argilo Arenosa |
| Pastagem | 506 | 142 | 352 | Argilo Arenosa |
| SAF horta Floresta | 504 | 112 | 384 | Argilo Arenosa |

Para determinação da classe de textura do solo foi utilizado o diagrama textural de Lemos e Santos (1996).

Para confirmação das análises foram coletadas mais três amostras de solo em janeiro de 2022, a textura argilo arenosa foi confirmada para as três áreas estudadas.

Tabela 3. Análises de textura do solo (0-30 cm) do fragmento florestal, da área de pastagem e do SAF horta floresta realizadas em 13/01/2022.

| Área | Areia (g kg ⁻¹) | Silte (g kg ⁻¹) | Argila (g kg ⁻¹) | Textura |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| Fragmento argissolo | 514 | 130 | 356 | Argilo Arenosa |
| Pastagem | 574 | 136 | 290 | Argilo Arenosa |
| SAF horta Floresta | 566 | 136 | 298 | Argilo Arenosa |

3.4 Caracterização da Fertilidade do Solo nas Áreas

Para caracterizar as condições de fertilidade do solo encontradas nos diferentes tipos de cobertura vegetal avaliados nessa pesquisa, foram coletadas amostras compostas para cada cobertura e as análises foram realizadas no Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (LABRAS) em Monte Carmelo, MG.

Cada amostra composta foi formada pela coleta de amostras simples em 20 pontos diferentes em zigue zague de forma aleatória na profundidade de 15 a 30 cm (buscando excluir o efeito da influência da adubação orgânica recente mais superficial), o solo foi misturado para a obtenção de uma amostra para cada área.

3.5 Parâmetros Hídricos Avaliados

3.5.1 Evapotranspiração

Para descrever a dinâmica de fluxo de água nas três situações foram avaliados alguns parâmetros que influenciam no manejo de água em sistemas de produção vegetal.

O estudo foi realizado comparando dados do solo e do ambiente referentes a uma parcela representativa interna a cada local com área e formato quadrado de 10 m x 10 m.

Para comparar as diferentes situações em relação à capacidade de armazenar água foi estimada a umidade ideal do solo, chamada umidade na capacidade de campo.

Por meio de revisão de literatura também foi possível estimar valores de umidade crítica de referência, ou seja, o menor teor de umidade do solo em que as plantas conseguem se desenvolver sem perder seu potencial de produção.

Como o estudo analisou a camada de 0 a 30 cm do solo, foi escolhido o feijão como cultura para estabelecer comparações sobre a irrigação nas áreas. Os critérios da escolha da cultura de comparação foi por possuir a profundidade efetiva das raízes nessa camada e também por ser uma cultura que pode ser plantada nas entrelinhas de um sistema agroflorestal. A obtenção dos parâmetros f e K_c , relativos ao cálculo da demanda de água pela cultura, foram obtidos tendo como suporte a metodologia apresentada nos Boletins FAO 24 e FAO 56 (Organização das Nações Unidas) (ALLEN *et al.*, 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977).

Os valores de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas da Estação Meteorológica Florestal A535, instalada próxima ao Departamento de Agronomia no *Campus* da Universidade Federal de Viçosa em Florestal, MG.

Ao longo de todo o período de estudo foram determinados os teores de umidade do solo nas três áreas analisadas. As determinações da umidade de solo foram realizadas pelo método gravimétrico, conforme será descrito com mais detalhes no próximo item.

3.5.2 Umidade do solo

A umidade do solo foi a base para estimar a quantidade de água que existe no sistema e o principal parâmetro avaliado nesse estudo. Foi analisada em dois períodos diferentes. De novembro de 2021 a janeiro de 2022 e de junho a agosto de 2022. A umidade do solo é uma medida direta da quantidade de água que existe no sistema. Foi obtida com frequência aproximada de 3 vezes por semana nas três áreas com diferentes coberturas vegetais. As coletas foram realizadas em zigue zague em três pontos distintos da parcela. Foram coletadas 3 amostras de solo nas profundidades de 0-15 cm e 3 nas profundidades de 15-30 cm em cada

área. A umidade foi medida pelo método gravimétrico que consiste em pesar as amostras de solo e submetê-las a secagem em estufa por 24 horas a 105° C. Após esse período é realizada nova pesagem e pela diferença de peso das amostras é calculado o peso de água em cada amostra (NBR 6457/2016).

Por meio desse método, o teor de água no solo é determinado de forma direta e seu valor expresso em percentagem de umidade em massa (base seca - massa de água/massa de solo) ou em volume (base volumétrica – volume de água/volume de solo) (BRAGA *et al.*, 2018).

3.5.3 Velocidade de infiltração de água no solo

A determinação da velocidade de infiltração de água no solo foi realizada pelo método do infiltrômetro de anel (ZWIRTES *et al.*, 2013) no período seco, no dia 04 de setembro de 2022. A velocidade de infiltração fornece subsídio para o planejamento de como o sistema solo planta se comportará em eventos de secas prolongadas ou de chuvas intensas.

3.5.4 Temperatura e umidade relativa do ar nas áreas de cultivo

A temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas em cada ambiente no período de novembro de 2021 a janeiro de 2022. Com total de 16 leituras, 4 repetições de cada leitura em cada área estudada. As leituras foram realizadas com termo-higrômetro digital com sensor externo, na altura da superfície do solo, preferencialmente em local de sombra. A ordem de coleta de dados nos cenários foi aleatória e o intervalo entre as coletas foi inferior a 40 minutos.

3.6 Análise e Comparação dos Dados

3.6.1 Precipitação e evapotranspiração

Por meio dos dados diários de precipitação, temperatura e umidade relativa obtidos pela estação meteorológica foi possível estimar a quantidade de água que entra no sistema por precipitação e estimar a exportação por evapotranspiração diária média durante o período.

A evapotranspiração potencial (ET_{pc}) foi calculada pela equação de Penman Monteith FAO 56 (ALLEN *et al.* 1998). A evapotranspiração real (ET_r) foi obtida pelo método de Bernardo *et al* 2006, que estabelece a equação $ET_r = K_s \cdot ET_{pc}$, sendo K_s obtido conforme Equação 1.

$$K_s = \frac{\ln(LAA+1,0)}{\ln(CTA+1,0)} \quad (1)$$

em que:

CTA= capacidade total de água no solo, mm; e

LAA = lâmina atual de água no solo, mm.

O diagrama na Figura 11 abaixo ilustra a diferença entre a evapotranspiração potencial, a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração real.

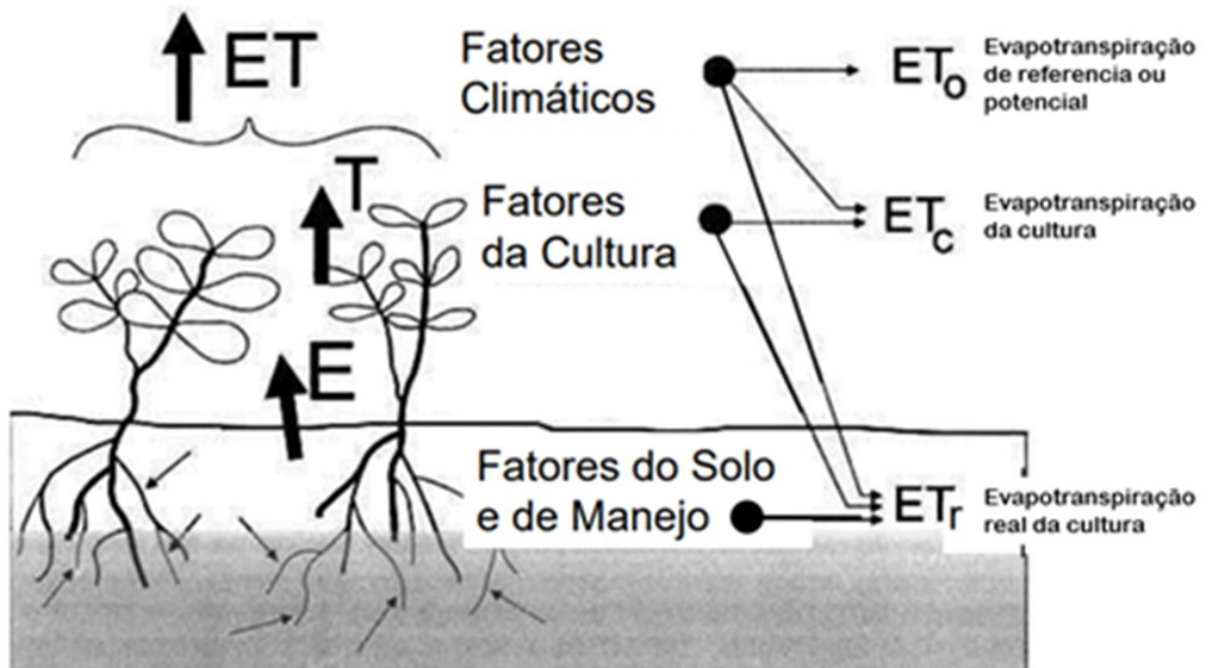


Figura 11. Ilustração dos parâmetros ET_c e ET_r que serão utilizados nesse estudo. Fonte: Sentelhas e Angelocci (2012).

Com os dados foi possível fazer uma estimativa do balanço de água no sistema.

3.6.2 Balanço de água

Com os dados periódicos de umidade do solo e com os dados de precipitação, temperatura e umidade relativa obtidos da estação experimental Florestal A535 foi possível estimar o comportamento da cultura de feijão como referência em relação à necessidade de irrigação levando em conta os resultados de umidade do solo em cada área.

3.7 Análise Estatística

As médias de temperatura do ar, umidade relativa do ar e as médias de umidade do solo para cada dia de coleta de cada cenário nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm foram comparadas pela análise de variância. Quando o F foi significativo foram comparadas pelo teste Tukey considerando erro máximo de 5%. A análise de variância e o teste Tukey foram realizados pelo programa PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição da Precipitação Durante o Período Analisado

Os valores de precipitação ocorridos durante o estudo estão apresentados abaixo divididos em dois períodos: chuvoso e seco conforme as Figuras 12 e 13, respectivamente.

A Figura 12 apresenta a distribuição das chuvas no período chuvoso de outubro de 2021 a fevereiro de 2022. O período foi marcado por chuvas “sem fim” de grande magnitude em Florestal, MG. (COSTA, 2022).

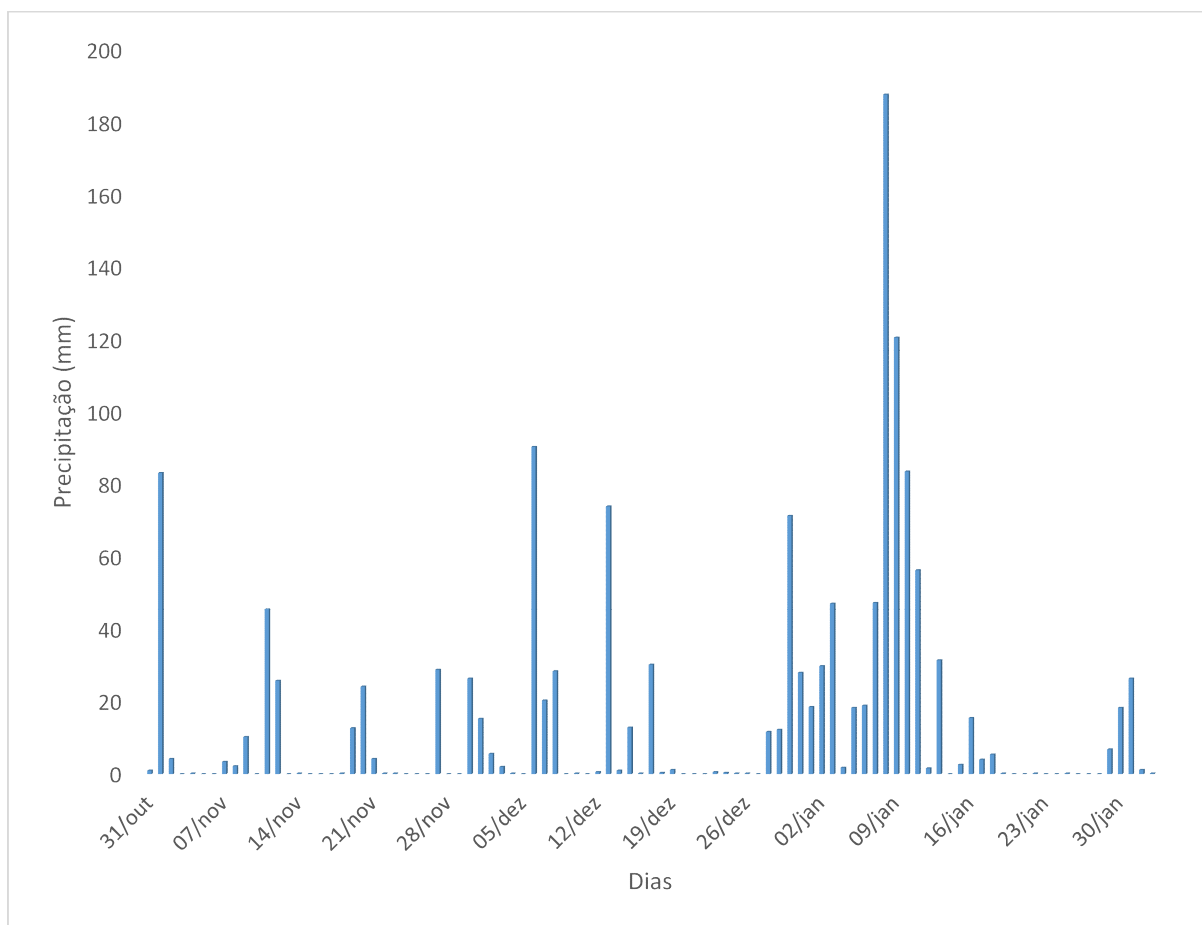


Figura 12. Distribuição e intensidade de chuvas durante o período chuvoso de novembro de 2021 a janeiro de 2022. Fonte: Dados da estação meteorológica Florestal E535 do INMET.

Verifica-se na Figura 12 que as maiores precipitações foram registradas no mês de janeiro de 2022 com chuvas torrenciais superiores a 100 mm por dia. Segundo os valores de precipitação observados durante o período foram registradas chuvas suficientes para elevar de forma significativa o teor de umidade do solo, sendo que principalmente no período entre 01 de janeiro e 19 de janeiro a umidade do solo atingiu valores acima da capacidade de campo, devido às elevadas magnitudes de precipitações. Observa-se também a ocorrência de chuvas com magnitude maior que 20 mm com frequência quinzenal.

A Figura 13 apresenta a distribuição e intensidade de chuvas no período seco de junho a agosto de 2022. O período apresentou precipitações leves com lâmina de precipitação da ordem de 0 a 1 mm.

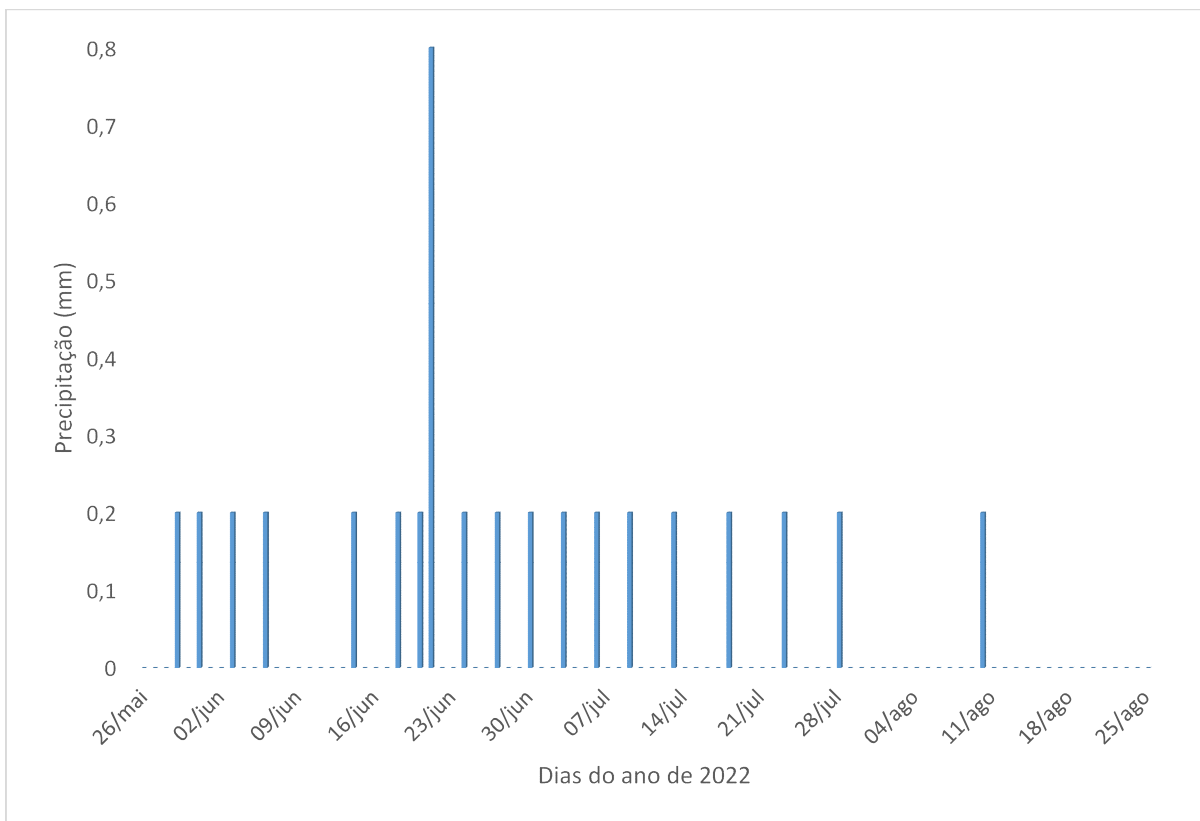


Figura 13. Distribuição e intensidade de chuvas durante o período seco do trabalho. De junho a agosto de 2022. Fonte: Dados da estação meteorológica Florestal E535 do INMET.

4.2 Caracterização da Fertilidade do Solo nas Áreas

A partir da análise de fertilidade do solo obtida para as três áreas analisadas, foi possível identificar efeitos dos diferentes tipos de uso/manejo nos parâmetros químicos dos solos. O sistema agroflorestal horta floresta apresentou os melhores resultados em praticamente todos os parâmetros avaliados. E muitos dos valores observados no solo sobre este tipo de manejo se encontram em concordância com os valores estabelecidos como referência para análise da fertilidade do solo (CFSEMG, 1999).

Tabela 4. Comparativo entre os parâmetros químicos avaliados nos diferentes tipos de uso do solo.

| Amostra | pH | V | m | Al | H+Al | K | Ca | Mg | P | t | T | MO |
|------------|-----|----|-----|------|------|------|-------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | | | mg dm ⁻³ | cmolc dm ⁻³ | cmolc dm ⁻³ | Dag kg ⁻¹ |
| Pasto | 4,7 | 50 | 12 | 0,48 | 3,4 | 0,17 | 2,46 | 0,78 | 12,7 | 3,89 | 6,81 | 1,7 |
| Floresta | 4,4 | 5 | 74 | 1,42 | 9,3 | 0,12 | 0,22 | 0,16 | 0,8 | 1,93 | 9,81 | 3,6 |
| SAF | 6,4 | 86 | 0 | 0 | 1,6 | 1,13 | 5,91 | 2,75 | 316,1 | 9,79 | 11,39 | 4,4 |
| *Nível | 5,5 | 60 | | | | | | | | | 8,6 | |
| Referência | a | a | <20 | <0,2 | <2 | >0,2 | 2,4 a | 0,9 a | 12,1 a | 4,6 a | a | 2,1 a |
| (LABAS) | 6,5 | 80 | | | | | 4,0 | 1,5 | 18,0 | 8,0 | 15,0 | 4,5 |

O maior valor de pH observado nos diferentes usos foi o do SAF horta floresta, estando dentro da faixa ótima deste parâmetro, indicando que a correção do solo pela calagem foi bem efetuada na área. Já os valores deste parâmetro na mata e no pasto, 4,4 e 4,7, encontram-se abaixo do valor mínimo desejado (5,5). O pH influencia diretamente a dinâmica da solução do solo afetando a atividade do alumínio e condicionando o espaço disponíveis no complexo de troca para adsorção de cátions básicos. Esta influência se torna evidente ao comparar os valores de Al trocável entre os três tipos de uso. No SAF horta floresta o Al trocável é zero, pois acima de pH 5,5 o Al não permanece em solução. O maior valor de alumínio em solução está relacionado ao menor valor de pH, que neste caso é o da mata (4,4). Os valores de CTC efetiva (t) também expressam uma relação direta com o pH, sendo o maior valor (9,79) associado ao maior valor de pH no SAF, e o menor valor (1,93) ao menor valor de pH encontrado na mata. A CTC efetiva (t) representa o espaço disponível para cátions básicos trocáveis (K, Na, Ca e Mg), portanto, pensando-se em fertilidade do solo, quanto maior este valor melhor.

O valor T representa a CTC total, ou CTC a pH 7,0, representando assim o espaço máximo que o solo tem para adsorver nutrientes em formas catiônicas. O valor T tem uma relação direta com o valor V%, que representa quanto do complexo de troca está ocupado por cátions. Mais uma vez o melhor valor de T está associado ao SAF horta floresta (11,39), seguido pelo fragmento florestal (9,81). Este espaço capacitado a adsorver cátions possui uma relação direta com a matéria orgânica do solo. Ao se relacionar o valor de MO e T percebe-se os maiores valores associados ao SAF e os menores associados ao pasto. Isso é uma evidência de que o manejo adotado no SAF com podas frequentes e alto aporte de biomassa ao solo, gera um condicionamento desejável na melhoria do solo.

Os valores de P são ainda mais discrepantes entre os diferentes tipos de uso. No SAF horta floresta foi encontrado um valor de P extremamente alto (316,1) para os padrões de referência indicados pelo LABAS, que variam de 12,0 a 18,0 mg/dm³. Este fato se explica pelo uso frequente de fosfato natural como fonte de P na área. O menor valor de P (0,8) é observado na mata, que apresenta um valor de matéria orgânica no solo (3,6) próximo ao valor encontrado no SAF (4,4) e bem superior ao observado no pasto (1,7).

Com relação aos cátions trocáveis (K, Ca e Mg) os valores observados no SAF excedem os valores máximos de referência estabelecidos para os solos do estado de Minas Gerais. Foi relatado o uso de cinzas e esterco de galinha como fonte de adubação orgânica, produtos capazes de fornecer esses elementos ao solo. Por sua vez a mata e o pasto, apresentam valores de cátions trocáveis sempre inferiores aos valores de referência, com exceção do valor de cálcio no pasto (2,4) que se equivale ao valor mínimo de referência. Este maior valor de cálcio no ambiente de pastagem pode se relacionar com eventuais calagens que tenham sido feitas nesta área ao longo do seu uso histórico.

Por fim, é possível afirmar que o SAF apresentou segundo os parâmetros de fertilidade analisados a melhor qualidade química para produção agrícola em geral.

4.3 Umidade do Solo

As análises de umidade do solo serão divididas em três etapas: análise do período chuvoso, análise do período seco e análise das médias dos dois períodos.

4.3.1 Análise do período chuvoso

As Figuras 14 e 15 apresentam a variação da umidade do solo no período chuvoso (novembro de 2021 a fevereiro de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG, nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm, respectivamente

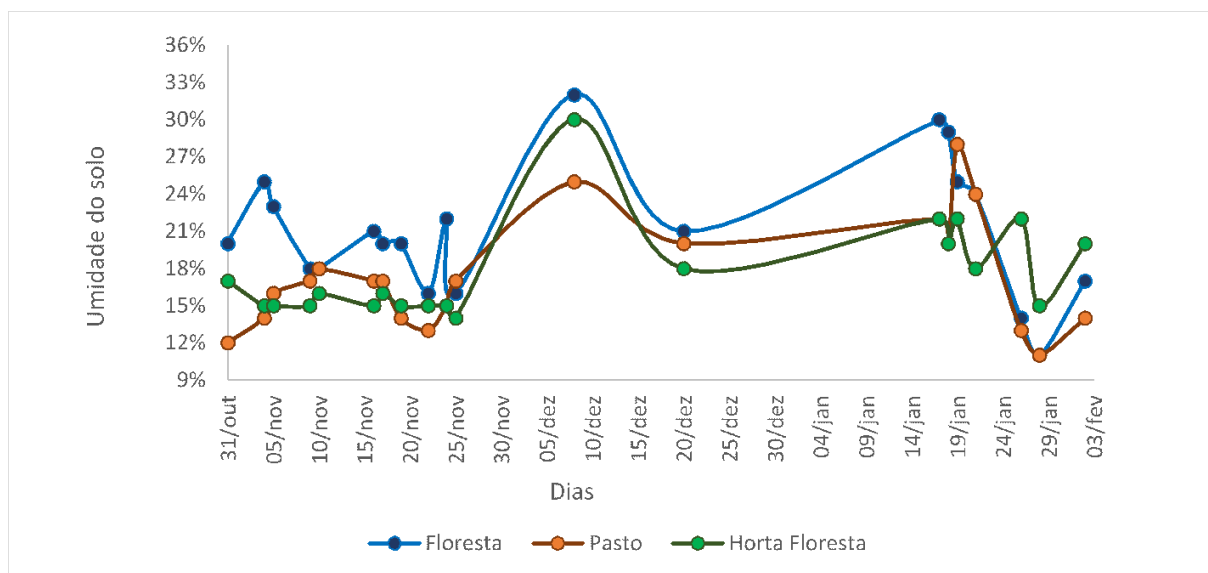


Figura 14. Umidade do solo na profundidade de 0-15 cm, no período chuvoso (novembro de 2021 a fevereiro de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

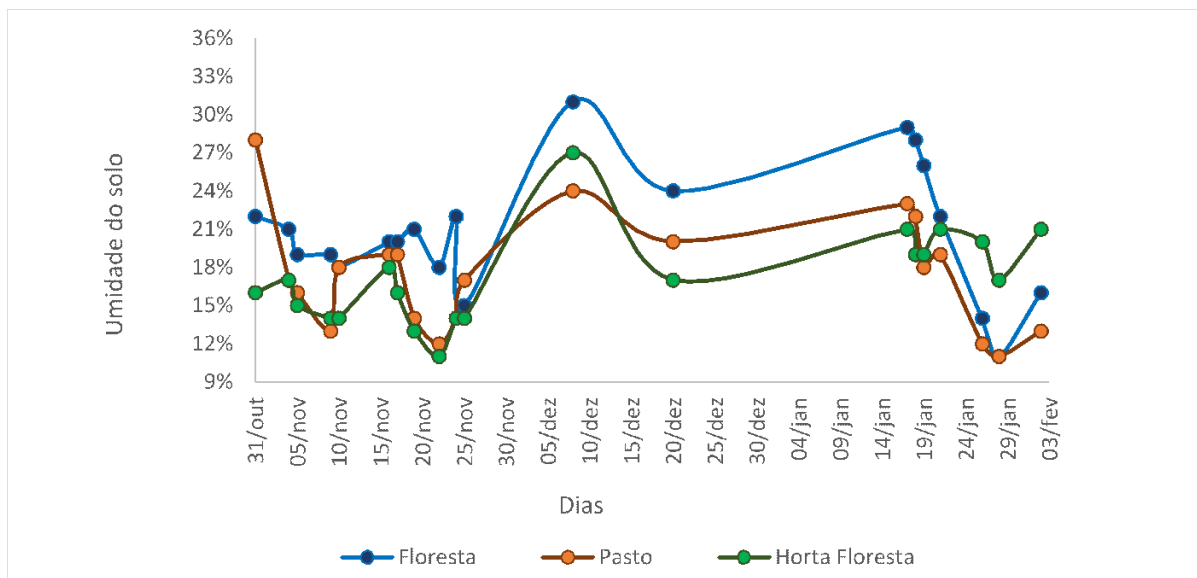


Figura 15. Umidade do solo na profundidade de 15-30 cm, no período chuvoso (novembro de 2021 a fevereiro de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

A partir das figuras acima, verifica-se que tanto para a camada 0-15 cm quanto na camada 15-30 cm, na maioria do período analisado, a umidade do solo no fragmento florestal permanece superior a pastagem e ao SAF, porém nota-se que no trecho final do período de 22 de janeiro a 02 de fevereiro, a umidade do SAF se torna superior na camada 0-15 cm, e de 26 de janeiro a 02 de fevereiro, a umidade do SAF na camada de 15-30 cm novamente supera as demais coberturas do solo.

4.3.2 Análise do período seco

As Figuras 16 e 17 apresentam a variação da umidade do solo no período seco (junho a agosto de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG, nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm, respectivamente

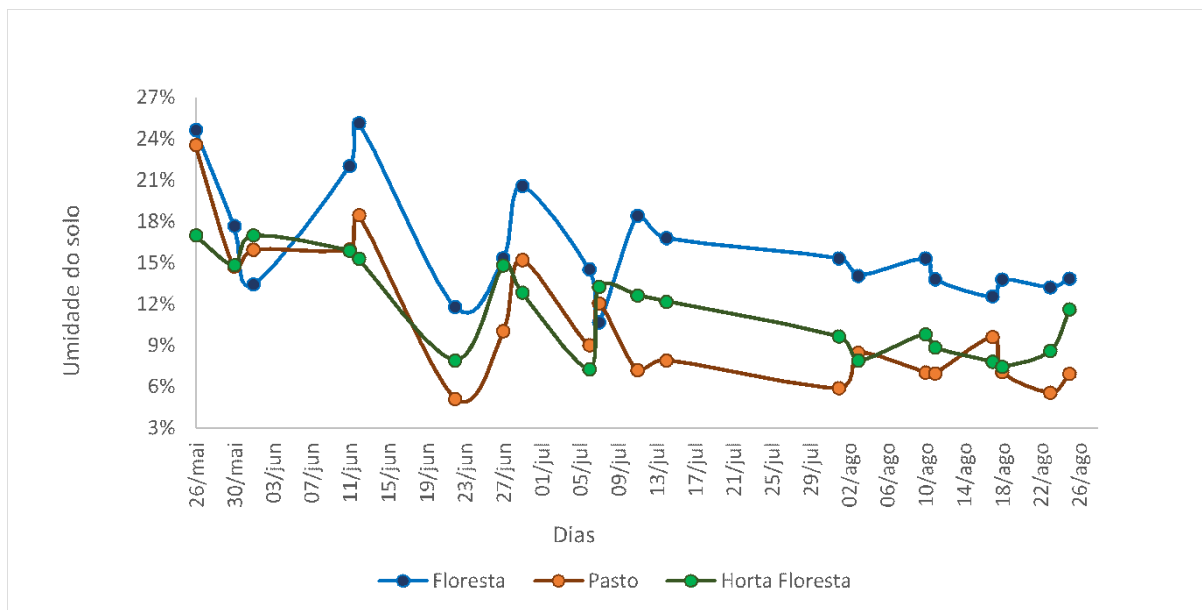


Figura 16. Umidade do solo na profundidade de 0-15 cm, no período seco (junho a agosto de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

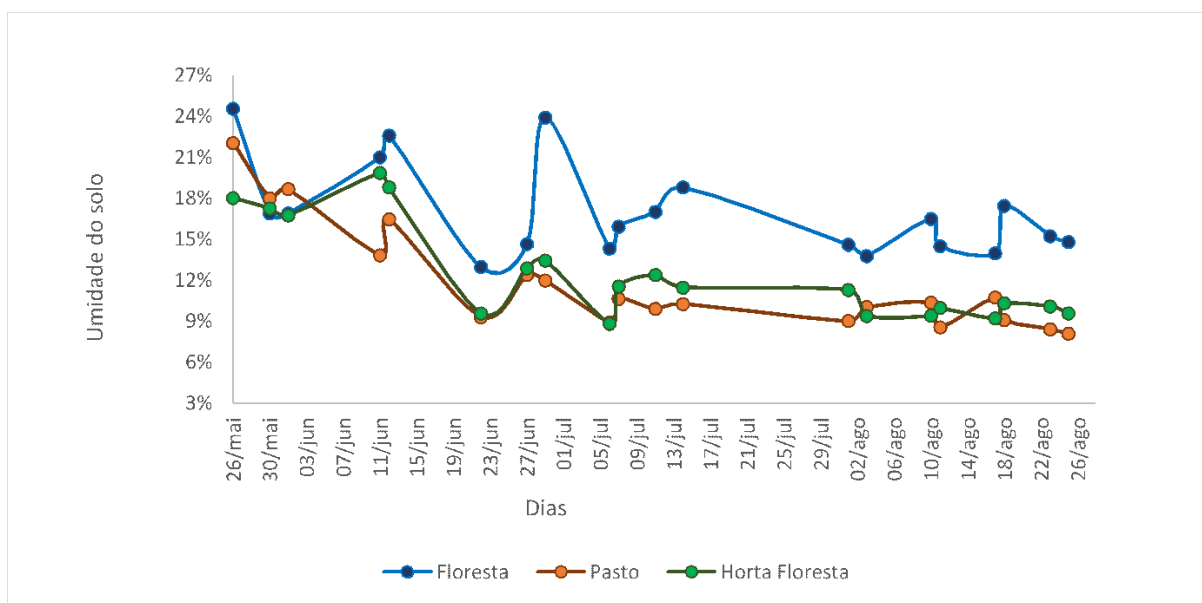


Figura 17. Umidade do solo na profundidade de 15-30 cm, no período seco (junho a agosto de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

É possível observar nas Figuras 16 e 17, que tanto para a camada 0-15 cm quanto na camada 15-30 cm a umidade do solo no fragmento florestal permanece superior a pastagem e ao SAF, em praticamente todo o período (22 de maio a 27 de agosto). Verifica-se ainda que em quase todo o período a umidade do solo no SAF permanece sutilmente superior a umidade do solo da pastagem, com poucos eventos de inversão dessa situação, nas duas camadas analisadas.

4.3.3 Análise da média da umidade do solo

A Tabela 5 apresenta os valores médios de umidade do solo nos períodos, chuvoso e seco.

Tabela 5. Umidades médias do solo nas camadas de 0 a 15 e de 15 a 30 cm nos períodos chuvoso (novembro de 2021 a fevereiro de 2022) e período seco (junho a agosto de 2022), para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

| Período chuvoso | | |
|------------------------|---------------------------|------------|
| Ocupação do solo | Umidade média do solo (%) | |
| | 0 - 15 cm | 15 - 30 cm |
| Fragmento Florestal | 21,11 a | 20,74 a |
| Pastagem | 17,40 b | 17,42 ab |
| SAF Horta Floresta | 17,78 ab | 17,33 b |
| Período Seco | | |
| Ocupação do solo | Umidade média do solo (%) | |
| | 0 - 15 cm | 15 - 30 cm |
| Fragmento Florestal | 16,15 a | 17,02 a |
| Pastagem | 10,64 b | 11,84 b |
| SAF Horta Floresta | 11,63 b | 12,50 b |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As análises estatísticas permitiram observar que no período chuvoso os valores de umidade média do solo no fragmento florestal, nas camadas 0-15 e 15-30 cm, não diferiram dos valores de umidade média do solo na pastagem, na camada 15-30 cm e no SAF, na camada 0-15 cm. Este fato pode ser explicado pela alta incidência de precipitação nesse período analisado. Vale a pena ressaltar que os valores de umidade média do solo nas duas camadas analisadas do fragmento florestal apresentam valores significativos superiores ao valor da camada 0-15 cm da pastagem, tal fato evidencia que mesmo para o período de alta incidência de precipitação, a conservação de água no solo numa área com fragmento florestal é maior do que em uma área de pastagem, pois a proteção do solo, o depósito de material orgânico (serrapilheira), a menor exposição ao vento e o conjunto de fatores de formação biológica do ambiente florestal contribuem significativamente para esse cenário.

Ainda analisando os valores da Tabela 5, pode-se evidenciar que os valores médios de umidade do solo na área com fragmento florestal são significativamente superiores aos valores da área com pastagem e SAF, nas duas camadas analisadas (0-15 cm e 15-30 cm), a despeito de serem valores médios que tendem a suavizar a análise.

Analisando o período chuvoso (Tabela 5) verifica-se que as áreas de fragmento florestal e pastagem apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey. O fragmento florestal apresentou a maior média de umidade do solo. Não houve diferença significativa entre o SAF horta floresta e o fragmento florestal nessas condições. O SAF e a pastagem não apresentaram diferença significativa. O resultado difere do encontrado por Carvalho (2011), que monitorando a umidade do solo em sistema de produção de café com SAF e café a pleno sol (sem árvores) na Serra do Brigadeiro em Minas Gerais encontrou sempre valores de umidade do solo significativamente menores nos sistemas tipo SAF que tem árvores. Em Florestal, MG, na época de chuvas e na camada de 0 a 15 cm, o experimento indicou que o SAF com árvores se assemelha à área de floresta nativa e os sistemas com árvores apresentaram umidade do solo mais elevadas que o pasto.

Normalmente, as camadas mais superficiais de sistemas orgânicos são as que possuem maior teor de matéria orgânica. Conceição (2005) encontrou teores de carbono orgânico total (referência para estimar a quantidade de material orgânico) três vezes superiores na camada de solo de 0 a 5 cm quando comparado com a camada de 0 a 20 cm.

A camada superior do solo é a que tem maior influência no aporte de matéria orgânica constante realizado no manejo do SAF horta floresta. Aguiar *et al.* (2009) avaliaram os teores de umidade em SAF em Araponga, MG, e encontraram em período chuvoso valores maiores de umidade na camada mais superficial do solo. No período seco, os valores de umidade foram muito próximos entre as diferentes profundidades estudadas. Os autores sugeriram que a cobertura por serapilheira protege o solo da radiação solar e com isso evita-se a secagem rápida da camada mais superficial. Por outro lado, espera-se que as árvores explorem a camada mais profunda do solo e provoquem uma diminuição dos teores de água no solo. Essa segunda hipótese considera a alta taxa de consumo de água de uma árvore adulta e que isso provocaria um efeito de dreno de água do solo. Entretanto, existem estudos que não observam influência forte da presença de árvores na diminuição da quantidade de água disponível no solo. Neves *et al.* (2007) não observaram diferenças significativas entre a umidade do solo quando compararam diferentes consórcios de plantas com café. Com isso concluíram que a água não foi um fator limitante ao cultivo do café.

Segundo Costa (2016), em áreas de pastagem a provável compactação, consequência de práticas incorretas de manejo fazem com que a infiltração de água das chuvas seja prejudicada, esse efeito diminui a quantidade de água que passa pelo sistema. Soma-se a ele a própria diminuição da capacidade de armazenamento de água pela baixa porosidade de um solo compacto. Quando são adotadas práticas de manejo como adubação, preparo do solo e utilização de plantas que exploram as diferentes camadas do solo com crescimento abundante de raízes, o volume do solo aumenta e as condições de estrutura do solo se tornam favoráveis ao armazenamento de água.

Montenegro *et al.* (2020) estudando métodos naturais de conservação de água no solo encontraram diferenças significativas entre o tratamento que utilizava cobertura morta do solo com palhada e os demais tratamentos: palma forrageira e solo descoberto. Vieira (2020) também observou incremento nos valores de umidade do solo em solos que possuíam camadas mais espessas de cobertura morta.

Nesse sentido, é provável que os restos culturais do manejo de horta no SAF e a intensa utilização de cobertura morta com palhada sejam responsáveis por equalizar a umidade do solo superficial no mesmo nível do fragmento florestal como ocorreu na camada de 0-15 cm no período chuvoso.

Para a profundidade de 15 a 30 cm, no período de chuvas, o Fragmento florestal foi significativamente diferente do SAF. Nessa profundidade, a pastagem não apresentou diferença significativa com o fragmento florestal nem com o SAF.

A camada mais profunda de solo sofre menor efeito da insolação na secagem do solo e essa é uma hipótese para explicar por que o pasto pode apresentar semelhança na umidade com a área florestal (ALENCAR; SEDIYAMA; MANTOVANI, 2015; CARVALHO, 2011).

Para o período seco, nota-se pela Tabela 5 que a análise estatística indica que existe diferença significativa entre o fragmento florestal e o pasto e também entre fragmento florestal e SAF para a profundidade do solo de 0-15 cm.

O pasto e o SAF horta floresta não apresentaram diferença significativa. Silva (2015) também não encontrou diferença em relação a umidade do solo avaliando o comportamento da umidade do solo e comparando os tratamentos solo descoberto versus solo coberto ambos do tipo argissolo na caatinga.

A análise de variância ANOVA indicou que existe diferença entre as áreas para a camada de 15 a 30 cm do solo durante a seca. O valor de F calculado foi maior que o F tabelado.

O teste Tukey indicou que para a profundidade do solo de 15-30 cm as áreas: floresta e pasto e floresta e SAF horta floresta foram significativamente diferentes.

A presença de árvores e o aporte sistêmico de material orgânico no SAF não foram suficientes para produzir efeito de umidade semelhante ao fragmento florestal. Na camada mais profunda desse estudo o efeito de conservação de umidade no solo se assemelhou ao pasto.

Cabe destacar a partir desse resultado, que a cobertura vegetal com pastagem é frequentemente citada como uma forma de contenção da erosão e também como capaz de conservar a estrutura do solo.

Dessa maneira, a semelhança observada entre o SAF horta floresta e a pastagem na capacidade de conservação de água provavelmente se deve às propriedades semelhantes em relação à capacidade de manutenção da estrutura de solo.

Para Salton *et al.* (2008), a atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis. A estrutura do solo influencia no desenho dos macroagregados e dos microporos e dos macroporos. Dependendo do desenho e disposição dos agregados, o tamanho dos poros e a força de retenção de água no solo será diferente. Com isso, determinadas características da estrutura do solo podem ser indicativas de uma maior capacidade de armazenamento de água e também de uma relação hídrica diferente com as plantas de cobertura.

Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura do solo, provendo-o com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e circulação de ar e água.

A cobertura vegetal com pastagem é citada por Inácio (2007) como uma forma de atenuar os efeitos erosivos da chuva em solos descobertos. O autor encontrou perdas de solo 11 vezes maiores em solos descobertos do que em cobertura de capim colônio sob mesma declividade e solo arenoso no sul da Bahia.

Fiorese (2020) classifica as pastagens como cobertura de solo mais eficiente do que o café em relação à erosão. Diz que as pastagens provocam menor perda de solo que o café. A cafeicultura e as pastagens são indicadas para locais de uso restrito. Declividades entre 25 e 45°.

A relação entre a estrutura do solo das pastagens e a capacidade de armazenamento de água passa pela análise do histórico de cobertura vegetal na área, do manejo agrícola realizado e da carga animal, assim como da existência de sistema de rotação de pastagens, como por exemplo o sistema Voisin. As pastagens em geral são classificadas como cobertura de solo que possuem boa estrutura de solo.

Os resultados que indicam a semelhança do SAF com a área de pastagem, mesmo apresentando valores inferiores à área florestal, nesse sentido podem indicar mesmo assim, boa estrutura de solo e boa capacidade de armazenamento de água, porque o SAF está sendo comparados com dois sistemas conservativos, a floresta natural e a pastagem perene.

Campanha *et al.* (2007) analisaram diferenças entre o teor de umidade médio no mês de setembro, período de início das chuvas, em latossolo coberto por SAF com café e por café em monocultivo em Viçosa MG. Observaram que na camada de 20-40 cm o teor de umidade médio da área de SAF foi significativamente maior que o da área de monocultivo.

Souza (2019) comparou diferentes sistemas com árvores e obteve os maiores valores de umidade do solo em área de integração lavoura pecuária floresta com três linhas de eucalipto espaçados de 2 m intercalados com faixas de 17 a 21 m de pastagem. As áreas de bosque de eucalipto e de integração lavoura pasto foram os sistemas com menores valores de

umidade do solo. Entre as profundidades de uma mesma cobertura de solo, a autora só encontrou diferença significativa entre as camadas de 5-10 cm e de 10 a 20 cm, quando o solo era coberto por uma linha de eucalipto e faixas de 17 a 21 m de pasto, a umidade do solo foi maior na profundidade de 10 a 20 cm.

A autora buscando explicações para o solo mais seco no bosque de eucalipto levantou a possibilidade de que o eucalipto possua maior drenagem profunda e menor cobertura vegetal do solo, provocando também maior taxa de evaporação na camada superficial do solo.

4.3.4 Análise do efeito das precipitações na umidade do solo

Para observar o comportamento das chuvas e avaliar visualmente o comportamento da umidade do solo nas áreas o período de chuvas foi dividido em duas partes.

O comportamento da umidade do solo no SAF durante o período de 31/10/21 a 22/11/21, período que teve dois picos com chuvas de alta pluviosidade apresentado nas Figuras 18, Figura 19 e Figura 20 e o período do dia 22/11/2021 a 02/02/2022, que apresentou um pico de precipitações torrenciais e 2 de elevadas precipitações nas Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

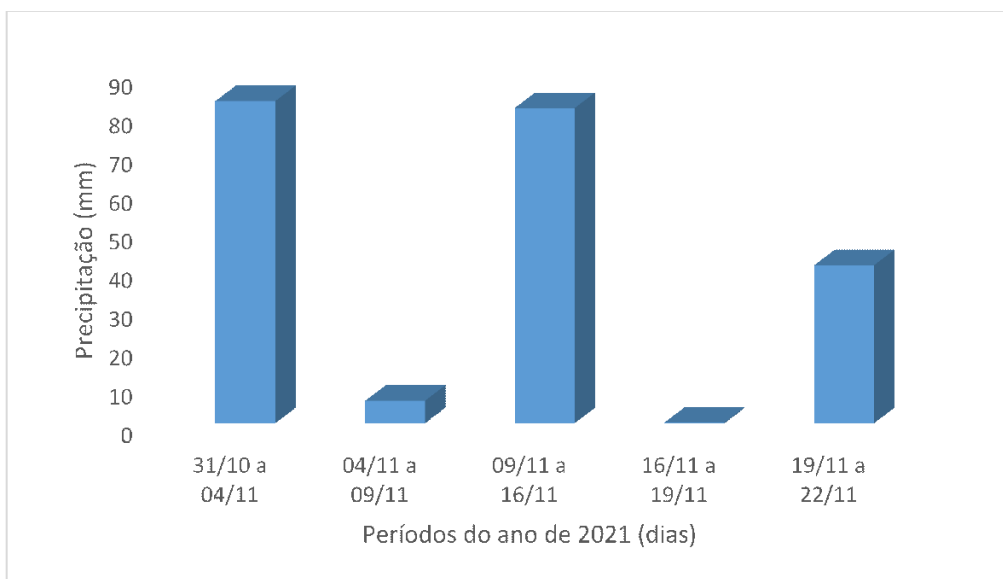


Figura 18. Precipitação obtida pela Estação Meteorológica Florestal A535 do INMET, no período de 31 de outubro a 22 de novembro de 2021, em Florestal, MG.

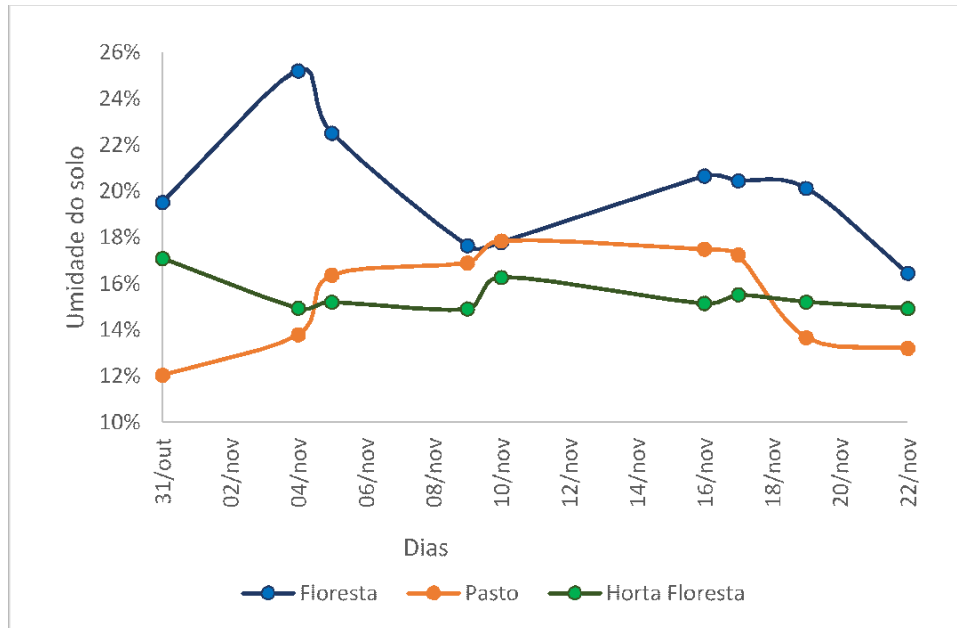


Figura 19. Umidade do solo na profundidade de 0-15 cm, no período de 31 de outubro a 22 de novembro de 2021 para coberturas do solo com Fragmento Florestal, Pastagem e SAF Horta Floresta, em Florestal, MG.

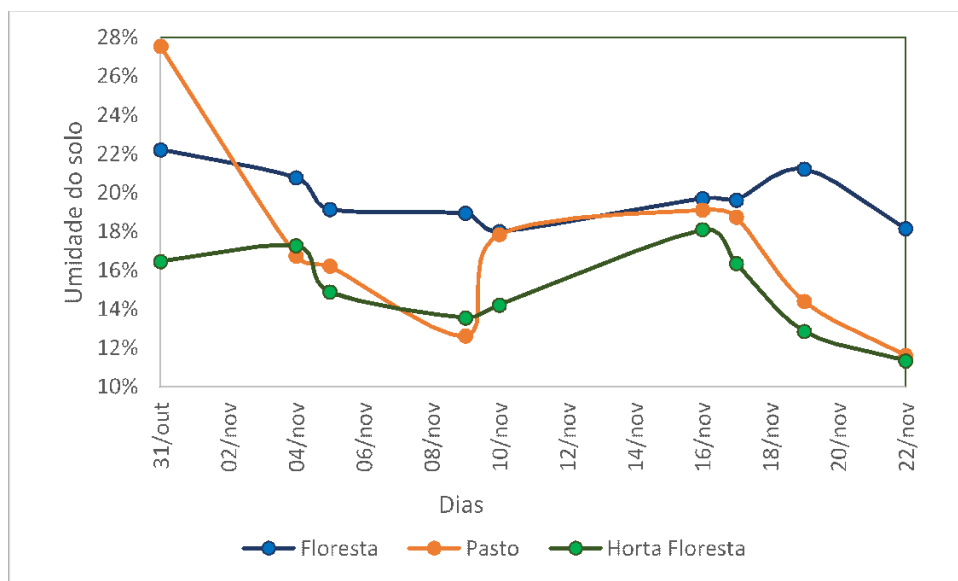


Figura 20. Umidade do solo na profundidade de 15-30 cm, no período de 31 de outubro a 22 de novembro de 2021 para coberturas do solo com Fragmento Florestal, Pastagem e SAF Horta Floresta, em Florestal, MG.

É possível observar pelas Figura 18 e 19 que enquanto no fragmento florestal foi possível notar a rápida influência da precipitação na umidade do solo, no pasto a umidade do solo foi aumentando mais lentamente e no SAF a umidade do solo se manteve estável durante o período e é sutil evidenciar influência das grandes precipitações.

Observa-se ainda nas Figuras 18 e 19 uma rápida secagem do solo no pasto depois do dia 16 de novembro de 2021, quando as chuvas não foram suficientes para elevar de forma

significativa a umidade no solo. Um outro aspecto importante de ser mencionado é a maior amplitude na variação da umidade do solo na área com pastagem na camada de 15-30 cm. A Figura 20 evidencia como o pasto perde umidade rapidamente e também como ganha umidade do solo imediatamente após as chuvas.

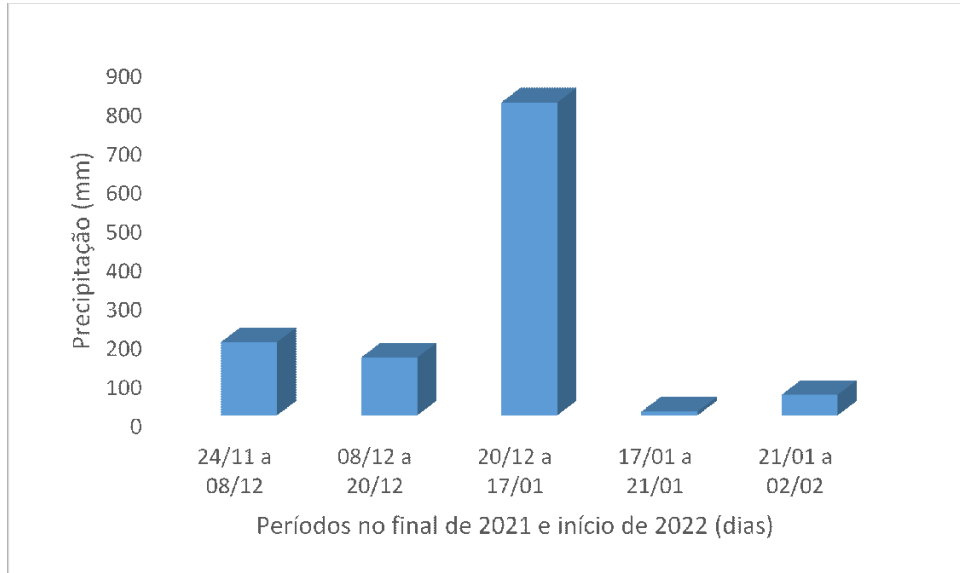


Figura 21. Precipitação obtida pela Estação Meteorológica Florestal A535, no período de 24 de novembro de 2021 a 02 de fevereiro de 2022, em Florestal, MG.

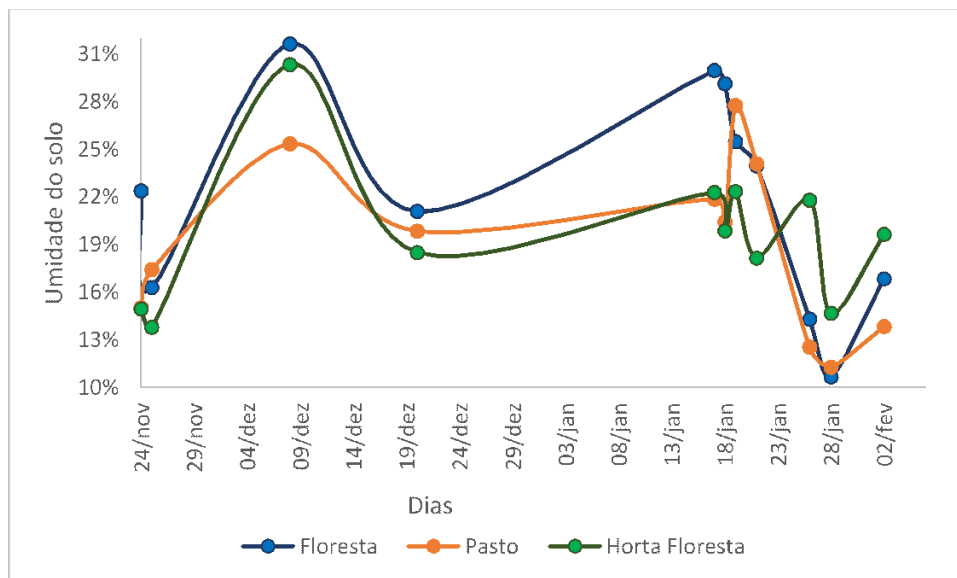


Figura 22. Umidade do solo na profundidade de 0-15 cm, no período de 24 de novembro de 2021 a 02 de fevereiro de 2022, para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

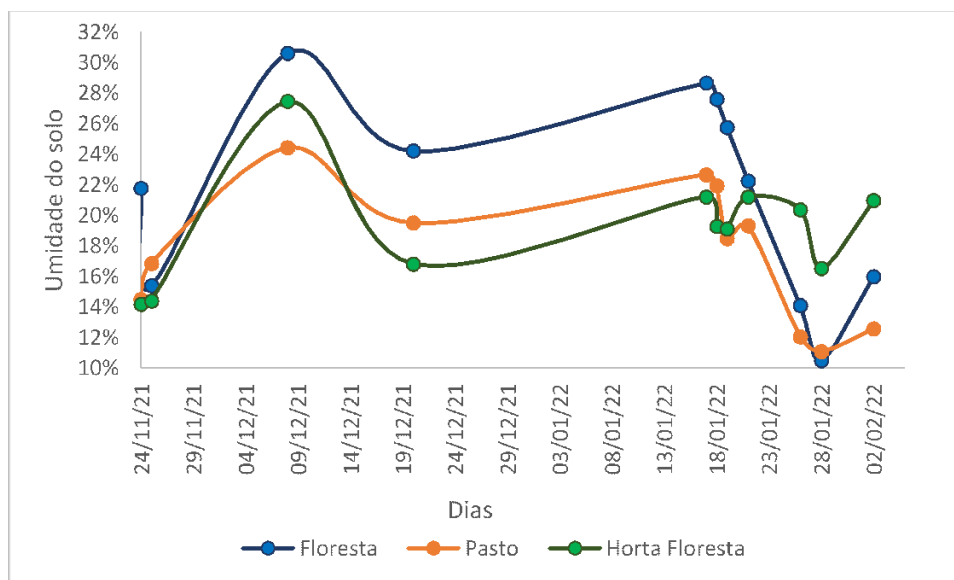


Figura 23. Umidade do solo na profundidade de 15-30 cm, no período de 24 de novembro de 2021 a 02 de fevereiro de 2022, para coberturas do solo com fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta, em Florestal, MG.

Nesse segundo período analisado (Figuras 21, 22 e 23) nota-se que, tanto na camada de 0-15 cm como na camada 15-30 cm, os cenários apresentaram variação semelhante do dia 24 de novembro de 2021 a 18 de janeiro de 2022. Do dia 18 de janeiro de 2021 a 23 de janeiro de 2022, a umidade no pasto superou o SAF e a floresta na camada de 0-15 cm. Do dia 26 de janeiro em diante, o SAF apresentou o maior teor de umidade entre as áreas nas duas camadas (0-15 cm e 15-30 cm). As expressivas lâminas de precipitações nesse período mantiveram a umidade do solo em valores altos (acima de 16%) nas três condições, como resposta às chuvas do dia 28 de novembro de 2021 ao dia 17 de janeiro de 2022.

4.3.5 Discussão sobre a variação da umidade do solo nos dois períodos analisados (chuvoso e seco)

Para analisar a umidade do solo no presente estudo, no Sítio das Mangueiras em Florestal, foram elaborados gráficos com o comportamento da umidade do solo para as condições do experimento. Como não foi possível determinar a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente de modo experimental, os valores foram assumidos pela revisão de literatura. Foram assumidas a umidade base seca de 25% para a Capacidade de Campo e 10% para o ponto de murcha permanente.

A umidade de solo considerada como referência para a capacidade de campo foi obtida pela análise dos valores do artigo de Dardengo *et al.* (2005), que trabalharam com solo classificado como argissolo vermelho amarelo e encontraram médias de capacidade de campo de 20 a 28%. A umidade no ponto de murcha permanente foi estimada em 10%, adotada como referência depois de análise dos artigos de Dutra Junior *et al.* (2013) e de Silva *et al.* (2005), ambos trabalharam com solos classificados como argissolos.

No período chuvoso, a umidade do solo acompanhou a variação das precipitações de grandes magnitudes. A camada de solo mais profundo teve comportamento semelhante à camada mais superficial. Carvalho (2011) afirmou que a presença de plantas espontâneas e a presença de árvores teve efeitos semelhantes no comportamento da evaporação e transpiração da água nos sistemas de cultivo de café que estudou em período chuvoso. Por isso, a

disponibilidade de água em café em SAF foi semelhante à observada em sistemas de café a pleno sol nessas condições.

Os resultados do presente estudo diferem do autor, pois as áreas são diferentes. No Sítio das Mangueiras, o SAF teve efeito da presença de plantas espontâneas e da farta cobertura do solo com camada de palhas e adubação orgânica. O efeito das espontâneas promove altas taxas de transpiração e o da cobertura de material orgânico diminui a evaporação do solo por protegê-lo da radiação intensa. No fragmento florestal, as condições de radiação e de temperatura são diferentes. A cobertura e proteção do solo é realizada pelas copas das árvores principalmente e não existia a mesma quantidade de plantas rasteiras que o SAF ou o pasto por limitação de radiação solar pelo dossel. No fragmento florestal foi observada camada fina de serapilheira, cobertura por folhas e galhos e o solo possuía visivelmente cor e aspecto de maior teor de MO mineralizada e provavelmente maior capacidade de retenção de água que os demais cenários.

Montenegro *et al.* (2020), avaliando diferentes coberturas de solo com o objetivo de conservação de umidade, obtiveram maiores teores de umidade em solo com cobertura morta. A cobertura morta proporcionou maiores teores de umidade no solo que a vegetação rasteira nativa de caatinga na Bacia do Ipanema em Pernambuco. A cobertura morta quebra a capilaridade superficial do solo, já as plantas espontâneas, transpirando, perderam água para a atmosfera. Os autores avaliaram que a concentração da água na camada de 20 a 40 cm teve grande influência do alto teor de argila nessa porção do solo. O uso de palma forrageira como cobertura de solo teve bom desempenho também, com resultados médios significativamente iguais à cobertura morta.

Montenegro *et al.* (2020) utilizaram cobertura morta formada com casca de coco triturada. Citaram outros resultados e experiências, como o uso da palha de trigo seca, afirmando o amplo uso desse tipo de cobertura que a longo prazo pode melhorar as propriedades físicas e químicas do solo. A curto prazo tem o efeito de amortecer as gotas de chuva, diminuir a erosão, contribuir para a infiltração e quebrar a capilaridade do solo.

No presente estudo, no período de seca, na maior parte dos dias as áreas apresentaram umidade do solo que indicou situação de estresse hídrico. Ficou clara a maior amplitude na disponibilidade de água entre o fragmento florestal e as demais áreas. Nas áreas de pasto e SAF horta floresta a umidade do solo alcançou valores inferiores ao ponto de murcha permanente. Isso caracterizaria uma situação de morte das plantas e perda de uma lavoura para um eventual cultivo que explorasse apenas os 30 cm de solo no período. Na prática, o SAF estava em pousio para a realização do experimento e as outras áreas de produção de horta do sítio estavam sendo irrigadas para que mantivessem a produção. No caso do pasto, o pecuarista optou por diminuir a carga animal e complementar a alimentação do gado com silagem. As duas situações implicam em gastos extras e na perda de área produtiva em função da falta de água.

A camada mais superficial pode se comportar como proteção da camada mais profunda contra a radiação solar intensa, provocando a menor taxa de evaporação do solo na camada de 15 a 30 cm. No período de seca, o prolongamento da baixa umidade do ambiente exerce uma pressão maior sobre a secagem do solo. Ou seja, é como se no período de chuvas não desse tempo de secar a camada intermediária do solo porque mesmo nos dias de grande insolação a umidade do ar é alta. A pressão pela secagem alcança apenas a camada mais superficial do solo.

Alencar, Sedyama e Mantovani (2015), testando a influência dos parâmetros da equação de Penman Monteith na evapotranspiração real da cultura, observaram que o fator “saldo de radiação” é o que tem maior efeito sobre a evapotranspiração real dos cultivos. Portanto, no SAF horta floresta, a menor variação de umidade do solo entre as duas

profundidades de solo pode ter forte influência do saldo de radiação que alcança o solo. Nas chuvas, a presença frequente de nuvens interfere na radiação que alcança o solo.

Os resultados de umidade do pasto e do SAF horta floresta nas chuvas foram semelhantes. Carvalho (2011) também encontrou comportamento muito semelhante entre café com árvores e café a pleno sol quando analisado o solo de 0-40 cm.

No período úmido, a umidade indicou de forma tênue mais dias de estresse hídrico na camada superficial e no período seco, um maior estresse hídrico na camada mais profunda em todos os cenários.

Este comportamento é semelhante ao obtido por Carvalho (2011) que observou na camada superficial de 0 a 20 cm menor teor de água e valores de umidade menores no período de chuvas, no período de seca a situação se inverte e a camada superficial de 0 a 20 cm tem maiores teores de água que na camada de 20 a 40 cm.

O autor fez a consideração de que a amplitude das diferenças de umidade do solo entre as profundidades foi maior a partir do início de abril, período de transição entre o período de chuvas e o de estiagem. O início da estiagem teria provocado um crescimento de maior quantidade de raízes ativas na camada mais profunda do solo, servindo como fator de drenagem da água.

Montenegro *et al.* (2020) verificaram em seu experimento e outros trabalhos científicos que as práticas conservacionistas que protegem o solo da insolação direta promovem aumento da umidade do solo em maior escala que sistemas com solo descoberto após a ocorrência de chuvas. A matéria orgânica formada por cobertura morta e por plantas vivas aumenta a porosidade e a retenção de água no solo. A ponderação do autor é justamente sobre o período seco, afirmando que em áreas descobertas o selamento superficial contribui para evitar a saída de água do solo por evapotranspiração.

4.4 Teste de Infiltração de Água no Solo

No dia 04 de setembro de 2022 foram realizados testes de infiltração nas áreas das três coberturas diferentes (fragmento florestal, pastagem e SAF horta floresta) com o intuito de se analisar a taxa de infiltração, a infiltração acumulada e também uma estimativa aproximada da estabilização da taxa de infiltração da água (Figuras 24, 25 e 26). A umidade inicial do solo era de aproximadamente 10%.

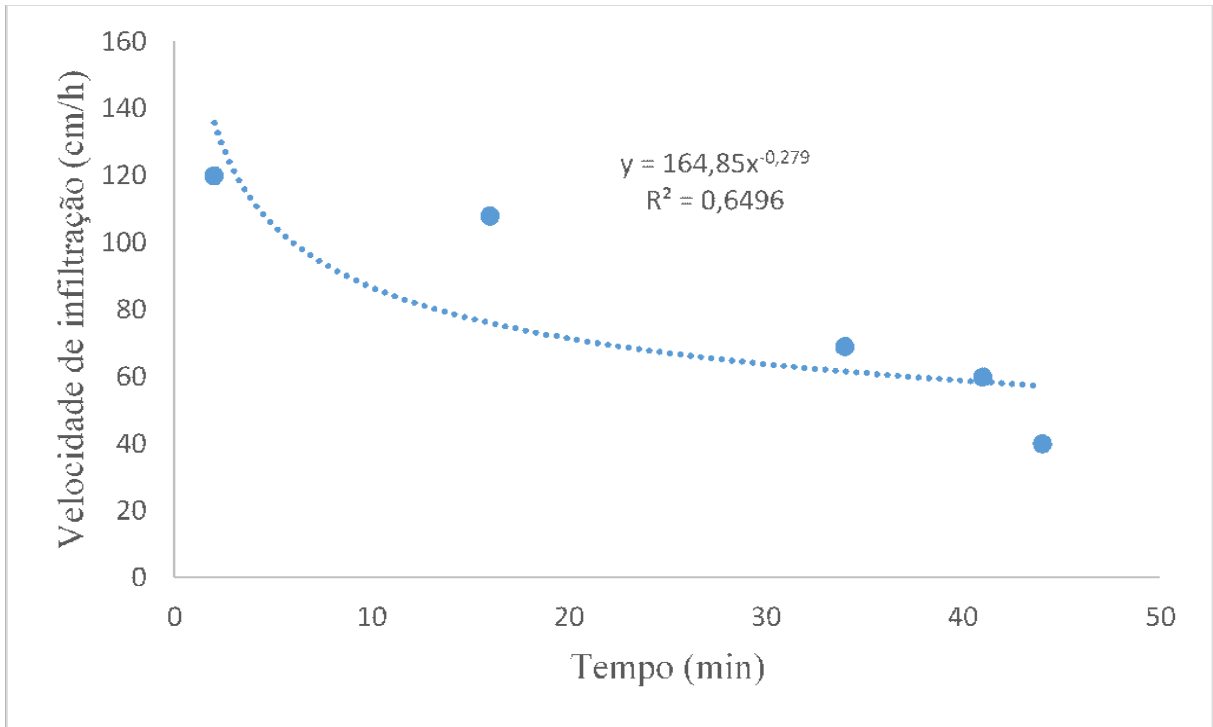


Figura 24. Variação da velocidade de infiltração da água no solo no fragmento florestal, em Florestal, MG.

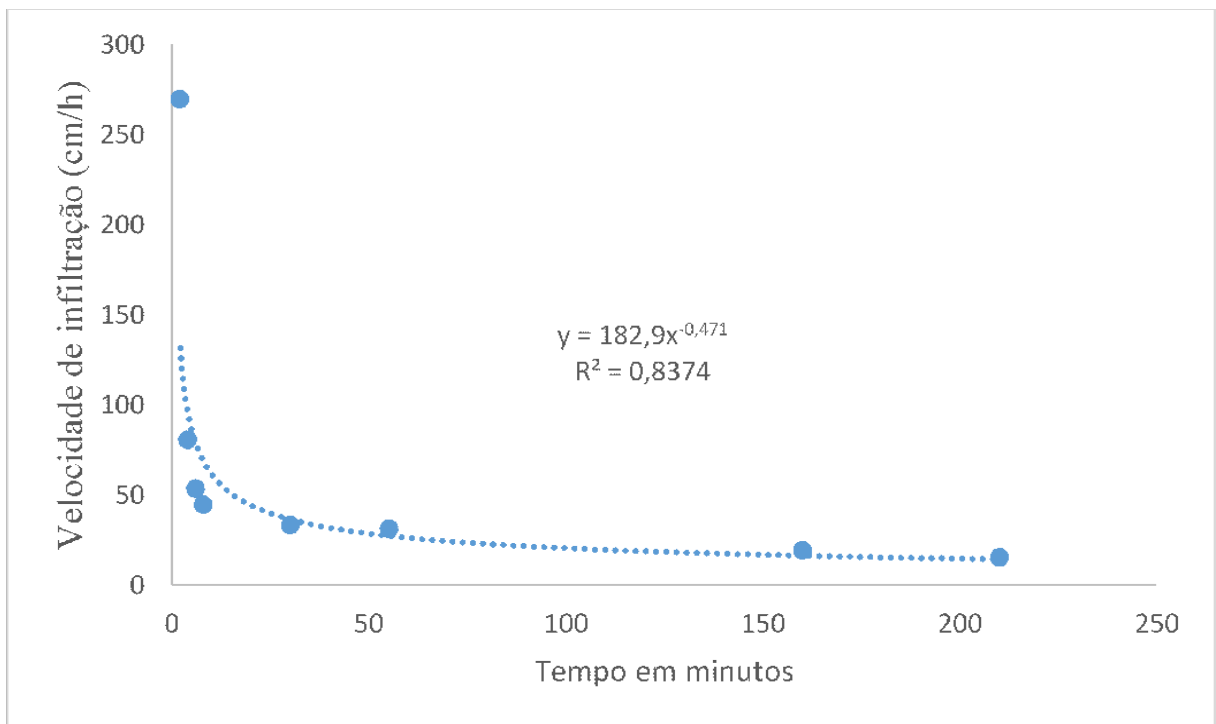


Figura 25. Variação da velocidade de infiltração da água no solo na pastagem, em Florestal, MG.

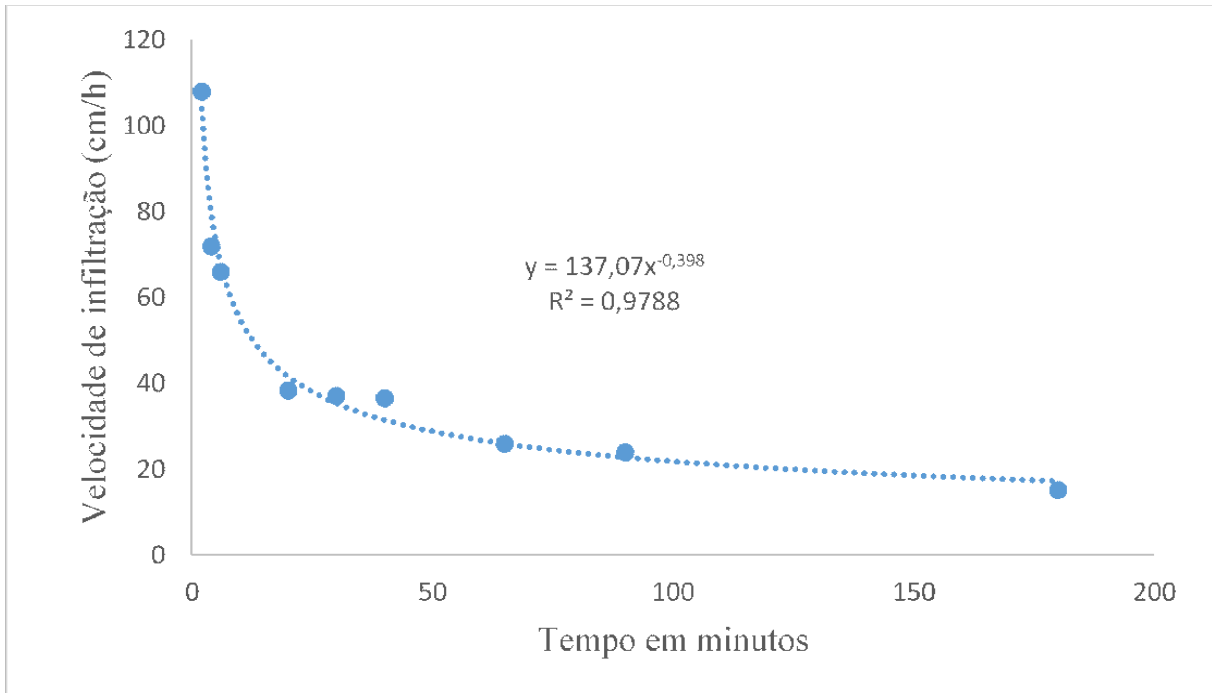


Figura 26. Variação da velocidade de infiltração da água no solo no SAF horta, em Florestal, MG.

Verifica-se que nas Figuras acima que não foi possível atingir a taxa de infiltração estável (velocidade de infiltração básica) nos três testes realizados, porém pode-se verificar que pelo decaimento das três curvas de infiltração, estima-se que a taxa de infiltração estável para o solo do fragmento florestal é bem superior aos demais (mesmo que o teste nessa área tenha sido interrompido antes por limitações operacionais: distância de fonte de água e difícil acesso).

Esse fato corrobora com as análises de variação de umidade do solo, que apresentam valores maiores na maior parte do período analisado, uma vez que a infiltração foi maior, tem-se que houve uma maior entrada de água no perfil do solo.

No fragmento florestal a taxa de infiltração foi baixando lentamente até 40 cm/h após o tempo de 40 minutos, enquanto na área do SAF, foi observado o mesmo valor de infiltração (40 cm/h) depois de 20 minutos do teste. A área de pastagem foi o cenário com as menores taxas de infiltração e com uma queda brusca da taxa de infiltração nos primeiros 10 minutos de teste, indicando que existe algum impedimento ao fluxo vertical da água que poderia ser explicado pela compactação do solo causada pelo pisoteio animal intensivo. Zwirtes *et al.* (2013) compararam a infiltração em áreas de mata nativa, plantio direto e pastagem e observando a menor infiltração na área de pasto, também atribuíram o resultado ao encrostamento superficial causado pelo pisoteio do gado.

É interessante que o sistema horta floresta apresentou altas taxas de infiltração, comportamento que indicou que o SAF teria uma boa resposta à capacidade de lidar com chuvas intensas em relação ao efeito da erosão de solo causado por escoamento superficial.

A curva de infiltração do fragmento florestal foi a que teve inclinação mais suave, indicando que existe estrutura de solo que garante um fluxo ordenado de entrada da água.

4.5 Temperatura e Umidade Relativa do Ar ao Nível do Solo (Período Chuvoso)

Os resultados das comparações das médias de temperatura e umidade relativa do ar estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6. Comparação das médias de temperatura e umidade relativa do ar pelo teste Tukey.

| Temperatura e umidade do ar medida nas áreas | | |
|---|------------------|---------|
| | Temperatura (°C) | UR (%) |
| Fragmento Florestal | 27,5 a | 62,7 a |
| Pastagem | 32,8 b | 49,1 b |
| SAF Horta Floresta | 31,1 b | 55,1 ab |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Para a temperatura do ar, as áreas que foram diferentes significativamente pelo teste Tukey foram a floresta com o pasto e a floresta com o SAF horta floresta. A umidade relativa do ar na área de fragmento florestal foi diferente à obtida na área de pastagem e as áreas de SAF horta floresta e pastagem não foram significativamente diferentes.

Wanderley e Miguel (2019) também encontraram diferenças significativas quando compararam dados de temperatura e umidade relativa do ar entre áreas de floresta conservada e áreas de floresta degradadas. O resultado se assemelha à comparação no presente estudo, entre fragmento florestal e pastagem. Áreas sem cobertura arbórea tendem a se tornar mais quentes e secas.

No SAF horta floresta, apesar de conter linhas de árvores entre as aléias de horta, estas não foram suficientes para proporcionar temperatura mais amena em relação à pastagem. O resultado destoa de Carvalho (2011), que registrou em sua pesquisa tendência de obtenção de temperaturas do ar sempre menores em sistemas de cultivo de café com SAF em comparação com sistemas de café a pleno sol na Serra do Brigadeiro em Minas Gerais.

Apesar disso, em relação à umidade relativa do ar, houve semelhança do SAF com o fragmento florestal e diferença com o pasto. É possível presumir que existe uma maior manutenção do ar úmido na área de horta floresta e que este efeito provavelmente se deve à presença de árvores no sistema.

A seguir apresenta-se a variação da umidade relativa do ar na Figura 27 e a temperatura do ar na Figura 28, medidas no interior das três áreas analisadas numa altura de 1,5 m acima do solo, para 16 dias aleatórios (entre setembro de 2021 e fevereiro de 2022).

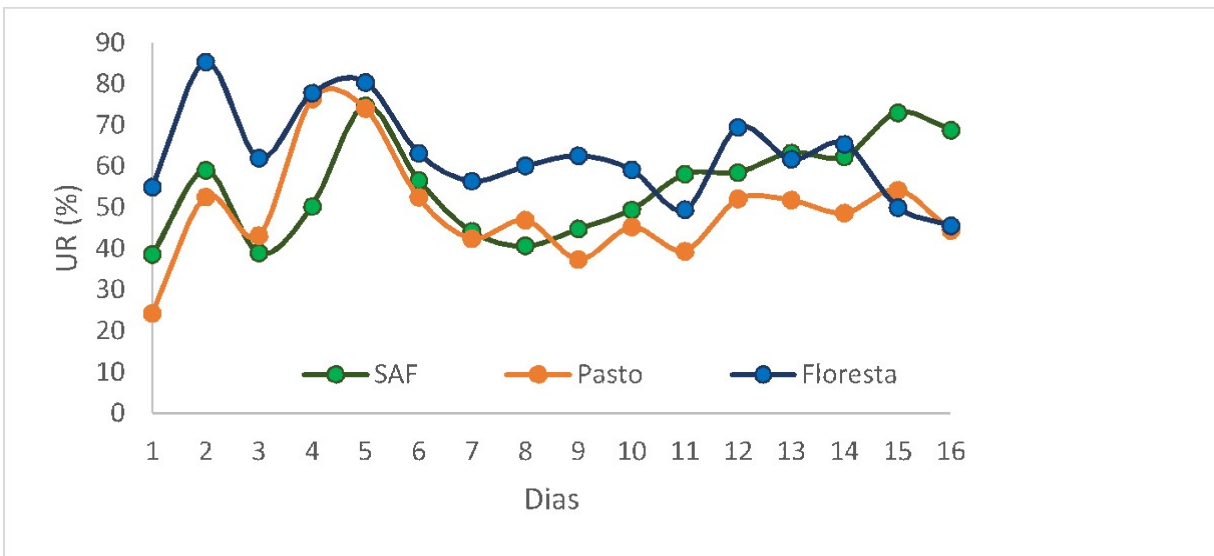


Figura 27. Variação da umidade relativa do ar, durante 16 dias entre setembro de 2021 e fevereiro de 2022, em Florestal, MG.

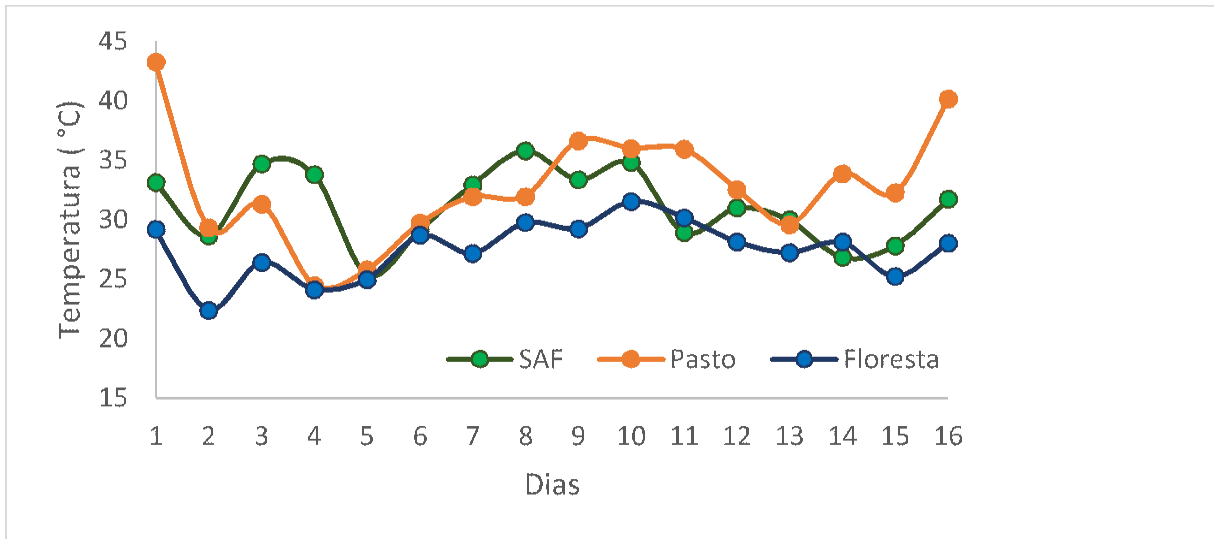


Figura 28. Variação da temperatura do ar, durante 16 dias entre setembro de 2021 e fevereiro de 2022, em Florestal, MG.

Verifica-se nas Figuras acima que a umidade relativa foi maior e a temperatura foi menor na maior parte do período analisado na área com fragmento florestal, em contrapartida o inverso foi verificado na área com pastagem. Essa diferença indica um microclima favorável a maior conservação de água no fragmento florestal, já que a demanda por água na atmosfera é menor; e que a demanda atmosférica por vapor de água na área com pastagem é maior, proporcionando tendência maior de transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera.

4.6 Balanço Hídrico

4.6.1 Balanço hídrico utilizando os dados da Estação Meteorológica de Florestal

Pelo método de manejo de irrigação, considerando o comportamento hídrico do sistema agrícola, foram construídas as Tabelas 7 e 8 que consideram o monitoramento da deficiência hídrica no solo para o período chuvoso e para o período seco. A Tabela 7 considera o comportamento hídrico estimado pelos dados da estação meteorológica Florestal A535 para o período de chuvas. Foi feita a escolha de utilizar a ET_0 como a calculada pela equação de Penman Monteith FAO 56 (ALLEN *et al.* 1998) e considerar o saldo de radiação como a radiação total incidente (desprezando a radiação refletida pelo solo). A proposta foi construir as Tabelas de comportamento de água para os dois períodos de coletas de umidade do solo e o ajuste fino da quantidade de água a ser utilizada para irrigação (cultura hipotética: feijão) foi ajustado pelo K_s (coeficiente que considera a umidade de água no solo medida em campo) (BERNARDO *et al.*, 2006).

Tabela 7. Balanço hídrico para manejo de irrigação na época de chuvas considerando apenas os dados meteorológicos da estação Florestal.

| Data | Dia | Et0PMF (mm) | P (mm) | AD (mm) | AFD (mm) | DEP ini (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Perdas (mm) |
|------------------------|-----|----------------|--------|------------|-------------|-----------------|----|-----|-------------|----------------|
| 31/out | 1 | 1 | 1 | 54 | 32,4 | | 1 | 0,6 | 0,6 | 0,4 |
| 04/nov | 2 | 21,04 | 87,4 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 12,63 | 74,77 |
| 05/nov | 3 | 6,19 | 0 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 3,71 | 0 |
| 09/nov | 4 | 29,99 | 15,8 | 54 | 32,4 | 3,71 | 1 | 0,6 | 17,99 | 0 |
| 10/nov | 5 | 5,73 | 0 | 54 | 32,4 | 5,91 | 1 | 0,6 | 3,44 | 0 |
| 16/nov | 6 | 28,15 | 71,2 | 54 | 32,4 | 9,34 | 1 | 0,6 | 16,89 | 44,97 |
| 17/nov | 7 | 6,4 | 0 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 3,84 | 0 |
| 19/nov | 8 | 8,29 | 12,8 | 54 | 32,4 | 3,84 | 1 | 0,6 | 4,97 | 3,99 |
| 22/nov | 9 | 13,06 | 28,4 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 7,83 | 20,57 |
| 24/nov | 10 | 14,38 | 0,2 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 8,63 | 0 |
| 25/nov | 11 | 7,91 | 0 | 54 | 32,4 | 8,43 | 1 | 0,6 | 4,75 | 0 |
| 08/dez | 12 | 60,9 | 216,4 | 54 | 32,4 | 13,17 | 1 | 0,6 | 36,54 | 166,69 |
| 20/dez | 13 | 58,42 | 120,2 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 35,05 | 85,15 |
| 17/jan | 14 | 128,82 | 807,8 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 77,29 | 730,51 |
| 18/jan | 15 | 6,36 | 5,4 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 3,82 | 1,58 |
| 19/jan | 16 | 7,84 | 0,2 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 4,7 | 0 |
| 21/jan | 17 | 12,97 | 0 | 54 | 32,4 | 4,5 | 1 | 0,6 | 7,78 | 0 |
| 26/jan | 18 | 37,64 | 0,4 | 54 | 32,4 | 12,28 | 1 | 0,6 | 22,58 | 0 |
| 28/jan | 19 | 14,91 | 0 | 54 | 32,4 | 0 | 1 | 0,6 | 8,95 | 0 |
| 02/fev | 20 | 23,78 | 52,6 | 54 | 32,4 | 8,95 | 1 | 0,6 | 14,27 | 29,38 |
| Irrigação total: 34,47 | | | | | | | | | | |

Et0PMF: Evapotranspiração potencial no período; P: Precipitação; AD: Água disponível no solo; AFD: Água Facilmente disponível no solo; DEP ini: Depleção de água no solo no início do dia; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração da cultura; Dep fim: Depleção de água no solo ao final do dia.

Analisando a Tabela 7, considerando uma cultura hipotética de feijão, seria necessária uma única irrigação de 34,47 mm no dia 26 de janeiro de 2022. Isso nas condições gerais dos dados meteorológicos da estação chuvosa. Como a cultura parâmetro de simulação do cultivo irrigado é o feijão de ciclo curto (90 dias) e a estimativa indicou uma irrigação no final do ciclo, seria possível até mesmo dispensar essa lâmina de irrigação dependendo do estado de maturação das vagens.

Do mesmo modo, a Tabela 8 apresenta o comportamento hídrico para as condições da época de seca do experimento. Na seca, seriam necessários 5 eventos de irrigação (lâminas de irrigação em negrito). A irrigação necessária nesse estudo foi determinada nos dias que a depleção de água foi superior a lâmina de 32 mm (o que corresponde ao total de água facilmente disponível no solo).

Tabela 8. Comportamento hídrico para manejo de irrigação na época de seca considerando apenas os dados meteorológicos da estação Florestal.

| Data | dia | Et0PMF (mm) | P(mm) | AD (mm) | AFD (mm) | DEP ini (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | DEPfim (mm) | Irrigação (mm) | Perdas (mm) |
|--------|-----|----------------|-------|------------|-------------|-----------------|----|-----|-------------|----------------|-------------------|----------------|
| 26/mai | 1 | 4,529 | 0 | 54 | 32 | | 1 | 0,6 | 2,72 | 2,72 | 0 | 0 |
| 30/mai | 2 | 17,33 | 0,2 | 54 | 32 | 2,72 | 1 | 0,6 | 10,4 | 12,92 | 0 | 0 |
| 01/jun | 3 | 9,33 | 0,2 | 54 | 32 | 12,92 | 1 | 0,6 | 5,6 | 18,31 | 0 | 0 |
| 11/jun | 4 | 41,18 | 0,4 | 54 | 32 | 18,31 | 1 | 0,6 | 24,71 | 42,62 | 42,62 | 0 |
| 12/jun | 5 | 3,21 | 0 | 54 | 32 | 0 | 1 | 0,6 | 1,93 | 1,93 | 0 | 0 |
| 22/jun | 6 | 42,38 | 1,4 | 54 | 32 | 1,93 | 1 | 0,6 | 25,43 | 25,95 | 0 | 0 |
| 27/jun | 7 | 22,37 | 0,4 | 54 | 32 | 25,95 | 1 | 0,6 | 13,42 | 38,98 | 38,98 | 0 |
| 29/jun | 8 | 8,38 | 0 | 54 | 32 | 0 | 1 | 0,6 | 5,03 | 5,03 | 0 | 0 |
| 06/jul | 9 | 31,25 | 0,6 | 54 | 32 | 5,03 | 1 | 0,6 | 18,75 | 23,18 | 0 | 0 |
| 07/jul | 10 | 4,11 | 0 | 54 | 32 | 23,18 | 1 | 0,6 | 2,47 | 25,64 | 0 | 0 |
| 11/jul | 11 | 17,35 | 0,2 | 54 | 32 | 25,64 | 1 | 0,6 | 10,41 | 35,85 | 35,85 | 0 |
| 14/jul | 12 | 12,96 | 0,2 | 54 | 32 | 0 | 1 | 0,6 | 7,77 | 7,57 | 0 | 0 |
| 01/ago | 13 | 86,42 | 0,6 | 54 | 32 | 7,57 | 1 | 0,6 | 51,85 | 58,83 | 54 | 0 |
| 03/ago | 14 | 9,08 | 0 | 54 | 32 | 4,83 | 1 | 0,6 | 5,45 | 10,28 | 0 | 0 |
| 10/ago | 15 | 30,813 | 0,2 | 54 | 32 | 10,28 | 1 | 0,6 | 18,49 | 28,56 | 0 | 0 |
| 11/ago | 16 | 5,18 | 0 | 54 | 32 | 28,56 | 1 | 0,6 | 3,11 | 31,67 | 0 | 0 |
| 17/ago | 17 | 35,22 | 0 | 54 | 32 | 31,67 | 1 | 0,6 | 21,13 | 52,8 | 52,8 | 0 |
| 18/ago | 18 | 6,37 | 0 | 54 | 32 | 0 | 1 | 0,6 | 3,82 | 3,82 | 0 | 0 |
| 23/ago | 19 | 27,19 | 0 | 54 | 32 | 3,82 | 1 | 0,6 | 16,31 | 20,14 | 0 | 0 |
| 25/ago | 20 | 10,75 | 0 | 54 | 32 | 20,14 | 1 | 0,6 | 6,45 | 26,58 | 0 | 0 |

Irrigação total: 224,25

Et0PMF: Evapotranspiração potencial no período; P: Precipitação; AD: Água disponível no solo; AFD: Água Facilmente disponível no solo; DEP ini: Depleção de água no solo no início do dia; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração da cultura; Dep fim: Depleção de água no solo ao final do dia.

Considerando as umidades do solo encontradas em campo, foi possível construir as próximas tabelas, que levam em conta a umidade do solo no comportamento hídrico para cada situação.

4.6.2 Comportamento hídrico nas áreas considerando a umidade do solo no período de chuvas

Quando foram consideradas as umidades de água no solo medidas em campo, a abordagem do manejo de irrigação muda e o que se pretende saber não é mais o quanto irrigar em quais dias, mas sim saber o quanto de água que ficou faltando em cada dia. Como o que se sabia era o quanto de água que tinha no solo, agora o déficit de água para chegar no ponto de água facilmente disponível em cada dia foi o que importou.

Desse modo, a coluna de deficiência hídrica foi calculada em relação ao valor de 32,4 mm e em cada dia considerando a chuva registrada no dia e a evapotranspiração real ajustada pelo K_s .

As Tabelas numeradas de 9 a 11 se referem ao comportamento hídrico realizado no período de chuvas no pasto, SAF e fragmento florestal, respectivamente.

Tabela 9. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de pastagem na época de chuvas.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Etr (mm) | def Hídrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|-------------|------------------------|
| 31/out | 1 | 2,82 | 1 | 28% | | | | | | | | |
| 04/nov | 2 | 6,31 | 0,2 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 3,78 | 3,08 | 10,08 |
| 05/nov | 3 | 6,19 | 0 | 16% | 21,6 | 54 | 32,4 | 0,78 | 0,6 | 3,71 | 2,89 | 13,69 |
| 09/nov | 4 | 5,71 | 10,2 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 3,43 | 2,11 | 13,51 |
| 10/nov | 5 | 5,73 | 0 | 18% | 28,8 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 3,44 | 2,91 | 6,51 |
| 16/nov | 6 | 6,6 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,96 | 3,47 | 3,47 |
| 17/nov | 7 | 6,4 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,84 | 3,36 | 3,36 |
| 19/nov | 8 | 3,87 | 12,6 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 2,32 | 1,59 | 6,99 |
| 22/nov | 9 | 7,07 | 0,2 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 4,24 | 2,23 | 27,23 |
| 24/nov | 10 | 6,43 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,86 | 2,63 | 20,63 |
| 25/nov | 11 | 7,91 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 4,75 | 3,87 | 11,07 |
| 08/dez | 12 | 1,96 | 28,2 | 24% | 50,4 | 54 | 32,4 | 0,98 | 0,6 | 1,18 | 1,16 | 0 |
| 20/dez | 13 | 5,2 | 0 | 20% | 36 | 54 | 32,4 | 0,9 | 0,6 | 3,12 | 2,81 | 0 |
| 17/jan | 14 | 6,67 | 4 | 23% | 46,8 | 54 | 32,4 | 0,96 | 0,6 | 4 | 3,86 | 0 |
| 18/jan | 15 | 6,36 | 5,4 | 22% | 43,2 | 54 | 32,4 | 0,95 | 0,6 | 3,82 | 3,61 | 0 |
| 19/jan | 16 | 7,84 | 0,2 | 18% | 28,8 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 4,7 | 3,98 | 7,38 |
| 21/jan | 17 | 6,28 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,77 | 3,3 | 3,3 |
| 26/jan | 18 | 8,09 | 0 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 4,85 | 2,55 | 27,75 |
| 28/jan | 19 | 7,3 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 4,38 | 1,67 | 30,47 |
| 02/fev | 20 | 5,49 | 0,2 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 3,29 | 2,03 | 23,43 |
| Média: 10,44 | | | | | | | | | | | | |
| Déficit total: 209 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etr: Evapotranspiração real cultura.

Considerando as umidades de solo obtidas pela medição em campo no pasto, o déficit hídrico indica que essa condição de cobertura de solo demandaria uma reposição de água por mais do que um só evento de irrigação. Isso demonstra que utilizando a simulação anterior proposta (sem levar em conta a umidade real do solo no período) haveria o risco de se subestimar a necessidade de uso de água para a produção de feijão no período. O resultado aponta que a umidade do solo na pastagem não seguiu o padrão esperado pelo manejo de irrigação proposto e foi uma cobertura de solo que apresentou menor capacidade de conservação de água do que o esperado pela estimativa do comportamento hídrico com os dados da estação Florestal A535.

Tabela 10. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de SAF na época de chuvas.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Eter (mm) | def Hidrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|--------------|---------------------|
| 31/out | 1 | 2,82 | 1 | 16% | | | | | | | | |
| 04/nov | 2 | 6,31 | 0,2 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 3,78 | 3,08 | 10,08 |
| 05/nov | 3 | 6,19 | 0 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 3,71 | 2,73 | 17,13 |
| 09/nov | 4 | 5,71 | 10,2 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,43 | 2,34 | 10,14 |
| 10/nov | 5 | 5,73 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,44 | 2,34 | 20,34 |
| 16/nov | 6 | 6,60 | 0 | 18% | 28,8 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 3,96 | 3,36 | 6,96 |
| 17/nov | 7 | 6,40 | 0 | 16% | 21,6 | 54 | 32,4 | 0,78 | 0,6 | 3,84 | 2,99 | 13,79 |
| 19/nov | 8 | 3,87 | 12,6 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 2,32 | 1,43 | 10,43 |
| 22/nov | 9 | 7,07 | 0,2 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 4,24 | 1,62 | 30,22 |
| 24/nov | 10 | 6,43 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,86 | 2,63 | 20,63 |
| 25/nov | 11 | 7,91 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 4,75 | 3,24 | 21,24 |
| 08/dez | 12 | 1,96 | 28,2 | 27% | 61,2 | 54 | 32,4 | 1,03 | 0,6 | 1,18 | 1,21 | 0,00 |
| 20/dez | 13 | 5,20 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 3,12 | 2,54 | 9,74 |
| 17/jan | 14 | 6,67 | 4 | 21% | 39,6 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 4,00 | 3,70 | 0,00 |
| 18/jan | 15 | 6,36 | 5,4 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,82 | 3,34 | -2,06 |
| 19/jan | 16 | 7,84 | 0,2 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 4,70 | 4,12 | 3,92 |
| 21/jan | 17 | 6,28 | 0 | 21% | 39,6 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 3,77 | 3,48 | 0,00 |
| 26/jan | 18 | 8,09 | 0 | 20% | 36 | 54 | 32,4 | 0,90 | 0,6 | 4,85 | 4,37 | 0,00 |
| 28/jan | 19 | 7,30 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 4,38 | 3,57 | 10,77 |
| 02/fev | 20 | 5,49 | 0,2 | 21% | 39,6 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 3,29 | 3,04 | 0,00 |
| Deficit Total: 185 | | | | | | | | | | | | |
| Média: 9,76 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etc: Evapotranspiração real cultura.

Tabela 11. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de fragmento florestal na época de chuvas.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Etr (mm) | def Hidrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|-------------|---------------------|
| 31/out | 1 | 2,82 | 1 | 22% | | | | | | | | |
| 04/nov | 2 | 6,31 | 0,2 | 21% | 40 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 3,78 | 3,50 | 0,00 |
| 05/nov | 3 | 6,19 | 0 | 19% | 32 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,71 | 3,25 | 3,25 |
| 09/nov | 4 | 5,71 | 10,2 | 19% | 32 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 3,43 | 3,00 | -7,20 |
| 10/nov | 5 | 5,73 | 0 | 18% | 29 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 3,44 | 2,91 | 6,51 |
| 16/nov | 6 | 6,60 | 0 | 20% | 36 | 54 | 32,4 | 0,90 | 0,6 | 3,96 | 3,57 | 0,00 |
| 17/nov | 7 | 6,40 | 0 | 20% | 36 | 54 | 32,4 | 0,90 | 0,6 | 3,84 | 3,46 | 0,00 |
| 19/nov | 8 | 3,87 | 12,6 | 21% | 40 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 2,32 | 2,15 | 0,00 |
| 22/nov | 9 | 7,07 | 0,2 | 18% | 29 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 4,24 | 3,59 | 6,99 |
| 24/nov | 10 | 6,43 | 0 | 22% | 43 | 54 | 32,4 | 0,95 | 0,6 | 3,86 | 3,65 | 0,00 |
| 25/nov | 11 | 7,91 | 0 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 4,75 | 3,49 | 17,89 |
| 08/dez | 12 | 1,96 | 28,2 | 31% | 76 | 54 | 32,4 | 1,08 | 0,6 | 1,18 | 1,28 | 0,00 |
| 20/dez | 13 | 5,20 | 0 | 24% | 50 | 54 | 32,4 | 0,98 | 0,6 | 3,12 | 3,06 | 0,00 |
| 17/jan | 14 | 6,67 | 4 | 29% | 68 | 54 | 32,4 | 1,06 | 0,6 | 4,00 | 4,24 | 0,00 |
| 18/jan | 15 | 6,36 | 5,4 | 28% | 65 | 54 | 32,4 | 1,04 | 0,6 | 3,82 | 3,99 | 0,00 |
| 19/jan | 16 | 7,84 | 0,2 | 26% | 58 | 54 | 32,4 | 1,02 | 0,6 | 4,70 | 4,78 | 0,00 |
| 21/jan | 17 | 6,28 | 0 | 22% | 43 | 54 | 32,4 | 0,95 | 0,6 | 3,77 | 3,56 | 0,00 |
| 26/jan | 18 | 8,09 | 0 | 14% | 14 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 4,85 | 3,31 | 21,31 |
| 28/jan | 19 | 7,30 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 4,38 | 1,67 | 30,47 |
| 02/fev | 20 | 5,49 | 0,2 | 16% | 22 | 54 | 32,4 | 0,78 | 0,6 | 3,29 | 2,56 | 13,16 |
| Deficit Total: 100 | | | | | | | | | | | | |
| Média: 5,24 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etr: Evapotranspiração real cultura.

Durante o período de chuvas, ao considerar a umidade do solo para ajuste do manejo de irrigação para as diferentes coberturas de solo, no fragmento florestal o déficit hídrico seria o menor das três áreas e a diferença entre a lâmina média sugere que a economia em irrigação poderia ser duas vezes maior que no pasto.

Para a pastagem e SAF horta floresta as deficiências médias de irrigação foram muito próximas sugerindo que o consumo de água seria próximo às duas áreas. A diferença entre os déficits médios foi apenas de 7% a mais na pastagem. Sendo esta, a área que demandaria maior lâmina total de irrigação considerando os dados obtidos em campo.

4.6.3 Comportamento hídrico nos cenários considerando a umidade do solo no período de seca

As Tabelas numeradas de 12 a 14 se referem ao comportamento hídrico realizado no período de seca no pasto, SAF e fragmento florestal, respectivamente.

Tabela 12. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de pastagem na época de seca.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Etr (mm) | def Hidrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|-------------|---------------------|
| 26/mai | 1 | 4,53 | 0 | 22% | 43,2 | 54 | 32,4 | 0,95 | 0,6 | 2,72 | 2,57 | 0,00 |
| 30/mai | 2 | 4,74 | 0 | 18% | 28,8 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 2,84 | 2,41 | 6,01 |
| 01/jun | 3 | 4,94 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 2,97 | 2,60 | 2,60 |
| 11/jun | 4 | 2,70 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 1,62 | 1,10 | 19,10 |
| 12/jun | 5 | 3,21 | 0 | 16% | 21,6 | 54 | 32,4 | 0,78 | 0,6 | 1,93 | 1,50 | 12,30 |
| 22/jun | 6 | 4,50 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,70 | 0,00 | 32,40 |
| 27/jun | 7 | 3,86 | 0,2 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 2,32 | 1,22 | 26,22 |
| 29/jun | 8 | 4,21 | 0 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 2,52 | 1,33 | 26,53 |
| 06/jul | 9 | 4,57 | 0,2 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,74 | 0,00 | 32,20 |
| 07/jul | 10 | 4,11 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 2,47 | 0,94 | 29,74 |
| 11/jul | 11 | 4,90 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,94 | 0,00 | 32,40 |
| 14/jul | 12 | 4,40 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,64 | 0,00 | 32,40 |
| 01/ago | 13 | 4,84 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,90 | 0,00 | 32,40 |
| 03/ago | 14 | 4,58 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,75 | 0,00 | 32,40 |
| 10/ago | 15 | 1,93 | 0,2 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 1,16 | 0,00 | 32,20 |
| 11/ago | 16 | 5,18 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,11 | 0,00 | 32,40 |
| 17/ago | 17 | 6,18 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 3,71 | 1,41 | 30,21 |
| 18/ago | 18 | 6,37 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,82 | 0,00 | 32,40 |
| 23/ago | 19 | 5,24 | 0 | 8% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,14 | 0,00 | 32,40 |
| 25/ago | 20 | 5,42 | 0 | 8% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,25 | 0,00 | 32,40 |
| Déficit Total: 509 | | | | | | | | | | | | |
| Média: 26,77 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etr: Evapotranspiração real cultura.

Tabela 13. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de SAF na época de seca.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Etr (mm) | def Hidrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|-------------|---------------------|
| 26/mai | 1 | 4,53 | 0 | 18% | 28,8 | 54 | 32,4 | 0,85 | 0,6 | 2,72 | 2,30 | 5,90 |
| 30/mai | 2 | 4,74 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 2,84 | 2,32 | 9,52 |
| 01/jun | 3 | 4,94 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 2,97 | 2,42 | 9,62 |
| 11/jun | 4 | 2,70 | 0 | 20% | 36 | 54 | 32,4 | 0,90 | 0,6 | 1,62 | 1,46 | 0,00 |
| 12/jun | 5 | 3,21 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 1,93 | 1,69 | 1,69 |
| 22/jun | 6 | 4,50 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,70 | 0,00 | 32,40 |
| 27/jun | 7 | 3,86 | 0,2 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 2,32 | 1,43 | 22,83 |
| 29/jun | 8 | 4,21 | 0 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 2,52 | 1,55 | 23,15 |
| 06/jul | 9 | 4,57 | 0,2 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,74 | 0,00 | 32,20 |
| 07/jul | 10 | 4,11 | 0 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 2,47 | 1,29 | 26,49 |
| 11/jul | 11 | 4,90 | 0 | 12% | 7,2 | 54 | 32,4 | 0,53 | 0,6 | 2,94 | 1,54 | 26,74 |
| 14/jul | 12 | 4,40 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 2,64 | 1,01 | 29,81 |
| 01/ago | 13 | 4,84 | 0 | 11% | 3,6 | 54 | 32,4 | 0,38 | 0,6 | 2,90 | 1,10 | 29,90 |
| 03/ago | 14 | 4,58 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 2,75 | 0,00 | 32,40 |
| 10/ago | 15 | 1,93 | 0,2 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 1,16 | 0,00 | 32,20 |
| 11/ago | 16 | 5,18 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,11 | 0,00 | 32,40 |
| 17/ago | 17 | 6,18 | 0 | 9% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,71 | 0,00 | 32,40 |
| 18/ago | 18 | 6,37 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,82 | 0,00 | 32,40 |
| 23/ago | 19 | 5,24 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,14 | 0,00 | 32,40 |
| 25/ago | 20 | 5,42 | 0 | 10% | 0 | 54 | 32,4 | 0,00 | 0,6 | 3,25 | 0,00 | 32,40 |
| Déficit Total: 471 | | | | | | | | | | | | |
| Média: 24,79 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etr: Evapotranspiração real cultura.

Tabela 14. Comportamento hídrico considerando a umidade do solo na área de fragmento florestal na época de seca.

| Data | Dia | Et0 (mm) | P (mm) | Us | LAA (mm) | CTA (mm) | CTAr (mm) | Ks | Kc | Etc (mm) | Etr (mm) | def Hídrica (mm) |
|--------------------|-----|-------------|-----------|-----|-------------|-------------|--------------|------|-----|-------------|-------------|---------------------|
| 26/mai | 1 | 4,53 | 0 | 25% | 54 | 54 | 32,4 | 1,00 | 0,6 | 2,72 | 2,72 | 0,00 |
| 30/mai | 2 | 4,74 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 2,84 | 2,32 | 9,52 |
| 01/jun | 3 | 4,94 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 2,97 | 2,42 | 9,62 |
| 11/jun | 4 | 2,70 | 0 | 21% | 39,6 | 54 | 32,4 | 0,92 | 0,6 | 1,62 | 1,50 | 0,00 |
| 12/jun | 5 | 3,21 | 0 | 23% | 46,8 | 54 | 32,4 | 0,96 | 0,6 | 1,93 | 1,86 | 0,00 |
| 22/jun | 6 | 4,50 | 0 | 13% | 10,8 | 54 | 32,4 | 0,62 | 0,6 | 2,70 | 1,66 | 23,26 |
| 27/jun | 7 | 3,86 | 0,2 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 2,32 | 1,70 | 15,90 |
| 29/jun | 8 | 4,21 | 0 | 24% | 50,4 | 54 | 32,4 | 0,98 | 0,6 | 2,52 | 2,48 | 0,00 |
| 06/jul | 9 | 4,57 | 0,2 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 2,74 | 1,87 | 19,67 |
| 07/jul | 10 | 4,11 | 0 | 16% | 21,6 | 54 | 32,4 | 0,78 | 0,6 | 2,47 | 1,92 | 12,72 |
| 11/jul | 11 | 4,90 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 2,94 | 2,40 | 9,60 |
| 14/jul | 12 | 4,40 | 0 | 19% | 32,4 | 54 | 32,4 | 0,88 | 0,6 | 2,64 | 2,31 | 2,31 |
| 01/ago | 13 | 4,84 | 0 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 2,90 | 2,13 | 16,53 |
| 03/ago | 14 | 4,58 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 2,75 | 1,88 | 19,88 |
| 10/ago | 15 | 1,93 | 0,2 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 1,16 | 0,95 | 7,95 |
| 11/ago | 16 | 5,18 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,11 | 2,12 | 20,12 |
| 17/ago | 17 | 6,18 | 0 | 14% | 14,4 | 54 | 32,4 | 0,68 | 0,6 | 3,71 | 2,53 | 20,53 |
| 18/ago | 18 | 6,37 | 0 | 17% | 25,2 | 54 | 32,4 | 0,81 | 0,6 | 3,82 | 3,12 | 10,32 |
| 23/ago | 19 | 5,24 | 0 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 3,14 | 2,31 | 16,71 |
| 25/ago | 20 | 5,42 | 0 | 15% | 18 | 54 | 32,4 | 0,73 | 0,6 | 3,25 | 2,39 | 16,79 |
| Déficit Total: 231 | | | | | | | | | | | | |
| Média: 12,18 | | | | | | | | | | | | |

Et0: Evapotranspiração potencial; P: Precipitação; Us: umidade solo massa seca; LAA: lâmina atual de água; CTA: Capacidade total de água no solo; CTAr: Capacidade total real de água; Ks: Coef umidade solo; Kc: Coef de cultura; Etc: Evapotranspiração cultura, Etr: Evapotranspiração real cultura.

No período de seca a média de déficit de água encontrada no fragmento florestal foi bem menor que no pasto e no SAF. A média de déficit de água foi 2,2 vezes maior no pasto que no fragmento florestal.

Comparando o SAF e a pastagem, novamente os déficits médios de água foram semelhantes. O déficit médio encontrado na pastagem foi apenas 8% superior ao encontrado no SAF.

4.7 Simulação de Irrigação em um cultivo hipotético de feijão

Para complementar as análises realizadas, nesse item serão realizadas três simulações de irrigação levando-se em consideração a cultura hipotética do feijão.

4.7.1. Cálculo do número de irrigações necessários para os três cenários avaliados, considerando o período de chuvas

Na realização dessa simulação adotou-se como umidade crítica 15% em massa base seca e capacidade de campo 25% em massa base seca de acordo com Dardengo *et al.* (2005). Nesse exercício de simulação foi considerado que quando o solo estivesse abaixo de 15% de umidade seria necessária uma irrigação no sistema.

No SAF horta floresta, considerando os dados de umidade obtidos na camada de 0 a 15 cm do solo no período de chuvas, seria necessário irrigar apenas uma vez o cultivo no dia 25 de novembro (quando a umidade do solo foi de 14%).

Na pastagem seriam necessárias três irrigações. No período de 31/10 a 04/11, no período de 19/11 a 24/11 e também no período de 26/01 a 02/02.

No fragmento florestal não seria necessária nenhuma irrigação pois o solo se manteve sempre acima da umidade crítica de 15%.

Quando considerados os dados da camada de 15 a 30 cm, no SAF seria necessária uma irrigação no dia 09/11 e outra no período entre 19 e 25/11.

No pasto seriam novamente necessárias 3 irrigações, uma no dia 09/11, outra no período entre 19/11 e 24/11 e outra entre os dias 21/01 e 02/02 (Tabela 15).

Tabela 15. Número de irrigações necessárias para os três cenários estudados considerando a simulação de manejo de irrigação para o cultivo de feijão no período de chuvas para os dados obtidos no Sítio Mangueiras em Florestal, MG.

| Simulação da irrigação 1: | | |
|---------------------------|-------------------|-------|
| Período de chuvas | Profundidade solo | |
| | 0-15 | 15-30 |
| Cenário | Nº Irrigações | |
| Floresta | 0 | 0 |
| SAF | 1 | 2 |
| Pasto | 3 | 3 |

4.7.2. Simulação 2. Cálculo do número de irrigações necessários para os três cenários avaliados, considerando o período seco

Enquanto no período chuvoso este trabalho utilizou a definição em literatura de uma umidade crítica para definição de quando seria necessária uma irrigação para complementar

as chuvas, no período de seca optou-se por simular a quantidade de água que seria necessária para irrigação de acordo com a variação da umidade no solo.

Para simular a necessidade de irrigação nas três áreas, considerou-se a Tabela 20 das umidades de 15 a 30 cm no período seco. Considerou-se o valor de 1,2 g/cm³ como a densidade do solo. O valor é uma estimativa segundo o trabalho de Michelon *et al.* (2009) sobre as propriedades físicas de solos no Brasil.

Considerou-se que os valores de umidade do solo obtidos no experimento seriam referência exata para o manejo de irrigação. O objetivo do exercício foi comparar a necessidade de lâminas de irrigação em mm para o cultivo de feijão durante o período seco de 26/05 a 25/08/2022.

O comportamento de água no solo considera precipitação, irrigação, evapotranspiração, deflúvio superficial, drenagem e variação da armazenagem de água no solo

A estimativa da evapotranspiração potencial foi calculada utilizando os dados da estação Florestal A535. A equação de Penman Monteith FAO 56 forneceu valores que variaram de 1,34 a 7,94 mm por dia.

O exercício considerou metodologia do manual de irrigação de Salassier Bernardo, Antônio A Soares e Everardo C. Mantovani. $f=0,6$ $Cc=0,25$ $Pm=0,10$ $da=1,2\text{g/cm}^3$

$$DTA = \frac{(Cc - Pm) \cdot da}{10} \quad (2)$$

em que:

DTA= Disponibilidade total de água no solo, em mm água/cm de solo;

Cc = Capacidade de Campo, em %;

Pm = Ponto de murcha permanente, em %; e

Da = densidade do solo, em g/cm³.

$$DTA = \frac{(25 - 10) \cdot 1,2}{10} = 1,8 \text{ mm água/cm de solo}$$

$$DRA = DTA \cdot f \quad (3)$$

em que:

DRA= Disponibilidade real de água no solo; e

f = Fator de disponibilidade hídrica.

$$DRA = 1,8 \cdot 0,6 = 1,08 \text{ mm/cm de solo.}$$

$$CRA = DRA \cdot Z \quad (4)$$

em que:

CRA= capacidade real de água no solo; e

Z = profundidade efetiva das raízes em cm.

$$CRA = 1,08 \cdot 30 = 32,4 \text{ mm}$$

Considerando que no manejo de irrigação, o intervalo entre a umidade crítica e a umidade na capacidade de campo para a cultura hipotética do feijão (profundidade efetiva do sistema radicular igual a 30 cm), a capacidade real de água seria de 32,4 mm.

Para efeitos de comparação e discussão, pois os três cenários estudados (Fragmento Florestal, Pastagem e SAF Horta) apresentam valores de umidades do solo, nesse item irá se

adotar duas suposições: supondo uma unidade percentual a mais na umidade do solo, ou seja, 1% (3,6 mm) + valor de umidade do solo em percentagem equivalendo a uma lâmina de 3,6 mm e quatro unidades percentuais a mais na umidade do solo (14,4 mm).

O objetivo dessas simulações é devido a que em média os valores de umidade do solo de 15 a 30 cm no SAF apresentaram valores com uma unidade percentual a mais de umidade base seca em relação ao pasto e quando comparados o SAF com o fragmento florestal, o fragmento apresentou quatro unidades percentuais a mais que o SAF.

Considerando os dados obtidos e planejando a irrigação considerando o método de balanço de água no solo foram obtidos 9 eventos de irrigação necessária conforme os dias apresentados na Tabela 16 abaixo.

Tabela 16. Comparação entre lâminas de irrigação para 9 eventos segundo método de balanço de água considerando efeitos de umidade inicial do solo com valor de 1 unidade percentual a mais na umidade do solo e 4 unidades percentuais a mais no valor de umidade do solo.

| Dia | Irrigação (mm) | Efeito Usolo 1% a mais Irrigação (mm) | Efeito Usolo 4% a mais Irrigação (mm) |
|--------------|-----------------------|--|--|
| 09/jun | 32,95 | 29,35 | 18,55 |
| 20/jun | 34,35 | 30,75 | 19,95 |
| 30/jun | 33,9 | 30,3 | 19,5 |
| 07/jul | 36,35 | 32,75 | 21,95 |
| 14/jul | 36,35 | 32,75 | 21,95 |
| 21/jul | 36,55 | 32,95 | 22,15 |
| 30/jul | 34,85 | 31,25 | 20,45 |
| 10/ago | 35,55 | 31,95 | 21,15 |
| 20/ago | 32,5 | 28,9 | 18,1 |
| Total | 313,35 | 280,95 | 183,75 |

Nesse exercício de simulação e cálculos sobre o manejo de irrigação pode-se estimar que nesse cultivo hipotético de feijão, se fosse realizado em área de 1 hectare (10.000m²) e obtendo-se economia de lâmina d'água de 32,4 mm de água (comparação entre a irrigação total com a umidade do solo com 1% a mais), isso corresponderia a 324 m³ (324.000 L) de água. Da mesma forma, estima-se uma economia de 129,6 mm (comparação entre a irrigação total com a umidade do solo 4% a mais), correspondendo 1296 m³ (1.296.000 L) de água.

Mesmo tendo consciência que essas simulações são hipotéticas, estima-se que na comparação fragmento florestal e SAF horta a diferença do volume de água aplicada por um sistema de irrigação seria 71% maior na área com SAF; e que na comparação SAF e pastagem seria 12% maior na área com pastagem.

5 CONCLUSÕES

Nos dois períodos de estudo, chuvoso e seco, o sistema água-solo-planta na área com fragmento florestal apresentou uma maior capacidade de conservação de água no solo quando comparado às áreas com pastagem e SAF horta floresta.

As áreas com pastagem e SAF horta floresta apresentaram nesse trabalho uma condição semelhante na conservação de água no solo.

O resultado da umidade relativa do ar no SAF semelhante ao fragmento florestal e diferente do pasto, somado ao sombreamento promovido pelas árvores são condições ambientais que influenciam na diminuição da evapotranspiração das culturas e contribuem para a manutenção da água em fluxo no sistema agroflorestal.

Quando foi realizada a simulação de irrigação para os três cenários, o fragmento florestal apresentou a melhor economia no uso de água e necessidade menor de irrigações frequentes. O resultado indica que um SAF com mais árvores pode ser mais eficiente para a manutenção de água no sistema.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As prováveis mudanças ambientais que ocorrem no processo de criação de sistemas agroflorestais horta floresta podem gerar alterações na estrutura do solo e na dinâmica de conservação de água no solo. Neste trabalho foi possível medir e obter alguns indícios de melhorias em características que interferem no consumo de água pelas plantas e na recarga dos mananciais locais.

Nos sistemas vivos, pequenos avanços contam para a evolução dos processos na busca da sustentabilidade. Uma diminuição das perdas de água ou um aumento na capacidade de recarga e manutenção podem garantir maior tempo de sobrevivência às espécies cultivadas ou proporcionar a época certa do florescimento.

A expressão “Água se Planta” relacionada ao SAF horta floresta deve ser interpretada no sentido de criação inicial de algumas condições de integração com os sistemas florestais consolidados. Integração que possa ajudar na conservação da água em fluxo no local do sistema agroflorestal. Desvendar como funciona a transformação das condições hídricas e como o manejo influencia as trocas de fluidos nos sistemas agroflorestais é uma tarefa complexa e que merece mais estudos.

Os sistemas agroflorestais mais complexos e com alta densidade de árvores são aqueles que devem ser idealizados para recuperação de mananciais hídricos, principalmente quando se divulga SAF como uma forma de melhorar a capacidade de produção de água. Nesse sentido, o horta floresta pode ser utilizado em locais degradados de agricultura convencional e pastos para promover um primeiro estágio de desenvolvimento de características ambientais favoráveis para o aumento da biodiversidade.

Novos estudos devem buscar aprofundar o conhecimento sobre o intervalo entre o ponto de murcha e a capacidade de campo em cada cenário e em cada momento ao longo do processo de secagem do solo, como forma de obter um resultado mais preciso sobre a economia de água nos sistemas produtivos. Cada ambiente favorece tipos de cultivos diferentes. O adensamento florestal, por exemplo, não permitiria a insolação necessária ao cultivo de feijão em área total. Mas sim em clareiras e nas clareiras as características de umidade do solo poderiam ser diferentes.

A complexidade da formação de florestas biodiversas e dos mecanismos físicos e biológicos que aumentam a disponibilidade de água nos sistemas vivos depende de integração de fragmentos, da posição das bacias, de fluxo de massas de ar úmido no ar e de características do relevo e da formação do solo. Para alcançar o objetivo de recuperação de nascentes e mananciais em pouco tempo, os sistemas agroflorestais devem ser planejados considerando todos esses fatores.

7 RECOMENDAÇÕES / PROPOSTAS DE NOVOS TRABALHOS

A análise da paisagem agrícola e a inclusão do sistema horta floresta de base agroecológica como o do Sítio das Mangueiras entre os fragmentos florestais e em locais de pastagem degradada são estratégias de melhoria do ambiente no sentido da abundância e da manutenção da vida no planeta. Existem estudos que apresentam relações com aspectos de densidade e porosidade do solo que influenciam as características de armazenamento de água no solo, mas não avaliam a quantidade de água que efetivamente se encontra no solo dependendo do manejo.

É importante saber como são os agregados do solo e se eles formam uma estrutura de poros persistente ao longo do tempo ou não. Mais completos, em relação ao comportamento hídrico do sistema, seriam estudos sobre as transformações estruturais do solo ao longo do tempo, agregados pedogênicos e biogênicos, conectividade entre poros, a curva de retenção de água ao longo de ciclos vegetativos e no caso de florestas, ao longo das fases de sucessão florestal.

Os trabalhos sobre sistemas agroflorestais com maior biodiversidade são escassos e tratam de estudos de caso acerca dos quintais agroflorestais. A maior parte na Amazônia. Para se ter uma ideia da diversidade de alguns quintais, Rayol e Miranda (2019) levantaram 334 quintais no Pará e encontraram riqueza de 15 espécies em média. Jardim *et al.* (2021) observaram riqueza máxima de 37 espécies. Apesar de existirem estudos que falam da contribuição de quintais para a conservação de material genético de plantas de produção familiar (JARDIM *et al.*, 2021; RAYOL; MIRANDA, 2019), não foi encontrado nenhum levantamento com dados de monitoramento da contribuição de pequenas áreas de quintais agroflorestais para a recuperação de florestas nativas ou em relação ao monitoramento de condições ambientais nesses quintais. Tal monitoramento forneceria informações sobre como os quintais estão distribuídos e como eles contribuem para a questão dos serviços ambientais. Sobre o tamanho e dispersão desses quintais no ambiente, considerando que são dos sistemas mais biodiversos dos tipos de SAF. Estudos específicos sobre a importância do SAF horta floresta e sua capacidade de gerar benefícios ambientais também não foram encontrados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, v. 46, n. 2, p. 161–168, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01823.x>
- AGUIAR, A. C. F.; AMORIM, A. P.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1473–1480, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500037>
- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀ padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39–50, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p39-50/2015>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma - Itália: [s. n.], 1998. FAO Irrigation and drainage paper 56. Disponível em: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- ALMEIDA JÚNIOR, M. C. D.; CASTRO, P. A. L.; SANTOS, G. O. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 2, p. 115–121, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.almeida>
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro: Expressão Popular, 2012.
- ALVES, V. E. L. **Mobilização e modernização nos cerrados piauienses: formação territorial no império do agronegócio**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.8.2007.tde-23042007-131621>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. **Sistemas Agroflorestas**, v. 12, n. 32, p. 105–110, 1998.
- AMARAL, F. C. S.; SANTOS, H. G.; ÁGLIO, M. L. D.; DUARTE, M. N.; PEREIRA, N. R.; OLIVEIRA, R. P.; CARVALHO JUNIOR, W. **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89242/1/bpd63-2004-mapeamento-mg.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- ANDRADE, D. **Água se planta (video)**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://agendagotsch.com/pt/water-can-be-planted-video/>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- ANJOS, L. J. S.; DE TOLEDO, P. M. Measuring resilience and assessing vulnerability of terrestrial ecosystems to climate change in South America. **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, p. e0194654, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194654>

ÁVILA, S. R. S. A.; AVILA, M.; BERNARDI, J. V. E.; COUTO JÚNIOR, A. F. Estudo exploratório sobre dinâmica do desmatamento em assentamentos localizados no território portal da Amazônia. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 139–152, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.330>

BARBADO, N.; LEAL, A. C. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e29110313290, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13290>

BARROS, V. C. C.; SOUZA, R. H. P.; MARQUES, R. T.; BORGES, L. A. C. Pagamento por serviço ambiental: panorama do Programa Bolsa Verde do Estado de Minas Gerais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1347–1363, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1347-1363>

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://www.editoraufv.com.br/produto/manual-de-irrigacao-9-edicao-editora-ufv/1108843>. Acesso em: 7 jun. 2023.

BOEHM, S.; SCHUMER C. **10 conclusões do relatório do IPCC sobre mudanças climáticas de 2023**. WRI Brasil. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023/>. Acesso em 30 jul. 2023.

BORELLA, D. R.; SOUZA, A. P.; SILVA, K. N. C.; SANTOS, L. M. M.; XIMENES, E. S. O. C.; ANJOS, A. M. Dinâmica e estimativas da temperatura e umidade relativa do ar em viveiros protegidos com diferentes sombreamentos. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 62–75, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.11437>

BRAGA, M. B.; GUEDES, I. M. R.; SILVA, J.; LIMA, C. E. P. **Determinação Simplificada da Umidade do Solo Visando o Manejo de Irrigação em Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2018. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/180567/1/BPD-155.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 11428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 185, n. 118, p. 1, 26 dez. 2006.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1939–1948, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600010>

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; JARAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. L. A análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805–812, 2007.

CANUTO, J. C. **Sistemas agroflorestais: experiências e reflexões**. Brasília: Embrapa, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1074707>. Acesso em: 7 jun. 2023.

CARDOSO, E. J. B. N. **A Sustentabilidade Ambiental da Agricultura e de Florestas Tropicais: Uma Visão Científica, Ecológica, Política e Social**. 1. ed. Curitiba: Editora Appris, 2021.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028–1035, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900013>

CARVALHO, A. F. **Água e radiação em sistemas agroflorestais com café no Território da Serra do Brigadeiro – MG**. 2011. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/5540>. Acesso em: 7 jun. 2023.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F. Sistemas Silvistoris para Recuperação e Desenvolvimento de Pastagens. *In: Sistemas Silvistoris para Recuperação e Desenvolvimento de Pastagens*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 22.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Principais conquistas do Plano ABC e desafios do Plano ABC+. **Notas Técnicas**, n. 36, p. 1–14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.38116/ntdirur36>

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777–788, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>

COSTA, A. S.; SILVA, L. G.; GALVÃO, A. Mata Atlântica Brasileira: Análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Geomae**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8GS9Y>

COSTA, M. Grande BH recebe a maior chuva em 30 anos, segundo meteorologista. *In: Estado de Minas Gerais*. 2022. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/01/08/interna_gerais,1336336/grande-bh-recebe-a-maior-chuva-em-30-anos-segundo-meteorologista.shtml/. Acesso em: 30 jul. 2023

COSTA, C. D. O. Armazenamento de água em dois solos sob diferentes usos e manejos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 55–65, 2016.

COUTO, A. V.; LOSS, A. Horta sintrópica: um agroecossistema híbrido. *In: 2020, São Cristóvão-SE. XI Congresso Brasileiro de Agroecologia*. São Cristóvão-SE: Cadernos de Agroecologia, 2020. p. 6.

DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Avaliação da capacidade de campo em dois solos da região sul do estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação. *In: 2005, Universidade do Vale do Paraíba. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de*

Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba: [s. n.], 2005. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2005/epg/EPG5/EPG5-6corrigido.pdf. Acesso em: 7 jun. 2023.

DI BITETTI, M. S.; PLACCI, G.; DIETZ, L. A. **Uma visão de Biodiversidade para a Ecorregião Florestas do Alto Paraná – Bioma Mata Atlântica: Atlântica: planejando a paisagem de conservação da biodiversidade e estabelecendo prioridades para ações de conservação.** Washington, D. C.: World Wildlife Fund, 2003. *E-book*. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/1sem2015/Abril/46-Uma%20visao.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

DI SACCO, A. *et al.* Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. **Global Change Biology**, v. 27, n. 7, p. 1328–1348, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements.** Roma - Itália: FAO, 1977. Documento de Irrigação e Drenagem da FAO 24.

DUTRA JUNIOR, L. A.; DUPONT, P. B.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um argissolo vermelho amarelo sob diferentes sistemas de uso. *In: XXII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS 2013*, Pelotas - RS. **Anais [...]**. Pelotas - RS: [s. n.], 2013. p. 4.

ELLISON, D. *et al.* Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 51–61, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

EMBRAPA. **Serviços ambientais.** [s. l.], 2005. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10533-004-0360-2>. Acesso em: 24 abr. 2023.

FILTER, P. A. S. **A efetivação do Acordo de Paris no Brasil : um estudo comparado da proteção ambiental com a Austrália e a Nova Zelândia.** 2020. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/16610/1/000498038-Texto%2bcompleto-0.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

FIORESE, C. H. U. Vulnerabilidade natural à erosão nas áreas de café e pastagem no município de Cachoeiro De Itapemirim (ES). **Cadernos Camilliani**, v. 17, n. 2, p. 2011–2030, 2020.

FONSECA, R. R.; BARBOSA, K. S. S.; JESUS, K. E. S.; SILVA, L. M.; SOUSA, N. T. B.; SILVA, G. R.; PAULETTO, D.; OTAKE, M. Y. F. Densidade e umidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 367, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5171>

FONTES, P. C. R.; NICK, C. **Olericultura: Teoria e prática.** Viçosa: UFV, 2019.

FRANSOZI, A. A. **O papel da vegetação secundária nas funções e processos hidrológicos em bacias agrícolas.** 2020. Tese (Doutorado em Direito em Recursos Florestais) -

Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-18032020-152918>. Acesso em: 7 jun. 2023.

FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; SILVA, N. R. A.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1275–1281, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200003>

FREITAS, V. M. T.; CARVALHO, L. R.; SPINNELLI, E.; TERRA, F. Construção colaborativa de uma experiência de Horta-Floresta no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), em Seropédica -RJ. In: XI CBA CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA2014, Sergipe. **Anais [...]**. Sergipe: UFS, 2014. p. 5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220080/1/Construcao-colaborativa-de-uma-experiencia-de.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.

FRIZZONE, J. A. **Necessidade de água para Irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017. Notas de Aula da disciplina LEB 1571 - Irrigação. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_2_-_NECESSIDADE_DE_AGUA_PARA_IRRIGACAO.pdf.

GAROFOLLO, L.; RODRIGUEZ, D. A. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, p. 1–15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e201902069>

GJORUP, A. F.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 1, p. 225–238, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1782>

GOEKING, S. A.; TARBOTON, D. G. Forests and Water Yield: A Synthesis of Disturbance Effects on Streamflow and Snowpack in Western Coniferous Forests. **Journal of Forestry**, v. 118, n. 2, p. 172–192, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz069>

GOMES, C. S. IMPACTOS DA EXPANSÃO DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO NA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, p. 63–78, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/248949.19.19-4>

GONÇALVES, F. L. T.; NEDEL, A. S.; ALVES, M. R. C. Uma análise da umidade relativa do ar em ambientes internos e externos na cidade de São Paulo: deve-se umidificar ou secar os ambientes internos? **Revista Brasileira de Medicina**, v. 69, n. 7, 2012. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-661224>. Acesso em: 7 jun. 2023.

GOOGLE DICTIONARY. **Oxford Languages and Google - Portuguese**. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/Ibi%c3%a1,+MG/@-19.48828095,-46.5389563,904.85005133a,10956.93382035d,35y,111.02284228h,44.99999568t,0r/data=CnQaShJECiUweDk0YjFjMWEyNTk1ZGRiMmI6MhHjMTg3YjY4ZDI2YzU4ZjI4GQScIDjhf>

DPAIRKY8zHERUfAKglJYmnDoSwgTUcYAiABliYKJAmlutX2iL0zQBgkutX2iL0zwBm hVLzfAx1EQCGzFnpUD2FOwA. Acesso em: 13 abr. 2021.

GORDON, L. J.; FINLAYSON, C. M.; FALKENMARK, M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 512–519, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.017>

GÖTSCH, E. **Homem e Natureza - Cultura na natureza**. 1. ed. Recife: Centro Sabiá, 1995. *E-book*. Disponível em: <https://www.agrofloresta.net/static/bibliotecaonline/homemenatureza/index.htm>. Acesso em: 7 jun. 2023.

GÖTSCH, E. Curso de Agrofloresta avançada com Ernst Götsch. *In*: 2009, Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra - SP. **Curso com carga horária de 40h**. Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra - SP: [s. n.], 2009.

IBGE. **IBGE - Censo Agro 2017**. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=downloads>. Acesso em: 7 jun. 2023.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 355–360, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400002>

JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 209–226, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013>

JARDIM, L. W. L.; SILVA, S. C. P.; PEREIRA, H. S.; SANTIAGO, J. L.; INUMA, J. C.; PEREIRA, C. F. A influência de eventos hidrológicos extremos sobre a diversidade florística em quintais agroflorestais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 104–117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0009>

JIANG, X. J.; LIU, W.; WU, J.; WANG, P.; LIU, C.; YUAN, Z. Land Degradation Controlled and Mitigated by Rubber-based Agroforestry Systems through Optimizing Soil Physical Conditions and Water Supply Mechanisms: A Case Study in Xishuangbanna, China. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 7, p. 2277–2289, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2757>

KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam) in southern Nigeria. **Plant and Soil**, v. 63, n. 2, p. 165–179, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02374595>

KOHLHEPP, G. Transformações da Paisagem Natural no Norte do Paraná entre as Décadas de 1930 e 1980: Da Monocultura do Café à Modernização Agrária e suas Consequências Ecológicas, Econômicas e Sociais. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 10, n. 2, p. 255–283, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2020v10i2.p255-283>

- KUNERT, N.; APARECIDO, L. M. T.; WOLFF, S.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAUJO, A. C.; TRUMBORE, S. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47–57, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1996. *E-book*. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330369>. Acesso em: 8 jun. 2023.
- LIMA, R. A. F.; OLIVEIRA, A. A.; PITTA, G. R.; GASPER, A. L.; VIBRANS, A. C.; CHAVE, J.; TER STEEGE, H.; PRADO, P. I. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 6347, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20217-w>
- LONDE, L. R.; COUTINHO, M. P.; DI GREGÓRIO, L. T.; SANTOS, L. B. L.; SORIANO, É. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 4, p. 133–152, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1082V1742014>
- MARENGO, J. A.; SOUZA JR., C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo: ALANA, 2018.
- MARTINS, T. P.; RANIERI, V. E. L. Sistemas agroflorestais como alternativa para as reservas legais. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 3, p. 79–96, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000300006>
- MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agorflorestal – ICRAF, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1069767/restauracao-ecologica-com-sistemas-agroflorestais-como-conciliar-conservacao-com-producao-opcoes-para-cerrado-e-caatinga>. Acesso em: 8 jun. 2023.
- MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; MELO, G. L.; SPOHR, R. B.; ANDRADE, J. G. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 39–45, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100006>
- MIKHAYLOV, A.; MOISEEV, N.; ALESHIN, K.; BURKHARDT, T. Global climate change and greenhouse effect. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 7, n. 4, p. 2897–2913, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- MOKONDOKO, P.; AVILA-FOUCAT, V. S.; GALEANA-PIZAÑA, J. M. Biophysical drivers of yield gaps and ecosystem services across different coffee-based agroforestry management types: A global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 337, p. 108024, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108024>

MONTENEGRO, A.; LOPES, I.; ALMEIDA, T.; LIMA, J.; MONTENEGRO, H.; ARAÚJO, B. Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo no semiárido brasileiro. **FAVE Sección Ciencias Agrarias**, v. 19, n. 2, p. 45–59, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9749>

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202–1208, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>

NAIR, P. K. R. Tropical agroforestry systems and practices. *In*: FURTADO, J. I.; RUDDLE, K. **Tropical resource ecology and development**. Chichester, UK: [s. n.], 1984. p. 23.

NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H. E.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 575–588, 2007.

OLIVEIRA, A. T. M.; CANALE, G. R.; NOGUEIRA, L. A. S.; FRANÇA, A. L.; SANTOS, J. P.; CÓRDOVA, M. O. Uma Estrutura e síndromes de dispersão da vegetação arbórea em floresta nativa e agrofloresta, na Amazônia Meridional. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 3, p. 352- 362 Pages, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA.19602>

PADOVAN, M. P.; SCHIMIDT, H. C.; STAUDO HAR JR., G.; BONFIM, V. R. **Sistemas agroflorestais na implementação do Corredor Central da Mata Atlântica no estado do Espírito Santo**. Espírito Santo: Incaper, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334469895_Sistemas_agroflorestais_na_implementacao_do_Corredor_Central_da_Mata_Atlantica_no_estado_do_Espirito_Santo. Acesso em: 8 jun. 2023.

PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura irrigada no Brasil: recursos hídricos e sustentabilidade**. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9786587391229>. Acesso em: 8 jun. 2023.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015.

PASINI, F. S. **A Agricultura Sintrópica de Ernst Götsch: história, fundamentos e seu nicho no universo da Agricultura Sustentável**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2017. Disponível em: https://ppgciac.macaue.ufrj.br/images/Disserta%C3%A7%C3%B5es/FELIPE_DOS_SANTOS_PASINI_ok.pdf

PAUL, C.; WEBER, M.; KNOKE, T. Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. **Science of The Total Environment**, v. 587–588, p. 22–35, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.037>

PAULA, L. G. S.; RIBEIRO, S. M. C. Aptidão das áreas no entorno do Parque Estadual do Rio Doce para implementação de sistemas agroflorestais com base em análise multicritério. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 474–492, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509839173>

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.1999.tde-20220207-205206>. Acesso em: 8 jun. 2023.

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade & Natureza**, v. 32, n. 32, p. 308–320, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-43458>

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo : A agricultura em regiões tropicais**. 1. ed. São Paulo: Editora Nobel, 2017.

RAMOS, M. O.; SILVA, I. S. Valoração econômica da floresta nacional de Caxiuanã-PA. *In*: CONFERÊNCIA: VII SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA VALORAÇÃO AMBIENTAL NA AMAZÔNIA 2018, Amazônia. **Anais [...]**. Amazônia: [s. n.], 2018.

RAYOL, B. P.; MIRANDA, I. S. Quintais agroflorestais na Amazônia Central: caracterização, importância social e agrobiodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1614–1629, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509829853>

REBELLO, J. F. S. **Princípios de agricultura sintrópica segundo Ernst Götsch**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <http://www.ecoagri.com.br/web/wp-content/uploads/Princi%CC%81pios-de-Agricultura-Sintro%CC%81pica.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.

REIS, N. V. B. **Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. Circular Técnica. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/31468/1/ct_38.pdf. Acesso em: 8 jun. 2023.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3–4, p. 466–474, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.017>

RIBASKI, N. G. **Perícia e avaliação ambiental: um olhar pela legislação**. Curitiba: Editora Reflexão Acadêmica, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://reflexaoacademica.com.br/assets/ebooks/L1MJnm30194PxS2FZXVs3hb4856Hy6av.pdf>

RIBEIRO, M. S. L. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 535–545, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000200020>

ROMEIRO, A. R. **Meio Ambiente E Dinamica De Inovacoes Na Agricultura**. São Paulo: Annablume, 1998.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11–21, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SANTOS, I. S.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C.; SOARES, F. A. L.; LIMA, V. L. A.; NETO, J. D. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 3, p. 105–113, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.65>

SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 140–145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.064>

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9–30, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Evapotranspiração: definições e conceitos**. São Paulo: ESALQ/USP, 2012. Aula. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula8_2012.pdf.

SHIVA, V. **Monoculturas Da Mente. Perspectivas Da Biodiversidade E Biotecnologia**. São Paulo: Gaia, 2018.

SILVA, D. M. N.; HEITOR, L. C.; CANDIDO, A. O.; MORAES, B. S. A. D.; SOUZA, G. S.; ARAÚJO, J. B. S.; MENDONÇA, E. S. Carbon balance in organic conilon coffee intercropped with tree species and banana. **Revista Árvore**, v. 44, p. e4421, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000021>

SILVA, D.; OLIVEIRA, G.; SILVA, R.; FERNANDES, C.; JESUS, L.; BERGIER, I. Controle automático da umidade do solo com energia solar para pequenos produtores. *In: DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA O PANTANAL - 26 A 29 DE NOVEMBRO DE 2013* 2013, Corumbá-MS. **6º Simpósio sobre recursos naturais e socioeconômicos do Pantanal**. Corumbá-MS: SIMPAN, 2013. p. 5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93857/1/RE06.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SILVA, G. F. **Armazenamento e disponibilidade de água no solo para as plantas em sistemas de manejo de longa duração**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2019.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho

sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544–552, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300009>

SILVA, M. A. V. **Metereologia e climatologia**. Recife: Versão digital, 2006. *E-book*.

Disponível em:

https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 8 jun. 2023.

SILVA, P. P. V. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2002.tde-17092002-135029>. Acesso em: 8 jun. 2023.

Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável: 10 anos de pesquisa. . Campo Grande - MS: Embrapa Gado de Corte, 2013. Documentos. Disponível em: <http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/DOC206.pdf>.

SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C.; SILVA, G. U.; ESSI, R.; RUSSI, J. L.; BEN, L. H.; SANTOS, P. R. Irrigação suplementar na produção de grãos e na eficiência de uso da água da cultura do feijoeiro. **Agrarian**, v. 9, n. 34, p. 374–382, 2016.

SOARES, J. Portas abertas para a devastação do Brasil. *In*: Outras Palavras. 2019. Disponível em: <https://outraspalavras.net/outrasmidias/o-campo-minado-da-fiscalizacao-ambiental/>. Acesso em: 8 jun. 2023.

SONE, J. S.; GESUALDO, G. C.; ZAMBONI, P. A. P.; VIEIRA, N. O. M.; MATTOS, T. S.; CARVALHO, G. A.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v. 655, p. 1197–1206, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319>

SOUZA, J. T. A. **Atributos do solo, fisiologia, produção e qualidade do maracujazeiro amarelo sob irrigação, redução de perdas hídricas e matéria orgânica**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br>. Acesso em: 8 jun. 2023.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835–841, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000400022>

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S. F. B.; METZGER, J. P. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 151–162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. *E-book*. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 8 jun. 2023.

TERRA BRASILIS. **Incrementos de desmatamento - Amazônia**. [s. l.], 2023. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>. Acesso em: 7 abr. 2023.

THEVS, N.; ALIEV, K.; LLESHI, R. Water productivity of tree wind break agroforestry systems in irrigated agriculture – An example from Ferghana Valley, Kyrgyzstan. **Trees, Forests and People**, v. 4, p. 100085, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100085>

THOMPSON, I.; MACKEY, B.; MCNULTY, S.; MOSSELER, A. Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A Synthesis of the Biodiversity/Resilience/Stability Relationship in Forest Ecosystems. *In*: THOMPSON, I.; MACKEY, B.; MCNULTY, S.; MOSSELER, A. **A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystem**. Montreal - CA: UNEP, 2009. p. 1–67.

VARGAS-PÉREZ, A. A.; MARTÍNEZ-REVELO, D. E. Composición y estructura del ensamblaje de escarabajos coprófagos (scarabaeidae: scarabaeinae) en dos fragmentos de bosque del departamento de Antioquia. **Revista de la Facultad de Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 114–123, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n2.60089>

VIEIRA, F. F.; DALLACORT, R.; BARBIERI, J. D.; DALCHIAVON, F. C.; DANIEL, D. F. Temperatura e umidade do solo em função do uso de cobertura morta no cultivo de milho. **Científica**, v. 48, n. 3, p. 188, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n3p188-199>

VILLAS BÔAS, G. K. Emergência climática e um novo paradigma: a centralidade da biodiversidade em uma Nova Era. **Revista Fitos**, v. 15, n. 4, p. 428–431, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2021.1390>

VIVAN, J. L. **Agricultura e florestas: princípios de uma interação vital**. Rio Grande do Sul: Agropecuária, 1998.

WANDERLEY, H. S.; MIGUEL, V. C. Mudança dos elementos meteorológicos em função da degradação da floresta urbana. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 834–843, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509832090>

ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B. Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 81–87, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000100011>

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M.; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6Supl1, p. 3489, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl1p3489>

ANEXOS

Anexo A. Umidade do solo de 0-15 cm. Período de chuvas. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários.

| 0-15 | Dias | Floresta | Pasto | Horta Floresta |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 31/out | 19,51% | 12,05% | 17,10% |
| 2 | 04/nov | 25,20% | 13,79% | 14,95% |
| 3 | 05/nov | 22,51% | 16,37% | 15,20% |
| 4 | 09/nov | 17,65% | 16,90% | 14,91% |
| 5 | 10/nov | 17,78% | 17,86% | 16,27% |
| 6 | 16/nov | 20,65% | 17,49% | 15,15% |
| 7 | 17/nov | 20,45% | 17,24% | 15,53% |
| 8 | 19/nov | 20,13% | 13,67% | 15,20% |
| 9 | 22/nov | 16,45% | 13,21% | 14,93% |
| 10 | 24/nov | 22,39% | 15,02% | 14,95% |
| 11 | 25/nov | 16,30% | 17,44% | 13,80% |
| 12 | 08/dez | 31,65% | 25,35% | 30,33% |
| 13 | 20/dez | 21,10% | 19,85% | 18,50% |
| 14 | 17/jan | 29,97% | 21,86% | 22,28% |
| 15 | 18/jan | 29,15% | 20,43% | 19,86% |
| 16 | 19/jan | 25,49% | 27,78% | 22,36% |
| 17 | 21/jan | 23,96% | 24,10% | 18,15% |
| 18 | 26/jan | 14,31% | 12,55% | 21,81% |
| 19 | 28/jan | 10,68% | 11,27% | 14,68% |
| 20 | 02/fev | 16,85% | 13,83% | 19,65% |
| MEDIA | | 21,11% | 17,40% | 17,78% |

Para este período foi realizada a análise de variância e o teste Tukey pelo programa PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and data Analysis) com os resultados apresentados, respectivamente, nos Anexos B e C a seguir.

Anexo B. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade.

The screenshot shows the 'Several-sample tests' window in PAST software. The 'One-way ANOVA' tab is selected. The results are as follows:

| | Sum of sqrs | df | Mean square | F | p (same) |
|------------------------|-------------|----|-------------|-------|--------------------------------|
| Between groups: | 0,0166372 | 2 | 0,00831862 | 3,759 | 0,02929 |
| Within groups: | 0,126153 | 57 | 0,00221321 | | Permutation p (n=99999) |
| Total: | 0,14279 | 59 | | | 0,02916 |

Components of variance (only for random effects):

| | | | | | |
|---------------------------|------------|--------------------|------------|-------------|----------|
| Var(group): | 0,00030527 | Var(error): | 0,00221321 | ICC: | 0,121212 |
| omega²: | 0,08421 | | | | |

Levene's test for homogeneity of variance, from means p (same): 0,5042
 Levene's test, from medians p (same): 0,4762

Welch F test in the case of unequal variances: F=3,188, df=37,51, p=0,05265

At the bottom of the window, there are buttons for Close, Copy, Print, and Help.

Anexo C. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta.

Several-sample tests

One-way ANOVA | Residuals | **Tukey's pairwise** | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

| | A | B | C |
|---|-------|---------|---------|
| A | | 0,04089 | 0,07348 |
| B | 3,523 | | 0,9651 |
| C | 3,164 | 0,3589 | |

Close | Copy | Print | Help

Anexo D. Umidade do solo de 15-30 cm. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. 3 cenários.

| 15-30 | Dias | Floresta | Pasto | Horta Floresta |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 31/out | 22,21% | 27,56% | 16,45% |
| 2 | 04/nov | 20,77% | 16,76% | 17,27% |
| 3 | 05/nov | 19,15% | 16,22% | 14,89% |
| 4 | 09/nov | 18,94% | 12,62% | 13,54% |
| 5 | 10/nov | 18,00% | 17,85% | 14,22% |
| 6 | 16/nov | 19,70% | 19,10% | 18,11% |
| 7 | 17/nov | 19,61% | 18,74% | 16,36% |
| 8 | 19/nov | 21,22% | 14,41% | 12,86% |
| 9 | 22/nov | 18,15% | 11,63% | 11,34% |
| 10 | 24/nov | 21,78% | 14,49% | 14,19% |
| 11 | 25/nov | 15,40% | 16,85% | 14,40% |
| 12 | 08/dez | 30,62% | 24,44% | 27,48% |
| 13 | 20/dez | 24,24% | 19,52% | 16,80% |
| 14 | 17/jan | 28,68% | 22,67% | 21,22% |
| 15 | 18/jan | 27,61% | 21,95% | 19,29% |
| 16 | 19/jan | 25,76% | 18,48% | 19,12% |
| 17 | 21/jan | 22,25% | 19,32% | 21,22% |
| 18 | 26/jan | 14,11% | 12,05% | 20,38% |
| 19 | 28/jan | 10,51% | 11,08% | 16,53% |
| 20 | 02/fev | 15,98% | 12,58% | 20,99% |
| MEDIA | | 20,74% | 17,42% | 17,33% |

A análise de variância e o teste Tukey pelo programa PAST com os resultados estão apresentados, respectivamente, nas Anexos E e F a seguir.

Anexo E. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período chuvoso.

The screenshot shows the 'Several-sample tests' window in PAST software. The 'One-way ANOVA' tab is selected. The results are as follows:

| | Sum of sqrs | df | Mean square | F | <i>p</i> (same) |
|------------------------|-------------|----|-------------|-------|---------------------------------------|
| Between groups: | 0,0150597 | 2 | 0,00752984 | 3,809 | 0,028 |
| Within groups: | 0,11267 | 57 | 0,00197667 | | Permutation <i>p</i> (n=99999) |
| Total: | 0,12773 | 59 | | | 0,02735 |

Components of variance (only for random effects):

| | | | | | |
|--------------------|-------------|--------------------|------------|-------------|----------|
| Var(group): | 0,000277659 | Var(error): | 0,00197667 | ICC: | 0,123167 |
|--------------------|-------------|--------------------|------------|-------------|----------|

*omega*²: 0,08563

| | | |
|--|-------------------------|--------|
| Levene's test for homogeneity of variance, from means | <i>p</i> (same): | 0,5832 |
| Levene's test, from medians | <i>p</i> (same): | 0,5529 |

Welch F test in the case of unequal variances: *F*=3,352, *df*=37,48, *p*=0,04578

At the bottom of the window, there are buttons for 'Close', 'Copy', 'Print', and 'Help'.

Anexo F. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta.

Several-sample tests

One-way ANOVA | Residuals | **Tukey's pairwise** | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
 Significant comparisons are pink. Copenhaver-Holland 1988 ▾

| | A | B | C |
|---|-------|---------|--------|
| A | | 0,05565 | 0,0485 |
| B | 3,338 | | 0,9981 |
| C | 3,422 | 0,08349 | |





Close Copy Print Help

Anexo G. Umidade do solo de 0-15 cm. Período seco. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários.

| 0-15 | Dias | Floresta | Pasto | Horta Floresta |
|-------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 26/mai | 24,65% | 23,55% | 16,99% |
| 2 | 30/mai | 17,68% | 14,73% | 14,84% |
| 2 | 01/jun | 13,44% | 15,95% | 16,99% |
| 4 | 11/jun | 22,03% | 15,96% | 15,88% |
| 5 | 12/jun | 25,15% | 18,45% | 15,28% |
| 6 | 22/jun | 11,80% | 5,12% | 7,91% |
| 7 | 27/jun | 15,34% | 10,06% | 14,82% |
| 8 | 29/jun | 20,58% | 15,21% | 12,85% |
| 9 | 06/jul | 14,53% | 9,02% | 7,28% |
| 10 | 07/jul | 10,67% | 12,07% | 13,26% |
| 11 | 11/jul | 18,41% | 7,21% | 12,63% |
| 12 | 14/jul | 16,80% | 7,92% | 12,18% |
| 13 | 01/ago | 15,32% | 5,89% | 9,66% |
| 14 | 03/ago | 14,04% | 8,48% | 7,90% |
| 15 | 10/ago | 15,32% | 7,02% | 9,82% |
| 16 | 11/ago | 13,80% | 6,96% | 8,84% |
| 17 | 17/ago | 12,56% | 9,60% | 7,83% |
| 18 | 18/ago | 13,78% | 7,08% | 7,45% |
| 19 | 23/ago | 13,21% | 5,58% | 8,60% |
| 20 | 25/ago | 13,84% | 6,95% | 11,63% |
| | Média | 16,15% | 10,64% | 11,63% |

Os resultados da análise de variância e o teste Tukey realizados pelo programa PAST estão apresentados nas Anexos H e I a seguir.

Anexo H. Resultados da análise de variância pelo software PAST para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade no período seco.

| Several-sample tests | | | | | |
|---|--|---|--|-----------------------|--------------------------------|
| One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc |
| Test for equal means | | | | | |
| | Sum of sqrs | df | Mean square | F | p (same) |
| Between groups: | 0,0344666 | 2 | 0,0172333 | 9,635 | 0,0002485 |
| Within groups: | 0,101948 | 57 | 0,00178856 | | Permutation p (n=99999) |
| Total: | 0,136415 | 59 | | | 0,00025 |
| Components of variance (only for random effects): | | | | | |
| Var(group): | 0,000772236 | Var(error): | 0,00178856 | ICC: | 0,301561 |
| omega²: | 0,2235 | | | | |
| Levene's test for homogeneity of variance, from means | | | | p (same): | 0,2258 |
| Levene's test, from medians | | | | p (same): | 0,5602 |
| Welch F test in the case of unequal variances: F=9,525, df=37,07, p=0,0004591 | | | | | |
|  Close |  Copy |  Print |  Help | | |

Anexo I. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 0 a 15 cm de profundidade no período seco. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta.

Several-sample tests

One-way ANOVA | Residuals | **Tukey's pairwise** | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal. Significant comparisons are pink. Copenhaver-Holland 1988 ▾

| | A | B | C |
|---|-------|-----------|----------|
| A | | 0,0003629 | 0,003744 |
| B | 5,823 | | 0,74 |
| C | 4,775 | 1,048 | |

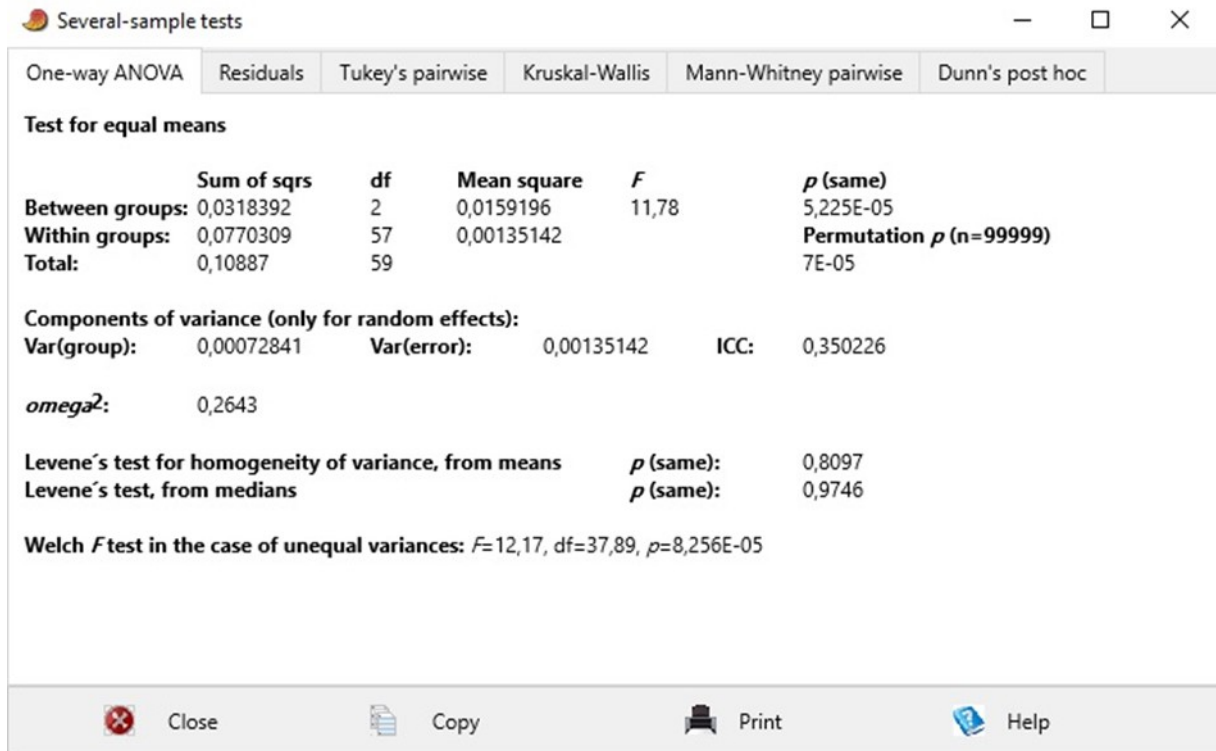
Close Copy Print Help

Anexo J. Umidade do solo de 15-30 cm no período seco. Médias obtidas de três amostras diárias. 20 dias. Três cenários.

| 15-30 | Dias | Floresta | Pasto | Horta Floresta |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 26/mai | 24,57% | 22,06% | 18,03% |
| 2 | 30/mai | 16,91% | 18,01% | 17,26% |
| 2 | 01/jun | 16,90% | 18,69% | 16,76% |
| 4 | 11/jun | 21,02% | 13,82% | 19,86% |
| 5 | 12/jun | 22,61% | 16,46% | 18,80% |
| 6 | 22/jun | 12,98% | 9,31% | 9,58% |
| 7 | 27/jun | 14,66% | 12,40% | 12,87% |
| 8 | 29/jun | 23,93% | 11,98% | 13,46% |
| 9 | 06/jul | 14,32% | 8,92% | 8,82% |
| 10 | 07/jul | 15,92% | 10,64% | 11,56% |
| 11 | 11/jul | 17,01% | 9,90% | 12,39% |
| 12 | 14/jul | 18,81% | 10,26% | 11,46% |
| 13 | 01/ago | 14,61% | 9,02% | 11,29% |
| 14 | 03/ago | 13,75% | 10,03% | 9,39% |
| 15 | 10/ago | 16,50% | 10,36% | 9,41% |
| 16 | 11/ago | 14,49% | 8,56% | 9,97% |
| 17 | 17/ago | 13,98% | 10,74% | 9,20% |
| 18 | 18/ago | 17,45% | 9,09% | 10,31% |
| 19 | 23/ago | 15,23% | 8,42% | 10,07% |
| 20 | 25/ago | 14,81% | 8,08% | 9,58% |
| MEDIA | | 17,02% | 11,84% | 12,50% |

A Anexos K e L apresentam os resultados da análise de variância e do teste Tukey para as umidades do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período seco.

Anexo K. Resultados da análise de variância para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período seco.



Anexo L. Resultados do teste Tukey para as médias de umidade do solo de 15 a 30 cm de profundidade no período seco. Sendo o cenário A, Fragmento florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta.

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

| | A | B | C |
|---|-------|-----------|----------|
| A | | 0,0001141 | 0,000769 |
| B | 6,308 | | 0,8351 |
| C | 5,498 | 0,8102 | |

Close Copy Print Help

Anexo M. Umidade e temperatura do ar a nível do solo. 16 dias. Médias de 4 amostras. 3 cenários. A estação Florestal A535 não é um cenário (serve como caracterização da região).

| | Dia | Floresta | | Pasto | | Horta Floresta | | Florestal A535 | | Horário |
|----|--------|----------|------|-------|------|----------------|------|----------------|------------|---------|
| | | UR% | T °C | UR% | T °C | UR% | T °C | Δ UR | Δ T | |
| 1 | 28/set | 55,0 | 29,2 | 24,3 | 43,3 | 38,6 | 33,1 | 75-95 | 16,8-21,4 | 10-11h |
| 2 | 30/set | 85,4 | 22,4 | 52,6 | 29,3 | 59,0 | 28,6 | 93-94 | 15,5-15,5 | 8-9h |
| 3 | 01/out | 62,0 | 26,4 | 43,2 | 31,3 | 39,0 | 34,7 | 87-94 | 17,4-20,6 | 8-10h |
| 4 | 06/out | 77,8 | 24,1 | 76,4 | 24,4 | 50,3 | 33,8 | 85-89 | 20,4-21,1 | 8-9h |
| 5 | 07/out | 80,4 | 25,0 | 74,1 | 25,8 | 74,8 | 25,4 | 77-78 | 23,3-23,8 | 15-16h |
| 6 | 08/out | 63,2 | 28,7 | 52,5 | 29,7 | 56,6 | 29,2 | 54-57 | 27,3-27,8 | 14-15h |
| 7 | 12/out | 56,4 | 27,2 | 42,5 | 31,9 | 44,3 | 32,9 | 58-63 | 23,2-25,6 | 14-15h |
| 8 | 14/out | 60,1 | 29,8 | 47,0 | 31,9 | 40,7 | 35,8 | 53-58 | 26,1-27,4 | 13-14h |
| 9 | 15/out | 62,6 | 29,2 | 37,4 | 36,6 | 44,8 | 33,4 | 58-67 | 25-27 | 13-14h |
| 10 | 04/nov | 59,1 | 31,5 | 45,3 | 36,0 | 49,4 | 34,8 | 55-62 | 27,8-28,5 | 14-15h |
| 11 | 05/nov | 49,5 | 30,2 | 39,4 | 35,9 | 58,2 | 28,9 | 45-48 | 28,9-29,3 | 15-16h |
| 12 | 10/nov | 69,5 | 28,1 | 52,1 | 32,5 | 58,5 | 31,0 | 57-58 | 26,9-27,9 | 15-16h |
| 13 | 09/dez | 61,8 | 27,2 | 51,9 | 29,6 | 63,3 | 30,0 | 66-77 | 19-22 | 11-12h |
| 14 | 20/dez | 65,4 | 28,1 | 48,7 | 33,9 | 62,3 | 26,8 | 61-63 | 25,4-26,9 | 16-18h |
| 15 | 26/dez | 50,0 | 25,2 | 54,2 | 32,3 | 73,1 | 27,8 | 39-50 | 26,8-29,3 | 15-17h |
| 16 | 02/fev | 45,6 | 28,0 | 44,5 | 40,2 | 68,9 | 31,7 | 71-76 | 24,1-24,9 | 11-12h |

A análise de variância e o teste Tukey relativos aos dados de Umidade Relativa foram realizados pelo programa PAST com os resultados apresentados, respectivamente, na Anexos N e O a seguir:

Anexo N. Análise de Variância das médias de Umidade Relativa obtidas no período chuvoso.

Several-sample tests

| One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Test for equal means | | | | | |
| | Sum of sqrs | df | Mean square | F | p (same) |
| Between groups: | 1488,25 | 2 | 744,123 | 5,284 | 0,008684 |
| Within groups: | 6337,11 | 45 | 140,825 | | Permutation p (n=99999) |
| Total: | 7825,35 | 47 | | | 0,00893 |
| Components of variance (only for random effects): | | | | | |
| Var(group): | 37,7061 | Var(error): | 140,825 | ICC: | 0,211202 |
| omega²: | 0,1515 | | | | |
| Levene's test for homogeneity of variance, from means | | | | p (same): | 0,8124 |
| Levene's test, from medians | | | | p (same): | 0,8429 |
| Welch F test in the case of unequal variances: F=5,209, df=29,92, p=0,01145 | | | | | |

Anexo O. Teste Tukey para as médias de Umidade Relativa obtidas no período chuvoso. O cenário A corresponde ao Fragmento Florestal, B, Pastagem e C, SAF Horta Floresta.

🍌 Several-sample tests

| One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc |
|---------------|-----------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------|
|---------------|-----------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------|

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

| | A | B | C |
|---|-------|----------|--------|
| A | | 0,006199 | 0,1755 |
| B | 4,586 | | 0,3365 |
| C | 2,57 | 2,016 | |

Em relação aos dados médios de temperatura do ar ao nível do solo, os resultados da análise de variância estão expressos na Anexo P e os resultados do teste Tukey estão na Anexo Q.

Anexo P. Análise de variância para a Temperatura do ar ao nível do solo nos três cenários.

| Several-sample tests | | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|
| One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc |
| Test for equal means | | | | | |
| | Sum of sqrs | df | Mean square | F | p (same) |
| Between groups: | 232,024 | 2 | 116,012 | 8,843 | 0,0005766 |
| Within groups: | 590,346 | 45 | 13,1188 | | Permutation p (n=99999) |
| Total: | 822,37 | 47 | | | 0,00055 |
| Components of variance (only for random effects): | | | | | |
| Var(group): | 6,43082 | Var(error): | 13,1188 | ICC: | 0,328948 |
| omega²: | 0,2463 | | | | |
| Levene's test for homogeneity of variance, from means | | | | p (same): | 0,07886 |
| Levene's test, from medians | | | | p (same): | 0,1158 |
| Welch F test in the case of unequal variances: F=10,89, df=28,21, p=0,0003128 | | | | | |

Anexo Q. Teste Tukey para a Temperatura do ar ao nível do solo nos três cenários.

Several-sample tests

| | | | | | |
|---------------|-----------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc |
|---------------|-----------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------|

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

| | E | F | G |
|---|-------|----------|---------|
| E | | 0,000471 | 0,01956 |
| F | 5,819 | | 0,4009 |
| G | 3,976 | 1,843 | |

Anexo R. Triângulo textural.
Fonte: Lemos e Santos (1996).

