



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL
MESTRADO ACADÊMICO EM QUALIDADE AMBIENTAL

LUCAS DILAN MARTINS CORRÊA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DA CULTURA DO CAFEEIRO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO CERRADO MINEIRO, UBERLÂNDIA, MINAS
GERAIS**

Uberlândia /MG

2026

LUCAS DILAN MARTINS CORRÊA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DA CULTURA DO CAFEEIRO EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO CERRADO MINEIRO, UBERLÂNDIA-MG**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (PPGMQ/ICIAG/UFU), para a obtenção do título de Mestre em Qualidade Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Amélia Guimarães Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Osório Senra

Uberlândia /MG

2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C824 2026	Corrêa, Lucas Dilan Martins, 1986- AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DA CULTURA DO CAFEEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO CERRADO MINEIRO, UBERLÂNDIA - MG [recurso eletrônico] / Lucas Dilan Martins Corrêa. - 2026. Orientador: Amélia Guimarães Carvalho Guimarães Carvalho. Coorientador: Eduardo Osório Senra Osório Senra . Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. DOI http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.256 Inclui bibliografia. 1. Desenvolvimento sustentável. I. Carvalho, Amélia Guimarães Carvalho Guimarães, 1987-, (Orient.). II. , Eduardo Osório Senra Osório Senra, 1986-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título. CDU: 502.33
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 03/2026, PPGMQ				
Data:	26 de fevereiro de 2026	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:20
Matrícula do Discente:	12412MQA007				
Nome do discente:	LUCAS DILAN MARTINS CORRÊA				
Título do Trabalho:	Avaliação do crescimento inicial do café em sistemas agroflorestais no cerrado mineiro em - Uberlândia - MG				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	MONITORAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Anatomia da madeira e confecção de chave dicotômica para espécies arbóreas do Cerrado mineiro				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof.^a Dr.^a Amélia Guimarães Carvalho (Orientadora); Prof. Dr. Eduardo Osório Senra (Coorientador); Prof. Dr. Odair José Marques (UFU); e Prof. Dr. Bruno Nery Fernandes Vasconcelos (UFV).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa Prof.^a Dr.^a Amélia Guimarães Carvalho apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Amélia Guimarães Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2026, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Odair José Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2026, às 13:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Osório Senra, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2026, às 18:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Nery Fernandes Vasconcelos, Usuário Externo**, em 02/03/2026, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código

verificador **7033025** e o código CRC **ECF4B143**.

*Dedico às florestas, aos seres que
nelas habitam e resistem, aos povos
que nunca as abandonaram, e a
você, leitor.*

*Que a vida seja reencontro e
invenção.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família e aos meus amigos, porque foi com vocês que aprendi que o conhecimento não se constrói sozinho, mas na partilha da vida e dos saberes do mundo.

Aos meus orientadores, Amélia Guimarães Carvalho e Eduardo Osório Senra, pela escuta atenta, pela paciência generosa e pela condução segura em meio aos labirintos do pensar e do fazer ciência. Aos professores Odair José Marques e Bruno Nery Fernandes Vasconcelos, que aceitaram compor a banca de defesa e trouxeram contribuições técnicas e intelectuais valiosas a eles, minha sincera gratidão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro essencial, que tornou possível cada etapa desta pesquisa.

Expresso, ainda, uma gratidão profunda aos companheiros e companheiras do mestrado em Qualidade Ambiental e ao Coletivo Mutirão na Agrofloresta, que com mãos generosas e suor partilhado contribuíram no preparo das áreas e no plantio do café. Em especial, agradeço de coração a dona Fátima e seu Alceno, do Sítio Nossa Senhora da Guia, e a Duda e Zé Rubens, do Ecosítio Videiras, por terem aberto as portas de suas casas e de seus territórios para acolher este projeto. Sem o indispensável apoio humano e operacional de cada um de vocês durante todo o trabalho de campo esta pesquisa simplesmente não seria possível.

A todos que cruzaram esse caminho comigo, deixo minha memória grata e meu afeto.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E QUALIDADE AMBIENTAL Título do Trabalho: Avaliação do Crescimento Inicial da Cultura do Cafeeiro em Sistemas Agroflorestais no Cerrado Mineiro, Uberlândia - MG. Autora: Lucas Dilan Martins Corrêa: Orientador: Prof. Dra. Amélia Guimarães Carvalho: Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Osório Senra Local: Uberlândia/MG – 2026

RESUMO

A expansão agrícola no Cerrado demanda modelos produtivos que conciliem produção e resiliência climática. Esta dissertação avaliou o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) em Sistemas Agroflorestais (SAFs) biodiversos e área de horta diversificada, visando compreender a influência desses sistemas no desenvolvimento vegetativo inicial da cultura na região de Uberlândia-MG. Foram analisados parâmetros biométricos (altura, diâmetro do caule e número de pares de folhas) e sua correlação com a dinâmica de sombreamento, a biodiversidade associada e os atributos físicos e químicos do solo nos diferentes arranjos de SAFs. A pesquisa foi conduzida em dois sítios com distintas composições florestais e tipos de solo. O experimento foi composto por sete tratamentos, cada um correspondente a uma única parcela. Cada parcela continha três linhas de plantio com 30 mudas de café por linha, totalizando 90 indivíduos por tratamento e 630 plantas ao todo (7 tratamentos $\times$ 90 mudas). Ao longo do ciclo da cultura, foram realizadas nove avaliações biométricas, nas quais se registraram, para todos os indivíduos, os dados de altura da planta, diâmetro do caule, número de pares de folhas e contagem de plantas estabelecidas. A metodologia incluiu nove avaliações biométricas ao longo de um ano, medição quantitativa da luminosidade em diferentes pontos dos sistemas e levantamento florístico detalhado para caracterizar a biodiversidade. Os dados biométricos foram analisados com o teste não paramétrico de Friedman. Os resultados demonstraram que os SAFs mais antigos (implantados em 2015 e 2019) proporcionaram as melhores condições para o estabelecimento inicial, com desempenho significativamente superior em todas as variáveis de crescimento em comparação com a área a pleno sol. A análise da luminosidade revelou um gradiente de sombreamento diretamente relacionado à idade e à complexidade estrutural dos sistemas, enquanto o levantamento florístico evidenciou uma maior diversidade de espécies nos SAFs mais consolidados. Conclui-se que a estrutura e a maturidade dos SAFs foram determinantes para a criação de um microclima favorável e para o sucesso do estabelecimento inicial do cafeeiro no Cerrado, sugerindo que esse modelo oferece uma

estratégia eficaz para aumentar a resiliência da cultura. Os resultados indicam que os diferentes desenhos agroflorestais influenciam na dinâmica de crescimento inicial do cafeeiro. Baseadas nesses resultados, futuras investigações voltadas para as peculiaridades e

desafios da cafeicultura na região são propostas.

Palavras-chave: Sistemas Agroflorestais, *Coffea arabica* L, sombreamento, crescimento vegetativo, biodiversidade, Cerrado.

FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA INSTITUTE OF AGRARIAN SCIENCES
GRADUATE PROGRAM IN ENVIRONMENTAL QUALITY MASTER'S DEGREE IN
ENVIRONMENT AND ENVIRONMENTAL QUALITY Work Title: "Evaluation of the
Initial Growth of Coffee Plants in Agroforestry Systems in the Cerrado of Minas Gerais,
Uberlândia – MG", the work was authored by Lucas Dilan Martins Corrêa, under the
supervision of Prof. Dr. Amélia Guimarães Carvalho and co-supervision of Prof. Dr. Eduardo
Osório Senra. Uberlândia/MG – 2026.

ABSTRACT

Agricultural expansion in the Cerrado requires production models that reconcile yield with climate resilience. This dissertation evaluated the initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) in biodiverse Agroforestry Systems (AFSs) and in a diversified vegetable garden area, aiming to understand the influence of these systems on the initial vegetative development of the crop in the Uberlândia-MG region. Biometric parameters (height, stem diameter, and number of leaf pairs) were analyzed, along with their correlation with shading dynamics, associated biodiversity, and the physical and chemical attributes of the soil in different AFS arrangements. The research was conducted at two sites with distinct forest compositions and soil types. The experiment consisted of seven treatments, each corresponding to a single plot. Each plot contained three planting lines with 30 coffee seedlings per line, totaling 90 individuals per treatment and 630 plants overall (7 treatments $\times$ 90 seedlings). Over the crop cycle, nine biometric evaluations were carried out, recording data on plant height, stem diameter, number of leaf pairs, and count of established plants for all individuals. The methodology included nine biometric evaluations over one year, quantitative measurement of light intensity at different points within the systems, and a detailed floristic survey to characterize biodiversity. Biometric data were analyzed using the non-parametric Friedman test. The results showed that the oldest AFSs (established in 2015 and 2019) provided the best conditions for initial establishment, with significantly superior performance in all growth variables compared to the full-sun area. Light intensity analysis revealed a shading gradient directly related to the age and structural complexity of the systems, while the floristic survey evidenced greater species diversity in the more consolidated AFSs. It is concluded that the structure and maturity of the AFSs were decisive for creating a favorable microclimate and for the successful initial establishment of coffee in the Cerrado, suggesting that this model offers an effective strategy to increase crop resilience. The results indicate that different agroforestry designs influence the initial growth dynamics of coffee. Based on these results, future investigations focusing on the specific characteristics and challenges of coffee

farming in the region are proposed.

Keywords: Agroforestry systems, *Coffea arabica* L, shading, vegetative growth, biodiversity, Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – SEQ Figure * ARABIC 1 – ponto Assentamento Celso Lúcio Moreira da Silva/Fazenda Carinhosa.....	34
Figura 2 - Distância linear 2482m entre os dois sítios	35
Figura 3 - Ponto demarcado P.A Celso Lucio Moreira da silva. Campo experimental Sítio Nossa Senhora da Guia tratamento T1, T2, T3	39
Figura 4 - Ponto demarcado P.A Celso Lucio Moreira da Silva. Sítio Videiras campo experimental- tratamento T4, T5, T6, T7.....	39
Figura 5 - Coleta de solo para análises físicas e química.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos tratamentos, e número de plantas, sítios experimentais, sistema de cultivo e número de plantas de café (<i>Coffea arabica</i> L. cultivar Mundo Novo.....	35
Quadro 2 - Cronograma de manejo e coleta de dados para os tratamentos T1 a T7.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição granulométrica e classificação textural do solo amostras de linha e entrelinha do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, referente aos tratamentos de T1 a T7.....	43
Tabela 2 - Resultados de Análise Química de Solo – T1/T2 Linha e T1/T2 Entrelinha	45
Tabela 3 - Resultados de Análise Química de Solo – (Antiga Horta -2015) T3 Linha e T3 Entrelinha	46
Tabela 4 - Resultados completos da análise química do solo da Área (SAF -2015) T4/T5 (Linha e Entrelinha) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm	47
Tabela 5 - Resultados completos da análise química do solo da Área T6 (Linha e Entrelinha) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.....	48
Tabela 6 - Resultados de Análise Química de Solo - (Area inicial de horta 2024 - T7).....	49
Tabela 7 - Espécies vegetais identificadas nos tratamentos T1 e T2 do sistema agroflorestal (SAF 2022).....	50
Tabela 8 - Espécies vegetais identificadas no tratamento T3 (Antiga Horta - 2015) do sistema agroflorestal	51
Tabela 9 - Espécies vegetais identificadas nos tratamentos T4 e T5 do sistema agroflorestal (SAF 2015).....	51
Tabela 10 - Espécies vegetais identificadas no tratamento T6 do sistema agroflorestal (SAF 2019)	52
Tabela 11 - Espécies vegetais identificadas no tratamento T7 (Área inicial de horta - 2024) do sistema agroflorestal	52
Tabela 12 - Caracterização dos tratamentos e porcentagem média de sombreamento em relação ao pleno sol.....	54
Tabela 13 - Desempenho da variável número de plantas sobreviventes de Coffea arabica L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade	55
Tabela 14 - Desempenho da variável altura de plantas de Coffea arabica L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade	58

Tabela 15 - Desempenho da variável diâmetro de caule de plantas de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1

ano de idade 59

Tabela 16 - Desempenho da variável número de pares de folhas de plantas de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade 61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAFs	Sistemas Agroflorestais
PRRC	Plano de Renovação e Revigoração dos Cafezais
IBC	Instituto Brasileiro do Café
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
ODS	Objetivo de desenvolvimento sustentável
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COMEX	Secretaria de Comércio Exterior
GEEs	Gases de Efeito Estufa
COP	Conferência das Partes
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.)
NDCs	Contribuições Nacionalmente Determinadas atualizadas
ONU	Organização das Nações Unidas
MUT	Mudanças no uso da terra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problema	20
1.2 Objetivo	20
1.3 Objetivo específicos	20
2 JUSTIFICATIVA	21
3 REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1 Desafios do modelo agrícola atual	23
3.2. A contribuição dos SAFs para a redução de emissões por mudança no uso da terra	24
3.3 Agroecologia e sistemas agroflorestais	25
3.4 A dinâmica sintrópica na concepção de sistemas agroflorestais biodiversos.....	26
3.5 Biodiversidade do Cerrado e os SAFs	28
3.6 Cultivo do café no Brasil	29
3.7 Produção de café no Brasil: entre a bienalidade e os eventos climáticos extremos	30
3.8 Cafeeiro e o sombreamento com espécies arbóreas	30
3.9 A cafeicultura no cerrado mineiro	31
4 METODOLOGIA	33
4.1 Caracterização da área de estudo	33
4.2 Histórico das áreas	36
4.3 Implantação de café nos SAFs.....	38
4.4 Coleta e Análise física e química do Solo	40
4.5 Levantamento da biodiversidade arbórea e luminosidade	42
4.6 Avaliações biométricas e análise dos dados	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Características física e química dos solos.....	43
5.2 Resultado do Levantamento da Biodiversidade Vegetal	50
5.3 Resultado da Luminosidade relacionado às espécies vegetais	53
5.4 Análise estatística das variáveis biométricas.....	54
5.5 Número de plantas sobreviventes (NPS)	55
5.6 Altura de plantas (H).....	57
5.7 Diâmetro de caule (D).....	59
5.8 Número pares de folhas (NPF)	60
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O movimento agroecológico tem despertado cada vez mais o interesse pela sua capacidade de integrar princípios ecológicos, socialmente éticos às práticas agrícolas sustentáveis. De acordo com Caporal *et al.* (2009), ainda que possa parecer demasiado filosófico, nunca é demais enfatizar que a agroecologia tem como um de seus princípios tanto a questão ética, entre os seres humanos, como da intervenção humana no meio ambiente.

Para Altieri (2004), o movimento agroecológico fornece uma estrutura metodológica de trabalho para a compreensão mais profunda tanto da natureza dos agroecossistemas como dos princípios segundo os quais eles funcionam. Trata-se de uma abordagem que integra os princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão e avaliação do efeito das tecnologias sobre os sistemas agrícolas e a sociedade como um todo.

O início da adoção desses agroecossistemas data de mais de 10.000 anos, quando populações tradicionais e ancestrais começaram a realizar cultivos biodiversos a partir do manejo de clareiras e da manutenção de árvores e arbustos em sistemas integrados ou em sucessão (Felipe *et al.*, 2023).

Os solos são pontos centrais para a intensificação ecológica e, conseqüentemente, para a segurança alimentar (SMITH *et al.*, 2016). A degradação do solo é uma preocupação global que afeta a qualidade ambiental e a sustentabilidade dos ecossistemas. Nesse contexto é fundamental realizar pesquisas que analisem os processos de mitigação dos efeitos deletérios do uso dos solos.

Diante desse cenário de degradação e da necessidade de mitigar seus impactos, os sistemas agroflorestais (SAFs) se apresentam como uma opção para promover uma transição agrícola mais biodiversa, sempre focada no processo de abundância e com potencial para recuperar o equilíbrio entre fatores físicos, químicos e biológicos do solo.

Para além da definição técnica, os SAFs também podem ser interpretados pelo conceito da agricultura sintrópica. Como afirmam Andrade e Pasini (2022), trata-se de um termo cunhado a partir de 2013 para nomear uma abordagem conceitual mais próxima do modelo de sistema que ele vinha desenvolvendo desde a década de 1990.

Fundamenta-se no mecanismo da sucessão ecológica como seu princípio central na condução para um sistema de produção energeticamente eficiente (mais fotossíntese

por área) e resiliente. Seu manejo busca replicar os processos de sucessão e ocupação no espaço semelhantes aos observados em florestas nativas (PENEIREIRO, 2003).

Ainda hoje os sistemas de cultivo em ambiente tropicais do Brasil pouco evoluíram no reconhecimento das peculiaridades dos solos tropicais e a sua intrínseca relação com a biodiversidade edáfica e dinâmica da matéria orgânica. Ecossistemas tropicais produzem 5,5 vezes mais biomassa do que ecossistemas temperados. Ou seja, solos tropicais quando obrigados a funcionar dentro das condições do clima temperado, trabalham muito precariamente (PRIMAVESI, 2016).

Segundo análise divulgada pelo MapBiomass Brasil (2025), entre 1985 e 2024 a Formação Florestal foi o tipo de cobertura nativa que mais perdeu área: uma redução de 62,8 milhões de hectares (-15%), extensão ligeiramente maior do que o território da Ucrânia. Em segundo lugar vem a Formação Savânica, que perdeu 37,4 milhões de hectares (-25%) – área maior do que a Alemanha. Paralelamente, pastagem e agricultura foram os usos da terra que mais se expandiram. A área ocupada com pastagem cresceu 62,7 milhões de hectares (+68%) e a agricultura, 44 milhões de hectares (+236%).

Nesse contexto, a implementação de práticas agroflorestais agroecológicas pode ser vista como uma estratégia duplamente eficaz, abordando simultaneamente questões de produção agrícola e contribuindo para a resiliência frente às mudanças climáticas. Adotar essa perspectiva, porém, implica questionar o paradigma convencional estabelecido.

Ainda hoje, a cafeicultura nacional é caracterizada por grandes áreas de monocultura a pleno sol, sistema também conhecido como cultivo convencional. Por tais questões, surge a necessidade de que novas técnicas de manejo fitossanitário e ou de sistema produtivos que venham a ser implantadas na cafeicultura com o uso dos conceitos das boas práticas de produção agrícola (BPA), da produção orgânica e agroecológica, como se apresentam os Sistemas Agroflorestais. Daí a importância em buscar métodos alternativos de produção, considerando que a sustentabilidade da cafeicultura tem sido trabalhada nas vertentes econômica, ambiental e social, além de processos de certificações (SOUZA, 2020).

A produção de café no Cerrado Mineiro difere de outras regiões tradicionais, como o Sul e a Zona da Mata de Minas Gerais, tanto pelo perfil fundiário quanto pela cronologia de ocupação. Enquanto nestas últimas regiões há uma sólida tradição baseada em um expressivo número de pequenos produtores familiares, a produção no Cerrado é mais recente e caracterizada pelo predomínio de médias e grandes

propriedades (OROZCO, 2018).

Esse perfil de agricultura empresarial favoreceu a adoção de um modelo intensivo cujos impactos extrapolam a esfera produtiva, mas é fundamental reconhecer que a cafeicultura de montanha também enfrenta desafios críticos de sustentabilidade, com impactos negativos significativos na conservação de água e solo.

Essa configuração foi consolidada por uma reordenação territorial estratégica, motivada pela necessidade de mitigar a vulnerabilidade climática da cafeicultura nacional após as geadas das décadas de 1960 e 1970. O principal indutor dessa transformação foi o Plano de Renovação e Revigoramento dos Cafezais (PRRC), criado em 1970 pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC), que direcionou recursos e incentivos fiscais para a implementação de cultivos 'racionais' e tecnificados em áreas climaticamente favoráveis, como as microrregiões de Uberlândia e Patrocínio. Esse suporte institucional e financeiro permitiu que uma região anteriormente não tradicional se tornasse um dos maiores e mais tecnificados polos produtores de café do país. (ORTEGA; JESUS, 2011).

Diante das limitações inerentes aos modelos convencionais, que podem elevar as taxas de erosão e comprometer a resiliência ecológica, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) surgem como uma alternativa estratégica e resiliente. Esses sistemas funcionam como uma ponte de transição, sendo capazes de promover agroecossistemas biologicamente equilibrados que conciliam a produção agrícola com a recuperação de funções ecológicas essenciais.

No Cerrado, o uso excessivo de água na agricultura transcende a mera questão do volume, revelando uma contradição estrutural do paradigma produtivista. Este modelo, que elevou a irrigação intensiva à condição de requisito indispensável, promove a segurança produtiva de curto prazo à custa da segurança hídrica e da resiliência ecológica de longo prazo.

Em razão da apropriação desigual da água, são crescentes os conflitos sociais, envolvendo o acesso à água por povos e comunidades locais, a preservação de seus modos de vida e os rumos do desenvolvimento rural regional (AFONSO, 2015). Frente a isso, a hipótese central que norteou este estudo é que a adoção de práticas agroecológicas, como

o uso de sistemas arborizados, pode ser uma estratégia viável e eficaz para a cultura do cafeeiro no Cerrado, mantendo o vigor produtivo das plantas ao mesmo tempo em que racionaliza o uso dos recursos e insumos da produção.

Assim esta pesquisa visa investigar e compreender o desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo), implantados sob diferentes composições agroflorestais no Cerrado Mineiro.

1.1 Problema

A degradação dos solos em áreas agrícolas e a dependência de sistemas irrigados representa um desafio crescente, comprometendo tanto a sustentabilidade ambiental quanto a produtividade das culturas (SMITH *et al.*, 2018). Nesse contexto, torna-se imperativo investigar a eficácia dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) como alternativa para criar condições equilibradas ao desenvolvimento inicial do cafeeiro no Cerrado mineiro.

O problema central deste estudo reside na lacuna de conhecimento sobre o comportamento e o desempenho biométrico do cafeeiro quando submetido à dinâmica de sistemas agroflorestais no bioma Cerrado. Embora os parâmetros biométricos de qualidade para o desenvolvimento inicial da cultura, como altura, diâmetro do caule e número de pares de folhas, sejam amplamente conhecidos e estabelecidos na cafeicultura convencional, subsiste a necessidade de investigar se o cultivo em SAFs permite que o cafeeiro atenda a esses referenciais de vigor. Essa investigação é fundamental para compreender como a interação entre a biodiversidade e o microclima desses sistemas influencia a resiliência ecossistêmica e a viabilidade produtiva do café em áreas alteradas.

1.2 Objetivo

O objetivo de pesquisa concentra-se na avaliação do crescimento e desenvolvimento vegetativo inicial do cafeeiro, implementados em SAFs com diferentes arranjos, como uma abordagem que direcione a diversificação e a resiliência da produção agrícola no Cerrado Mineiro.

1.3 Objetivo específicos

- Analisar o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) em diferentes arranjos agroflorestais.
- Avaliar dados de campo para compreender a eficácia prática dos sistemas agroflorestais (SAFs) na promoção da sustentabilidade do cultivo do cafeeiro.
- Fornecer subsídios e propor soluções para sistemas agrícolas frente às novas exigências climáticas, embasadas em evidências científicas.

2 JUSTIFICATIVA

O Cerrado é uma das regiões mais extensas e biodiversas de savana tropical do mundo (MITTERMEIER *et al.*, 2004), apresentando comunidades biológicas e ecossistemas altamente diversificados com numerosas espécies endêmicas. É uma área prioritária para biodiversidade, juntamente com 34 outras regiões do mundo, sendo escolhida como um dos 35 *hotspots* de biodiversidade, ou seja, uma das regiões com maior diversidade de espécies de plantas endêmicas, associada com elevadas taxas de degradação do habitat natural (MYERS 2000; MITTERMEIER *et al.* 2004).

Um dos principais agravantes enfrentados pelo bioma é o desmatamento, que em alguns casos está associado à atividade agropecuária. O Brasil perdeu só nos últimos 5 anos cerca de 8.558.237 ha de vegetação nativa. Considerando 2023, mais de 85% da área desmatada ocorreu nos biomas Amazônia e Cerrado. Embora o Cerrado tenha uma participação de apenas 32,2% no número total de alertas, sua área total desmatada representa mais da metade do total da área desmatada do país 60,7% (MAPBIOMAS, 2024). Vale ressaltar que o desmatamento é quase em sua totalidade para atividades agropecuárias.

Nesse contexto os sistemas agroflorestais aliados à implementação de práticas agroecológicas representam uma abordagem promissora para reverter a degradação do solo, ao integrar princípios ecológicos que visam a regeneração, a biodiversidade e a sustentabilidade a longo prazo (GLIESSMAN, 1990).

Os sistemas agroflorestais (SAFs), conduzidos sob bases agroecológicas, transcendem qualquer modelo pronto e sugerem sustentabilidade por partir de conceitos básicos fundamentais, aproveitando os conhecimentos locais, desenhando sistemas adaptados para o potencial natural do lugar (GÖTSCH, 1995).

Práticas agroecológicas, ao promoverem a regeneração do solo, também contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, através do sequestro e armazenamento de carbono no solo e da redução da pegada de carbono associada à agricultura convencional (TOENSMEIER, 2016). Nesse sentido, o sequestro de carbono apresenta também uma valiosa dimensão socioeconômica.

O sequestro de carbono por árvores vem sendo proposto como uma estratégia para gerar renda complementar para cafeicultores, além de conferir vantagens mercadológicas associadas à sustentabilidade, como a produção de café orgânico ou certificado (ALVARENGA; MARTINS, 2004).

Nesse contexto, refletir sobre a cafeicultura é crucial, uma vez que, além de representar um dos pilares socioeconômicos e culturais do Brasil, constitui uma das cinco potencialidades agrícolas mais comercializadas no mundo, o que ressalta a importância dessa cultura agrícola na sociedade atual (FERRÃO *et al.*, 2017).

A escassez de estudos que ofereçam uma análise crítica e baseada em evidências sobre a eficácia de Sistemas Agroflorestais Agroecológicos (SAFs) na regeneração do solo do Cerrado Mineiro, especialmente na região do Triângulo Mineiro, e sua conciliação com a cafeicultura evidencia a relevância de pesquisas que visem contribuir para a redução dessa lacuna e fornecer subsídios científicos para orientar práticas agrícolas futuras.

Além disso, essa linha de pesquisa se alinha com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), incluindo a erradicação da fome, a promoção da agricultura sustentável, a conservação da biodiversidade e a ação contra as mudanças climáticas (FLORES; BECKER, 2017).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico sistematiza o embasamento científico necessário para a compreensão da transição entre os modelos agrícolas convencionais e os sistemas de base agroecológica. Para tanto, a discussão percorre desde a análise das limitações e impactos do modelo produtivo atual até a fundamentação dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) e da agricultura sintrópica como estratégias de resiliência. Por fim, contextualiza-se a dinâmica da cafeicultura no Brasil, com foco especial na consolidação e nos desafios climáticos enfrentados pela produção no Cerrado Mineiro.

3.1 Desafios do modelo agrícola atual

O modelo de produção agrícola predominante nas últimas décadas, vive um período de crise, já que se mostra como uma atividade antagônica aos processos naturais, redução da biodiversidade, fragmentação dos ecossistemas naturais, contaminação do solo e uso excessivo de água freática. Além disso, é altamente dependente de insumos externos, com custos ambientais elevados e sérios reflexos sociais (PENEIREIRO, 1999).

Segundo Relatório do IBAMA sobre a comercialização de agrotóxicos no Brasil, os 10 ingredientes ativos mais comercializados no Brasil no ano de 2023 foram:

(IBAMA, 2024). Essa lista evidencia um modelo produtivo ainda profundamente ancorado no controle químico de plantas daninhas, pragas e doenças, que afetam as principais culturas agrícolas brasileiras, sobretudo as chamadas produtoras de *commodities*, como soja, milho, café, algodão e cana-de-açúcar.

Paradoxalmente, os esforços para diminuir a dependência de fertilizantes importados não são capazes de conter o ritmo de crescimento da demanda. Enquanto se buscam alternativas, a necessidade de insumos externos só aumenta, aprofundando uma vulnerabilidade estratégica que o país ainda não conseguiu superar.

Como registrado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), as compras de agosto de 2025 apresentaram um volume recorde mensal para toda a série histórica acompanhada, atingindo 5,2 milhões de toneladas (CONAB, 2025). Esse movimento reflete um planejamento de longo prazo, com informações que dão conta de aquisições relacionadas já para a segunda safra de milho em 2026 e para a soja da temporada 2026/27.

Esse cenário é corroborado pelos dados da Secretaria de Comércio Exterior (COMEX), que indicam que as importações brasileiras de fertilizantes totalizaram 29,45

milhões de toneladas no acumulado de janeiro a agosto de 2025, representando um crescimento de 8,59% em relação ao mesmo período de 2024 (COMEX, 2025). A análise da logística de entrada detalha que em 2024 foram internalizadas pelo porto de Paranaguá 7,56 milhões de toneladas; pelos portos do Arco Norte, 5,42 milhões; e por Santos, 4,85 milhões de toneladas (CONAB, 2025).

Apesar da pressão dos custos de produção, as safras recordes sucessivas consolidaram no produtor rural a percepção de retorno garantido no investimento em insumos. Esse fenômeno reforça a dependência de fontes externas como estratégia considerada inevitável no curto e médio prazo, mesmo em um contexto que exige maior autonomia. Estudos mostram que o uso de bioinsumos pode reduzir em até 50% o uso de fertilizantes sintéticos e até 70% de defensivos químicos (EPE, 2024; Schmidt et al., 2019)

A agricultura é responsável por aproximadamente 20% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEEs), sendo grande parte proveniente do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados e defensivos químicos (EPE, 2024). Assim urge uma demanda pela adoção de sistemas que otimizem todos os recursos naturais e os insumos externos, capazes de dar maior autonomia aos produtores além de aproveitar a vocação biológica dos solos tropicais, fortalecendo sua capacidade de resposta às alterações climáticas e impacto antrópico.

3.2. A contribuição dos SAFs para a redução de emissões por mudança no uso da terra

Identificar práticas de manejo sustentável que diminuam as emissões de gases de efeito estufa e promovam a conservação dos recursos naturais é crucial para que o Brasil cumpra os compromissos estabelecidos em acordos internacionais, como o Acordo de Paris de 2015, reafirmados durante a COP26 em 2021 e discutidos na COP29.

Conforme destacado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), durante a COP29, os países concluíram a regulamentação da estrutura global dos mercados de carbono, prevista no Artigo 6 do Acordo de Paris (MMA, 2023).

Esse marco foi alcançado após nove anos de negociações desde a adoção do Acordo, em 2015. Foram resolvidas questões críticas relacionadas à implementação dos Artigos 6.2, que regulam a transferência de resultados de mitigação entre países, e 6.4, que estabelece um mecanismo global para a geração de créditos de carbono por iniciativas privadas no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

Conforme ao relatório UNFCCC, durante a COP 30 países responsáveis por 74% das emissões globais apresentaram as (NDCs) Contribuições Nacionalmente Determinadas atualizadas UNFCCC (2025). No entanto, elas representam menos de 15% dos cortes de emissão necessários até 2035 para limitar o aquecimento a 1,5 °C. Análises da ONU alertam que, mesmo com esses novos compromissos e políticas vigentes, a trajetória atual ainda aponta para um aumento perigoso de acima de 2,3 °C desalinhado das metas de Paris.

Estudos indicam que as atividades agrícolas associadas às mudanças no uso da terra (MUT) respondem por 94% das emissões brasileiras de gases de efeito estufa (CERRI *et al.*, 2009).

Análises comparativas indicam que os SAFs apresentam um potencial de armazenamento de carbono orgânico entre 25% e 40% superior ao das monoculturas (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004). Ao sequestrar carbono tanto na biomassa vegetal quanto no solo, os SAFs contribuem significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Estima-se que sistemas agroflorestais bem manejados possam sequestrar de duas a cinco toneladas de carbono por hectare ao ano (EMBRAPA, 2022).

Padovan *et al.* (2022) salientam que essas características também favorecem a ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, melhorias dos atributos do solo, entre outros processos naturais, fortalecendo a recuperação de áreas degradadas.

Nesse contexto, os SAFs emergem como alternativa viável para conciliar a produção agrícola com práticas sustentáveis, servindo como ponte de transição entre o modelo convencional, marcado pelos impactos na qualidade do solo, e o desenvolvimento de agroecossistemas biologicamente equilibrados.

3.3 Agroecologia e sistemas agroflorestais

O termo agroecologia existe desde os anos 1930. Porém, a importância científica foi demarcada a partir dos últimos quarenta anos, com o aprofundamento da reflexão teórica sobre o manejo dos agroecossistemas e das críticas ao modelo de desenvolvimento agrícola (MOREIRA e CARMO, 2004). Sociedades humanas tiveram suas histórias de expansão e decadência fundamentadas em um impasse elementar: o uso insustentável de recursos naturais (MONTGOMERY, 2007).

Segundo Altieri (2004), agroecologia incentiva os pesquisadores a penetrar no conhecimento e nas técnicas dos agricultores e a desenvolver agroecossistemas com uma dependência mínima de insumos agroquímicos externos.

Algumas experiências no ramo da agricultura alternativa foram o embrião para a constituição de processos de ensino e aprendizado dedicados a uma educação voltada para a sustentabilidade, consolidando-se não apenas por meio de ações pontuais de educadores ou estudantes, mas também em ações coletivas que articularam iniciativas voltadas para o ensino, a pesquisa e a extensão (ABA-Agroecologia, 2013).

Além disso, também existem trabalhos desenvolvidos por pesquisadores, professores e extensionistas rurais (PADOVAN *et al.*, 2021). A troca de experiências e de saberes entre agricultores, bem como entre agricultores e técnicos, tem sido uma das principais metodologias adotadas para facilitar a compreensão, construir novos conhecimentos e estimular os agricultores a empreenderem outras iniciativas (PADOVAN *et al.* 2022).

Referente às pesquisas de Primavesi (2018), a natureza reage a qualquer modificação do solo, adaptando prontamente a sua associação vegetal e microbiana às novas condições de vida. O que a terra não possui o homem não pode receber, e o que a planta não consegue tirar da terra, o homem não receberá (PRIMAVESI, 2020).

Primavesi (2016) acrescenta que a agricultura natural não “vê” fatores isolados, mas sempre considera o inteiro da natureza: os sistemas naturais, os ciclos vitais e a humanidade dentro do sistema, ou seja, ela “almeja” sua recuperação e manutenção.

A reconciliação entre as ciências ecológicas e agrônômicas aponta caminhos para a sistematização de agroecossistemas biodiversos, resilientes, energeticamente eficientes e socialmente justos (GLIESSMAN, 2001; ALTIERI, 2004).

A agricultura, dessa forma, passa a ser uma tentativa de harmonizar as atividades humanas com os processos naturais de vida, existentes em cada lugar que atuamos. Para conseguirmos isto é preciso ocorrer em nós mesmos uma mudança fundamental, uma mudança na nossa compreensão da vida (GOTSCH, 1997).

3.4 A dinâmica sintrópica na concepção de sistemas agroflorestais biodiversos

Na última década, foram registradas diversas iniciativas de implantação de SAF's biodiversas em diferentes regiões do Brasil, impulsionadas por capacitações realizadas por consultores como Ernst Götsch, entre outros, que difundem os princípios da Agricultura Sintrópica. Essa abordagem propõe um modelo de manejo que busca replicar os processos naturais de sucessão e organização. Para compreender a base científica dessa dinâmica, é necessário recorrer à distinção entre os conceitos de entropia e sintropia. Enquanto a entropia representa o grau de desordem de um sistema isolado, o conceito demonstrado na prática por Götsch propõe o oposto: a sintropia

como princípio de organização e construção da vida.

O conceito de entropia, apresentada pela segunda lei da termodinâmica, que indica a multiplicidade de microestados associados a um macroestado, ou seja, o grau de liberdade com o qual os átomos podem se configurar para alcançar um estado de equilíbrio (VALIM, 2021).

Em outras palavras, a entropia representa o grau de desordem, a incerteza ou a proximidade ao equilíbrio de um sistema termodinâmico isolado. Consequentemente, quanto maior for o número de interações caóticas e não coordenadas entre os microestados, maior será a desordem do sistema. Este é o princípio universal de degradação e dispersão de energia.

Segundo Caporal (2009), a Lei da Entropia presente na agricultura industrial, para viabilizar os níveis de produtividade, foi desenhada como um sistema dependente do seu entorno de modo que ela só funciona mediante a introdução massiva de insumos externos. Seu funcionamento é altamente dependente de energias e materiais “de fora” do seu agroecossistema, e esta dependência é tanto maior quanto mais simplificado for o desenho do sistema produtivo, como é o caso dos grandes monocultivos.

Ernest Götsch propõe e demonstra na prática o conceito oposto e complementar: a sintropia. Enquanto a entropia tende à desordem e à homogeneização, a sintropia é o princípio da organização, da complexificação e da construção de vida (GÖTSCH, 1992). Em um sistema sintrópico, como uma floresta ou um agroecossistema bem-manejado, quanto maior e mais diversificado for o número de interações entre os organismos (seus "microestados" vivos), maior será a ordem, a resiliência e a acumulação de energia e recursos (ANDRADE; PASINI, 2022).

A vida, em sua dinâmica, muda estado e cria estruturas complexas que capturam e armazenam energia, gerando um afastamento do equilíbrio e um aumento contínuo da organização. A sintropia, portanto, não nega a entropia, mas mostra como a vida é capaz de criar ilhas de ordem ao seu redor, transformando a dispersão em concentração e o caos em harmonia produtiva. Assim, conceitualmente, as plantas são seres altamente sintrópicos já que uma de suas principais características é a capacidade de transformar, organizar e otimizar fatores como água, minerais, raios solares/energia em sistemas de vida (GÖTSCH, 1992).

Contextualizando os conceitos de agricultura sintrópica, Rebello e Sakamoto (2022) ainda complementam que a agricultura convencional ou orgânica geralmente trabalha em duas dimensões: comprimento e largura. Isso significa que ela se atenta

apenas para o espaçamento bidimensional, seja para plantio de soja (*Glycine max* L.), laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), café (*Coffea arábica* L. e *C. canephora* Pierre ex Froehner), cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), capins (gramíneas) etc. A agricultura sintrópica, por sua vez, trabalha com quatro dimensões: largura, comprimento, altura (estrato ou andar) e tempo. Assim, oferece a cada planta um nicho que potencializa sua fotossíntese e diminui seu estresse (REBELLO; SAKAMOTO, 2022).

O planejamento agroflorestal visa assegurar uma cobertura vegetal contínua em todas as fases do desenvolvimento do sistema. O plantio adensado, o manejo da regeneração natural e a prática da poda contribuem para que todo o espaço seja ocupado, de maneira que os consórcios possam ser sincronizados e se substituir ao longo do tempo. Dessa forma garantir alta produção de biomassa e otimizar a dinâmica da matéria orgânica no sistema (PENEIREIRO, 2003).

3.5 Biodiversidade do Cerrado e os SAFs

O Cerrado é um bioma que possui uma complexidade ecológica ainda muito pouco entendida pela comunidade científica. Sendo essa a condição necessária para que legisladores, fomentadores de políticas públicas ambientais e representantes da sociedade atuem com coerência frente as peculiaridades do bioma e seu uso sustentável (RIBEIRO, *et al.*, 2021).

Apesar do reconhecimento da importância do bioma cerrado no que refere à biodiversidade, importância hidrográfica além de outros benefícios, somente a partir de 1998, com o então projeto “Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade do Cerrado e Pantanal”, passou-se a reconhecer a importância biológica e social deste bioma, hoje fortemente ameaçado (FERREIRA *et al.*, 2007).

Por isso, ressalta-se a importância dos SAFs como sistemas de manejo da terra que integram cultivos herbáceos e lenhosos simultânea e intencionalmente com fins produtivos, embasados nos princípios da agroecologia, que visam a provisão de múltiplos benefícios socioeconômicos, ecológicos e culturais, a promoção de autonomia e soberania das famílias no processo decisório, assim como a redução de insumos externos, que promovem o aumento da sustentabilidade e resiliência do sistema agroalimentar (PARRA *et al.*, 2018).

Os SAFs biodiversos representam uma opção promissora para enfrentar desafios como a perda de biodiversidade e degradação do solo. As espécies podem ser plantadas ao mesmo tempo ou em épocas diferentes, assim como as colheitas podem ser simultâneas ou escalonadas (ALTIERI, 2012).

A exploração dos solos no Brasil e a ausência de planos de conservação contribuíram para o forte processo de degradação. A ação humana catalisou esse acontecimento e hoje as taxas de erosão são 100 vezes maiores, por conta da ação antrópica, do que seriam se fosse considerada apenas ação geológica (CARVALHO, 2018).

Atualmente, os tipos de práticas mais empregadas nos solos brasileiros são as monoculturas e a pastagem, ambas realizadas, em muitos casos, com uso e manejo inadequados, que acabam por contribuir na intensificação dos processos de degradação, causando bruscas alterações na superfície terrestre, em intervalos de tempo consideravelmente inferiores aos que ocorreriam em um processo erosivo unicamente, ou majoritariamente natural (DEVIDE, 2013).

3.6 Cultivo do café no Brasil

Segundo Matiello (2020), o café foi introduzido no Brasil em 1727 por portugueses, que trouxeram sementes da Guiana Francesa, no entanto, ele só ganhou força econômica no início do século XIX, após a independência do país, tornando-se a base da economia nacional. O cultivo do café passou por diversas fases de implementação até se consolidar definitivamente na região Sudeste. Diversos problemas relacionados às condições climáticas como a geada negra de 1975 causaram graves prejuízos à cafeicultura paulista e dizimou os cafezais paranaenses, pondo fim à sua supremacia nacional. Esse evento climático acelerou uma mudança geográfica na produção cafeeira, que migrou em busca de condições climáticas mais favoráveis, consolidando-se no Cerrado Mineiro.

O cafeeiro pode ser cultivado tanto a pleno sol quanto sob sombra. No Brasil, a maioria dos plantios adota o sistema de monocultivo a pleno sol, uma vez que o melhoramento genético priorizou a adaptação da planta a essas condições. No entanto, nesse sistema, a cultura apresenta bienalidade produtiva e menor longevidade. Além disso, o monocultivo reduz a estabilidade ecológica do ambiente, favorecendo o surgimento de pragas e doenças que comprometem a produção e a qualidade do café (MARCOLAN *et al.*, 2009).

No Brasil, os cultivos tradicionais de café associados com árvores foram gradativamente substituídos ao longo do século XX por sistemas intensivos de produção, especialmente monocultivos e plantios superadensados, que predominam atualmente (VILLATORO, 2014)

Os principais fatores climáticos que influenciam a produção de café são: a

temperatura, chuvas, os ventos, a umidade do ar e a luminosidade, que interagem sobre o crescimento e produtividade das plantas e sobre a qualidade dos grãos produzidos (MATIELLO *et al.*, 2005).

Estudos científicos evidenciam a elevada sensibilidade da cultura cafeeira às variações climáticas, particularmente no que diz respeito à irregularidade pluviométrica e às oscilações térmicas. Conforme demonstrado por Assad e Magalhães (2014), um incremento de 6 °C na temperatura média atual poderia comprometer mais de 90% dos cafezais já estabelecidos. Esses apontamentos alertam para a urgência no desenvolvimento de estratégias de adaptação climática na cafeicultura.

3.7 Produção de café no Brasil: entre a bienalidade e os eventos climáticos extremos

Com a conclusão da colheita da safra cafeeira de 2025, caracterizada pelo ciclo de bienalidade negativa, a quarta estimativa da produção nacional indica 56,5 milhões de sacas de café de 60 kg beneficiadas, representando crescimento de 4,3% em relação ao volume obtido em 2024, safra de bienalidade positiva, porém prejudicada por adversidades climáticas, como baixos volumes de chuva, longas estiagens e temperaturas acima da média em grande parte das regiões produtoras (CONAB, 2025).

Comparando com a safra de 2024 em 54,2 milhões de sacas beneficiadas, 1,6% abaixo do volume produzido na safra 2023 e 1,1% abaixo da estimativa divulgada em setembro. Comparativamente à safra 2022, ano também de alta bienalidade, observa-se um crescimento de 6,5% ou 3,3 milhões de sacas. (CONAB, 2025).

Corroborando esses dados, Gomes *et al.* (2020) destacam que o aumento da temperatura associado a uma estação seca prolongada pode alterar a fotossíntese das plantas de café e causar o abortamento de flores, comprometendo assim a produtividade da cultura. Nesse contexto de adversidades climáticas, a dinâmica dos impactos econômicos das mudanças climáticas pode ser analisada sob duas óticas principais: os efeitos de um aquecimento global gradual e as consequências diretas de eventos climáticos extremos (BATTEN, 2018).

3.8 Cafeeiro e o sombreamento com espécies arbóreas

O sistema de arborização promove a interceptação da radiação incidente, contribuindo para a atenuação de extremos térmicos e redução da evapotranspiração, com consequente aumento da umidade relativa no microambiente das culturas. Essa técnica demonstra eficiência na proteção contra geadas na cafeicultura (MORAIS *et al.*, 2007), com evidências de que a temperatura foliar do cafeeiro em sistemas arborizados

pode atingir valores de 2 °C a 4 °C inferiores em comparação com cultivos a pleno sol (CARAMORI *et al.*, 1996).

Apesar da predominância do cultivo a pleno sol nas lavouras cafeeiras brasileiras, do ponto de vista evolutivo, o cafeeiro apresenta adaptações ao sombreamento, por ser originário de sub-bosques das florestas equatoriais da Etiópia e da Guiné, *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente (CAMPANHA, 2001). A cultura demonstra particular sensibilidade às elevadas temperaturas, especialmente a espécie *C arabica*.

Embora a prática agroflorestal de arborização de cafezais seja utilizada extensivamente nas principais regiões cafeeiras no Brasil, segundo Da Matta e Rena (2002), a principal justificativa para essa limitação na adoção reside na redução de produtividade associada ao sombreamento proporcionado pelas árvores.

Contudo, os efeitos da arborização sobre o desempenho produtivo do cafeeiro permanecem como tema controverso na literatura científica. Observam-se casos em que cafeeiros cultivados em sistemas arborizados apresentam produtividade satisfatória ou mesmo superior àquela obtida em cultivos a pleno sol. Conforme Da Matta (2002), o êxito da arborização estaria condicionado às características específicas do sítio e às práticas de manejo adotadas.

Nas regiões tropicais, a adoção de sistemas arborizados na cafeicultura demonstra eficácia na regulação microclimática, promovendo redução significativa da temperatura ambiente, melhoria nos índices de floração e diminuição das taxas de abortamento floral (Da MATTA *et al.*, 2007). Esses benefícios agroecológicos tornam a incorporação dessa prática uma estratégia sustentável e promissora para a cafeicultura contemporânea, particularmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

A expectativa é que os sistemas agroflorestais ofereçam alternativas para questões que ainda não foram bem resolvidas pela agricultura convencional, caracterizada pelo uso de grandes áreas com monoculturas em larga escala (ARCOVERDE, 2008).

3.9 A cafeicultura no cerrado mineiro

A consolidação do Cerrado Mineiro como polo cafeicultor deu-se a partir de uma reordenação territorial estratégica, impulsionada após as geadas das décadas de 1960 e 1970. Esse movimento visou mitigar a vulnerabilidade climática da produção nacional por meio da implantação de cultivos racionais em áreas climaticamente favoráveis e com menor propensão a novos episódios de geada.

Nesse cenário, o Plano de Renovação e Revigoramento dos Cafezais (PRRC),

estabelecido em 1970 pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC), direcionou recursos e incentivos para o cultivo técnico em microrregiões como Uberlândia, Patrocínio e Patos de Minas. Essa intervenção estatal transformou uma região não tradicional em um dos maiores e mais modernos centros produtores de café do país (ORTEGA; JESUS, 2011).

4 METODOLOGIA

O presente capítulo detalha os procedimentos metodológicos adotados para a condução da pesquisa, que consistiu na avaliação do crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) sob diferentes arranjos de Sistemas Agroflorestais (SAFs) e áreas de horta diversificada. O estudo, de caráter experimental e quantitativo, foi realizado em duas propriedades rurais no município de Uberlândia, MG. O percurso metodológico compreende desde a caracterização climática e pedológica das áreas de estudo até o monitoramento sistemático de variáveis bióticas (parâmetros biométricos e biodiversidade) e abióticas (luminosidade e atributos do solo), finalizando com as ferramentas de análise estatística utilizadas para o processamento dos dados coletados.

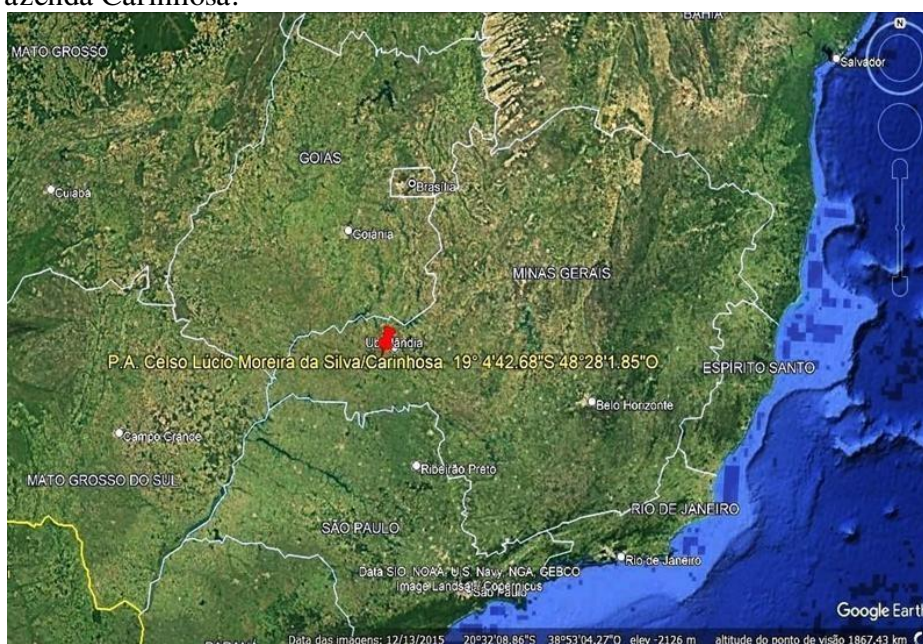
4.1 Caracterização da área de estudo

A região de Uberlândia, MG, possui um clima classificado como Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado como tropical com estação seca no inverno.

O clima Aw, também conhecido como tropical savânico, é predominante em grande parte do Brasil Central, incluindo a região de Uberlândia. Segundo Köppen (1936), esse clima é caracterizado por verões quentes e chuvosos e período de chuvas intensas entre outubro e março, com média anual de 1.500 mm, com temperaturas médias acima de 18 °C, predominantemente variando entre 20 e 24 °C, com invernos secos e amenos: estação seca bem definida entre abril e setembro, com redução significativa das chuvas e temperaturas mais amenas.

A área de estudo está contida na região do Cerrado Mineiro e contempla duas propriedades: Sítio Videira e Sítio Nossa Senhora da Guia (Figura 1). Ambas localizadas dentro do Projeto de Assentamento Celso Lúcio Moreira da Silva/Fazenda Carinhosa, na zona rural do município de Uberlândia-MG, a aproximadamente 26 km do perímetro urbano, na direção oeste pela estrada municipal 257, no quilômetro 5.

FIGURA 1 - SEQ Figure * ARABIC 1 – ponto Assentamento Celso Lúcio Moreira da Silva/Fazenda Carinhosa.



Fonte: elaborado pelo autor com dados do Google Earth. (2025).

A distância linear entre os sítios experimentais Nossa Senhora da Guia e Videiras é de aproximadamente 2,5 km (Figura 2), pesar disto, observam-se classes distintas de solo.

No sítio Nossa Senhora da Guia (tratamentos T1, T2 e T3) predomina Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura média, constituídos por material mineral, apresentando horizontes B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 2018). Os latossolos são solos altamente intemperizados e profundos, com boa drenagem, localizados em áreas de relevo plano a suave-ondulado (REATTO; MARTINS, 2005).

No sítio Videiras (tratamentos T4, T5, T6 e T7); predomina Neossolo Quartzarênico (RQo). Os Neossolos podem ser divididos em três subclasses, com comportamentos hídricos distintos, sendo os Neossolos Quartzarênicos, os mais homogêneos e profundos. Solos de textura arenosa e bem drenados, ocorrendo em áreas planas ou suave-onduladas (REATTO; MARTINS, 2005). Conforme a EMBRAPA (2018), o perfil apresenta horizontes A e C (ausência de B), com textura areia franca em todos os horizontes até pelo menos 150 cm de profundidade.

FIGURA 2 - Distância linear 2482m entre os dois sítios

Fonte: elaborado pelo autor com dados do Google Earth. (2025)

O desenho experimental é composto por sete tratamentos (SAF/2022 – T1/T2, A.H./2016 – T3, SAF/2015 - T4/T5, SAF/2019 - T6, I.H./2024 – T7) (quadro 1), representando sistemas agroflorestais, que variam a composição das espécies e a data de implementação (entre 2015 e 2022). Em cada tratamento, foram plantadas e avaliadas 90 mudas de café da espécie *C. arabica* L. cultivar Mundo Novo, durante o período de um ano.

QUADRO 1 - Descrição dos tratamentos, e número de plantas, sítios experimentais, sistema de cultivo e número de plantas de café (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo)

Tratamento (código)	Sítio	Uso anterior do solo	Sistema / Área de implantação	Ano de estabelecimento	Número de plantas
T1	Nossa Senhora da Guia	Pastagem Degradada	Sistema Agroflorestal (SAF)	2022	90
T2	Nossa Senhora da Guia	Pastagem Degradada	SAF com Adubação Adicional	2022	90
T3	Nossa Senhora da Guia	Pastagem Degradada	Área de Antiga Horta (A.H.)	2016	90

Tratamento (código)	Sítio	Uso anterior do solo	Sistema / Área de implantação	Ano de estabelecimento	Número de plantas
T4	Videira	Pastagem Degradada	Sistema Agroflorestal (SAF)	2015	90
T5	Videira	Pastagem Degradada	SAF com Adubação Adicional	2015	90
T6	Videira	Pastagem Degradada	Sistema Agroflorestal (SAF)	2019	90
T7	Videira	Pastagem Degradada	Área Inicial de Horta (I.H.)	2024	90

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da pesquisa (2024).

Nota: A.H. = Antiga Horta; I.H. = Horta Inicial

4.2 Histórico das áreas

As duas propriedades onde o experimento foi instalado são geridas por famílias agricultoras que desenvolvem práticas mais sustentáveis, com foco na agroecologia e na implementação de Sistemas Agroflorestais biodiversos (SAFs).

Ambas as propriedades anteriormente eram ocupadas por pastagens degradadas, e após o assentamento das famílias iniciou um processo conjunto de recuperação do solo e da biodiversidade, utilizando princípios agroecológicos.

A implementação dos SAFs foi uma alternativa escolhida nessa área com objetivo principal na restauração ecológica, promovendo a integração de remanescentes florestais e espécies arbóreas, cultivos agrícolas e a regeneração natural do solo, visando a criação de um sistema produtivo mais equilibrado e sustentável.

Assim o manejo agroecológico adotado pelas famílias foi baseado em práticas que buscam replicar os processos naturais de sucessão ecológica, com o intuito de recuperar a fertilidade do solo e aumentar a biodiversidade local.

A adoção de técnicas como o plantio consorciado, a adubação orgânica e a manutenção da cobertura vegetal também foram essenciais para reverter o processo de degradação das pastagens. Essas práticas visam à melhoria da qualidade do solo e à criação de um ambiente mais favorável ao desenvolvimento de culturas valorizadas, como o café.

Quanto ao manejo do solo verificou-se que as duas famílias agricultoras participantes do estudo não conseguiram precisar a quantidade exata de adubo utilizada durante a fase de implantação dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) em suas propriedades, seja devido à falta de registros detalhados ou à variação nas práticas de manejo.

Anteriormente à implementação do Sistema Agroflorestal iniciada em 2022 (SAF/2022 – T1/T2) e da área de antiga horta iniciada em 2016 (A.H./2016 – T3), no sítio Nossa senhora da Guia o espaço era predominantemente coberto por pastagem degradada com *Brachiaria brizantha*. Durante a fase de transição para cultivos agroecológicos, os principais insumos utilizados foram: esterco curtido, pó de rocha (basalto) e calcário.

Na área correspondente à antiga horta (A.H./2016 – T3), aplicaram-se Yoorin e EKozil em dosagem reduzida, com adubação localizada para o plantio de hortaliças. Adicionalmente, todas as áreas receberam suplementação de matéria orgânica, por meio da incorporação de resíduos de poda, visando à cobertura e proteção do solo.

No Sítio Videira, ambas áreas eram originalmente compostas por pastagem degradada de *Brachiaria brizantha*, convertido para o sistema agroflorestal iniciado em 2015 (SAF/2015 - T4/T5). Nessa fase, empregou-se apenas esterco de cobertura, folhas e grande quantidade de material lenhoso na implantação do sistema. No sistema agroflorestal iniciado em 2019 (SAF/2019 - T6), utilizaram-se calcário, esterco, pó de rocha (basalto), além de dosagens reduzidas de Yoorin e EKosil durante a fase de transição, quando o sistema ainda funcionava como horta.

Na área de horta inicial, implementada em 2024 (I.H./2024 – T7), realizou-se o revolvimento do solo com enxada rotativa acoplada ao motocultivador. Após essa operação, levantaram-se canteiros para receber mudas de café e hortaliças consorciadas. Aplicaram-se os seguintes insumos por berço de plantio do café: pó de rocha (basalto), calcário, esterco, Yoorin, Ekosil e fertilizante mineral complexo (FTE BR-12 com micronutrientes).

Os manejos realizados em todos os tratamentos durante a pesquisa estão presentes no (Quadro 2).

QUADRO 2 - Cronograma de manejo e coleta de dados para os tratamentos T1 a T7

Atividade / Mês											
Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	

Roçada das Entrelinhas
● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Irrigação (2x/semana)
● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Capina, Poda, Manutenção
● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Coleta de Dados
● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Adubação adicional (T2 e T5)
●

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Legenda: ● = Atividade realizada no mês.

4.3 Implantação de café nos SAFs

Os experimentos foram instalados no dia 16 de novembro de 2024 nos sistemas agroflorestais já estabelecidos, dentro dos dois sítios. Cada parcela experimental ocupa uma área de 30 m x 10 m, totalizando 300 m² por tratamento, totalizando área total ocupada de 2.100 m², considerando ambos os sítios.

O arranjo experimental, contou com sete tratamentos, em delineamento de amostras pareadas (ou dependentes), sendo cada tratamento equivalente a uma única parcela. Cada tratamento foi constituído por três linhas de plantio com 30 mudas de café cada, totalizando 90 indivíduos por tratamento. Foram realizadas nove avaliações biométricas ao longo do ciclo, coletando-se dados de altura da planta, diâmetro do caule, número de pares de folhas e contagem de plantas estabelecidas em todos os 630 indivíduos (7 tratamentos × 90 mudas).

No Sítio Nossa Senhora da Guia, (Figura 3) foram estabelecidos SAF/2022 (T1). E na mesma área com adubação adicional SAF/2022 (T2) e uma área de antiga horta (A.H) /2016 (T3), totalizando 270 plântulas de café para avaliação em T1, T2 e T3.

FIGURA 3 - Ponto demarcado P.A Celso Lucio Moreira da Silva. Campo experimental Sítio Nossa Senhora da Guia tratamento T1, T2, T3.



Fonte: elaborado pelo autor Google Earth. (2025).

No Sítio Videira, (Figura 4) foram implantados SAF/2015 (T4), e na mesma área com adubação adicional em SAF/2015 (T5), SAF/2019 (T6) e uma área inicial de horta (I.H) /2024 (T7), totalizando 360 plantas de café. Considerando os dois sítios, o experimento contou com um total de 630 plantas de café implementadas.

FIGURA 4 - Ponto demarcado P.A Celso Lucio Moreira da Silva. Sítio Videiras campo experimental- tratamento T4, T5, T6, T7.



Fonte: elaborado pelo autor. Google Earth. (2025)

Para o plantio das mudas, foram abertos manualmente berços de plantio com dimensões de 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m (MATIELLO *et al.*, 2015), os quais receberam adubações descritas a seguir.

A adubação nos tratamentos T1 a T6, aplicou-se por berço: 50 g de Yoorin® Mg (18% de P₂O₅ total, 18% de Ca, 7% de Mg, 10% de Si); 50 g de Ekosil® (8% de K₂O, 25% de Si total, 1% de Ca, 0,15% de Mg, 0,15% de Mn, 0,01% de Zn, 0,0004% de Co); 50 g de pó de rocha (basalto); e 200 g de esterco de frango curtido. Ambos os fertilizantes são certificados para produção orgânica pelo IBD. A incorporação ao solo foi realizada manualmente. Referente à adubação adicional, os tratamentos T2 e T5 receberam uma aplicação suplementar de 50 g de Yoorin® e 50 g de Ekosil® por planta no mês de fevereiro.

No tratamento T7 os insumos aplicados foram: pó de rocha (basalto) 50 g m⁻², calcário 50 g m⁻², esterco 400 g m⁻², Yoorin 50 g por berço de plantio do café, Ekosil 50 g por berço de plantio do café e fertilizante mineral complexo (FTE BR-12 com micronutrientes) 50 g m⁻².

No delineamento de amostras pareadas, para cada tratamento foi composto por 90 plantas totalizando 270 plantas no Sítio Nossa Senhora da Guia (T1, T2, T3) e 360 plantas no Sítio Videira (T4, T5, T6, T7). Assim, a pesquisa envolveu um total de 630 plantas em avaliação.

O sistema de irrigação por aspersão (modelo bailarina) foi instalado e revisado em janeiro de 2025. Ambos os sítios receberam molhamento uniforme durante períodos críticos de déficit hídrico. No período de estiagem, adotou-se um regime de duas regas nas plantas para reduzir o estresse térmico e hídrico superficial, sem aumentar a lâmina de água no solo (próximo à capacidade de campo).

4.4 Coleta e Análise física e química do Solo

A análise dos atributos do solo, realizada previamente ao plantio das mudas nos diferentes tratamentos, constituiu uma etapa fundamental para a compreensão da dinâmica nutricional dos sistemas em estudo.

A Figura 5 ilustra as amostras de solo coletadas para análises químicas e físicas. Foram seguidos procedimentos padronizados para assegurar a representatividade da área avaliada, seguindo orientações de Santos *et al.*, (2018). Assim, foi utilizado trado holandês para coletar subamostras em diversos pontos da área de interesse, adotando um padrão em zigue-zague de forma aleatória. As amostras de todas as áreas (T1/T2, T3, T4/T5, T6, T7) coletadas para o experimento foram separadas em linhas e entrelinhas,

nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, para análises químicas e físicas.

Em cada área delimitada de 30 x 10 m por tratamento, foram coletadas 5 subamostras, que foram homogeneizadas em um balde limpo para formar uma amostra composta. Dessa amostra composta, foi retirada uma porção de aproximadamente 500 g para envio ao laboratório. Esse procedimento tem como objetivo garantir que a amostra fosse representativa das condições do solo na área estudada.

FIGURA 5 - Coleta de solo para análises físicas e química



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

As amostras de solo foram encaminhadas e analisadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS), onde foram avaliados os seguintes parâmetros químicos: teor de fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio trocável (Al^{3+}), pH em água, acidez potencial ($H+Al$), soma de bases trocáveis (SB), carbono orgânico (CO), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e capacidade de troca catiônica total (T) a pH 7,0, além da saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), e micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), seguindo as metodologias padronizadas pela Embrapa (2017).

Os macronutrientes são requeridos em quantidades mais elevadas, variando de 1 a 15 g kg⁻¹, e incluem nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Já os micronutrientes são absorvidos em quantidades menores, na faixa de 0,1 a 100 mg kg⁻¹, e compreendem ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni). O níquel foi reconhecido

como nutriente essencial para as plantas em 1987, após atender aos três critérios de essencialidade estabelecidos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

4.5 Levantamento da biodiversidade arbórea e luminosidade

O levantamento da biodiversidade vegetal foi conduzido por meio de inventários florísticos, aplicados integralmente a todos os tratamentos experimentais.

A intensidade luminosa foi monitorada uma vez em cada tratamento, entre 12h e 13h, em 6 pontos estratégicos de cada parcela, próximos à altura das plantas de café, ou seja, no topo do dossel dos cafeeiros. Para isso, utilizou-se um luxímetro digital portátil com o objetivo de quantificar a disponibilidade de luz em cada parcela.

4.6 Avaliações biométricas e análise dos dados

Em cada um dos SAFs foram realizadas nove avaliações ao longo do tempo, com o intervalo de 30 dias entre elas, considerando os seguintes parâmetros morfológicos: a) Altura da parte aérea (H): mensuração da distância da superfície do substrato à folha mais alta, em centímetros, com auxílio de uma régua graduada; b) Diâmetro do caule (D): mensuração da espessura do colo da planta, em milímetros, com auxílio de paquímetro; c) Pares de folhas (NPF): contagem simples do número de pares de folhas ativas no momento; d) Número de Plantas (NPS): quantificação de plantas sobreviventes dentro de cada tratamento.

Como os dados obtidos só permitiram a Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas, devido às amostras pareadas, após a verificação dos pressupostos estatísticos eles foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para determinar a normalidade dos erros, ao teste de Bartlett para determinar a homoscedasticidade das variâncias, e teste não paramétrico de Friedman. Todas as análises foram realizadas no ambiente estatístico R, versão 2025.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a análise integrada dos dados coletados durante o primeiro ano de estabelecimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes arranjos agroflorestais e sistemas de horta. A discussão está estruturada de modo a correlacionar os atributos físicos e químicos das duas classes pedológicas identificadas (Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico) com os gradientes de biodiversidade e luminosidade observados nos tratamentos. Adicionalmente, são detalhados os resultados das variáveis biométricas das plantas, interpretados à luz da resiliência gerada pela maturidade dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) frente às adversidades climáticas do Cerrado, como a restrição hídrica e a ocorrência de geadas. Essa abordagem permite compreender como a sinergia entre os componentes bióticos e abióticos influencia a sobrevivência e o vigor vegetativo inicial da cultura.

5.1 Características física e química dos solos

Com base na análise granulométrica, presente na (Tabela 1) os solos de todos os tratamentos foram classificados com textura média, conforme o sistema proposto pela Embrapa (2018). Contudo, essa classificação uniforme mascara uma variação pedológica fundamental nas áreas onde as mudas de café foram implantadas, sendo decisiva para a interpretação dos resultados.

TABELA 1 - Distribuição granulométrica e classificação textural do solo amostras de linha e entrelinha do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, referente aos tratamentos de T1 a T7

Amostra	Areia grossa (g kg ⁻¹)	Areia fina (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe textural
T1/T2 Linha_0-20	263	444	113	180	Média
T1/T2 Entrelinha_0-20	277	458	101	164	Média
T3 Linha_0-20	225	518	52	205	Média
T3 Entrelinha_0-20	225	518	50	207	Média
T4/T5 Linha_0-20	528	326	26	120	Média
T4/T5 Entrelinha_0-20	499	323	24	154	Média
T6 Linha_0-20	519	316	20	145	Média
T6 Entrelinha_0-20	588	265	25	122	Média
T7 Inicial_0-20	441	340	86	133	Média

Fonte: elaborado pelo autor - Laboratório de Manejo de Solos - LAMAS/UFU (2024).

Nota: A classificação textural foi determinada com base no Sistema de Classificação de Solos da EMBRAPA, utilizando os teores de areia, silte e argila. T1/T2 e T3 referem-se a Latossolo Vermelho Distrófico; T4/T5, T6 e T7 referem-se a Neossolo Quartzarênico.

Os tratamentos estabelecidos no Latossolo Vermelho Distrófico (T1, T2, T3) apresentam teores de argila entre (164 a 207 g kg⁻¹), os latossolos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados normalmente por sua baixa a média capacidade de troca de cátions. Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade (SOUSA, 2021).

Enquanto aqueles implantados no Neossolo Quartzarênico Órtico (T4, T5, T6, T7) predomina solos arenosos, com teores de areia total frequentemente superiores a 800 g kg⁻¹ e argila entre 120 e 154 g kg⁻¹. Conforme destacam Lepsch (2010) e Embrapa (2018), nos solos tropicais intemperizados a dinâmica da água e dos nutrientes é governada predominantemente pela relação antagônica entre argila (retenção) e areia (drenagem), nesse caso assume grande importância o grau de agregação e organização das partículas, fortemente desenvolvida nos Latossolos e ausente nos Neossolos.

A profundidade e permeabilidade, principalmente para os Neossolos, (EMBRAPA, 2018) devido uma limitação estrutural significativa: a textura predominantemente arenosa ao longo do perfil. Esta condição resulta em baixa coesão entre as partículas, conferindo ao solo uma elevada suscetibilidade à erosão. A arenosidade, portanto, constitui-se em um fator crítico de instabilidade física que demanda estratégias de manejo específicas para a contenção de processos erosivos.

Essa condição de fragilidade física impõe um cenário radicalmente diferente daquele encontrado em solos argilosos, onde a maior capacidade de retenção de nutrientes e água permite uma dinâmica química mais estável. Para entender esse contraste, é fundamental revisar como as plantas demandam e como os solos fornecem os nutrientes essenciais

A aplicação prática desses fundamentos é claramente observada nos resultados do presente estudo, que demonstram como a classe pedológica é um determinante primário da expressão da fertilidade química. Um solo fértil é aquele que contém, em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais em forma assimilável. Esse solo deve estar razoavelmente livre de materiais tóxicos e possuir propriedades físicas e químicas que atendam a demanda dos vegetais (RONQUIM, 2010)

A análise integrada dos atributos físicos e químicos do solo revela padrões distintos de fertilidade entre os tratamentos estudados, fortemente condicionados pela classe pedológica. Nos Latossolos Vermelhos Distróficos (tratamentos T1/T2/T3), dados presentes nas (Tabelas 1, 2 e 3), a maior fração argilosa (164–207 g kg⁻¹) proporciona uma capacidade de troca catiônica (CTC) T1/T2 variando de 5,58 entre

10,02 cmol_c dm⁻³ e T3 com 4,35 entre 6,31 cmol_c/dm³.

TABELA 2 - Resultados de Análise Química de Solo – T1/T2 Linha e T1/T2 Entrelinha

		T1/T2	SAF (2021)		
Parâmetro	Unidade	Linha (0-20 cm)	Linha (20-40 cm)	Entrelinha (0-20 cm)	Entrelinha (20-40 cm)
pH (água)	-	8,2	8,0	8,2	8,0
P (Mehlich-1)	mg/dm ³	7 143,6	5 32,7	7 300,4	89,65
K	mg/dm ³	96,3	48,6	138,2	42,6
Ca	m ³ cmol/d	4,48	4,32	8,21	6,56
Mg	m ³ cmol/d	1,07	1,04	1,45	1,04
Al	m ³ cmol/d	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al	m ³ cmol/d	0,07	0,11	0,00	0,10
SB	m ³ cmol/d	5,80	5,48	10,02	7,71
t	m ³ cmol/d	5,80	5,48	10,02	7,71
T	m ³ cmol/d	5,87	5,59	10,02	7,81
C-org	dag/kg	1,11	*	1,11	
V	%	98,81	3 98,0	100,0	98,72
m	%	0,00	0,00	0,00	0,00
S	mg/dm ³	10,56	*	55,28	*
B	mg/dm ³	0,26	*	0,33	*
Zn	mg/dm ³	8,16	5,42	9,81	12,97
Cu	mg/dm ³	1,14	1,85	1,18	1,24
Mn	mg/dm ³	15,66	2 12,7	18,23	15,38
Fe	mg/dm ³	21,56	7 45,7	48,74	30,49
MO	dag/kg	1,91	*	1,91	*
Ca/Mg	-	4,2	4,1	5,7	6,3
Ca/K	-	18,1	34,7	23,2	60,1
Mg/K	-	4,3	8,4	4,1	9,5

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados obtidos a partir de análises realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal (LABAS).

TABELA 3 - Resultados de Análise Química de Solo – (Antiga Horta -2015) T3 Linha e T3 Entrelinha

Parâmetro	Unidade	T3 Linha (0-20 cm)	T3 Linha (20-40 cm)	T3 Entrelinha (0-20 cm)	T3 Entrelinha (20-40 cm)
pH (água)	-	7,7	6,9	6,9	5,8
P (Mehlich-1)	mg/dm ³	9,22	2,17	5,73	2,45
K	mg/dm ³	120,2	40,6	124,2	50,5
Ca	cmol/dm ³	2,59	3,44	3,99	3,59
Mg	cmol/dm ³	1,04	0,45	0,94	0,46
Al	cmol/dm ³	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al	cmol/dm ³	0,41	0,43	1,07	1,38
SB	cmol/dm ³	3,94	3,99	5,24	4,18
t	cmol/dm ³	3,94	3,99	5,24	4,18
T	cmol/dm ³	4,35	4,42	6,31	5,56
C-org	dag/kg	*	*	*	0,78
V	%	90,58	90,28	83,05	75,19
m	%	0,00	0,00	0,00	0,00
S	mg/dm ³	9,34	*	8,43	*
B	mg/dm ³	0,24	*	0,44	*
Zn	mg/dm ³	4,87	2,48	2,23	2,77
Cu	mg/dm ³	3,76	1,38	1,85	1,06
Mn	mg/dm ³	6,64	4,79	4,79	5,22
Fe	mg/dm ³	37,93	24,44	75,83	25,53
MO	dag/kg	1,39	*	1,34	*
Ca/Mg	-	2,5	7,6	4,3	7,7
Ca/K	-	8,4	33,0	12,5	27,7
Mg/K	-	3,4	4,3	2,9	3,6

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados obtidos a partir de análises realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal (LABAS).

Como destacado pela Embrapa (2017), solos com teores de argila nessa faixa possuem maior capacidade de retenção de cátions, o que favorece a manutenção da fertilidade química. Essa condição sustenta valores mais elevados de bases (SB) e teores adequados de potássio, refletindo um bom potencial químico. Contudo, a marcante alcalinidade (pH 5,8–8,2), possivelmente influenciada pela calagem, limita a disponibilidade de micronutrientes, conforme observado nos baixos teores de boro.

A matéria orgânica (MO) mantém-se em níveis reduzidos (1,34–1,91 dag kg⁻¹) mesmo nos solos estruturalmente mais favoráveis. Isso corrobora a premissa de que a "textura argilosa, embora favoreça a proteção física da matéria orgânica, não garante sua

acumulação sem práticas adequadas de manejo" (EMBRAPA, 2017).

Em contraste, nos Neossolo Quartzarênico Órtico (tratamentos T4/T5/T6) referente as (Tabelas 1, 4 e 5), a textura franca arenosa, maior que 800 g kg^{-1} (argila $\leq 154 \text{ g kg}^{-1}$) determina uma dinâmica nutricional distinta.

TABELA 4 -Resultados completos da análise química do solo da Área (SAF -2015) T4/T5 (Linha e Entrelinha) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

Parâmetro	Unidade	T4/T5 Linha 0-20 cm	T4 /T5 Linha 20-40 cm	T4/T5 Entrelinha 0-20 cm	T4 /T5 Entrelinh a 20-40 cm
pH (água)	-	8,0	7,9	7,8	8,1
P (Mehlich-1)	mg/dm ³	41,40	35,16	37,33	183,15
K	mg/dm ³	162,1	186,0	52,5	108,3
Ca	cmol/dm ³	4,81	5,09	4,48	5,69
Mg	cmol/dm ³	1,02	0,97	0,79	0,72
Al³⁺	cmol/dm ³	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al	cmol/dm ³	0,00	0,22	0,19	0,00
SB	cmol/dm ³	6,24	6,53	5,41	6,69
CTC (t)	cmol/dm ³	6,24	6,53	5,41	6,69
CTC (T)	cmol/dm ³	6,24	6,75	5,60	6,69
C-org	dag/kg	0,86	*	0,70	*
V%	%	100,0	96,74	96,61	100,0
m%	%	0,00	0,00	0,00	0,00
S	mg/dm ³	15,79	*	6,80	*
B	mg/dm ³	0,35	*	0,35	*
Zn	mg/dm ³	2,29	20,75	7,20	7,11
Cu	mg/dm ³	1,81	1,65	2,07	1,34
Mn	mg/dm ³	0,71	31,52	19,93	18,89
Fe	mg/dm ³	32,77	14,41	11,14	10,05
MO	dag/kg	1,47	*	1,20	*
Ca/Mg	-	4,7	5,3	5,6	7,9
Ca/K	-	11,6	10,7	33,3	20,5
Mg/K	-	2,5	2,0	5,9	2,6

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados obtidos a partir de análises realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal (LABAS),2024.

TABELA 5 - Resultados completos da análise química do solo da Área T6 (Linha e Entrelinha) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

Parâmetro	Unidade	T6 Linha 0-20 cm	T6 Linha 20-40 cm	T6 Entrelinha -20cm	T6 Entrelinha 20-40 cm
pH (água)	-	7,2	6,8	7,6	7,1
P (Mehlich-1)	mg/dm ³	43,73	24,59	75,52	40,62
K	mg/dm ³	110,3	176,0	102,3	68,5
Ca	cmol/dm ₃	6,16	5,96	3,97	6,42
Mg	cmol/dm ₃	1,26	1,82	1,75	1,61
Al³⁺	cmol/dm ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al	cmol/dm ₃	0,75	1,08	0,38	0,71
SB	cmol/dm ₃	7,71	8,23	5,99	8,21
CTC (t)	cmol/dm ₃	7,71	8,23	5,99	8,21
CTC (T)	cmol/dm ₃	8,46	9,31	6,37	8,92
C-org	dag/kg	0,89	*	0,96	*
V%	%	91,14	88,40	94,03	92,04
m%	%	0,00	0,00	0,00	0,00
S	mg/dm ³	2,52	*	6,53	*
B	mg/dm ³	0,29	*	0,41	*
Zn	mg/dm ³	18,39	7,07	4,27	8,95
Cu	mg/dm ³	1,12	1,42	1,18	1,44
Mn	mg/dm ³	34,55	19,89	19,46	19,60
Fe	mg/dm ³	18,98	6,08	17,29	21,66
MO	dag/kg	1,54	*	1,66	*
Ca/Mg	-	4,9	3,3	2,3	4,0
Ca/K	-	21,8	13,2	15,1	36,6
Mg/K	-	4,5	4,0	6,7	9,2

Fonte: Dados obtidos do Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal (LABAS), 2024.

Conforme a Embrapa (2017) enfatiza, solos com predominância de areia grossa apresentam drenagem excessiva e baixa capacidade de retenção de nutrientes, o que se reflete na CTC moderada a baixa (5,6–9,3 cmol_c dm⁻³) e nos teores críticos de matéria orgânica ($\leq 1,66$ dag kg⁻¹). Assim, a reduzida capacidade de adsorção de nutrientes desta classe de solo implica em elevadas perdas de nutrientes por lixiviação, sobretudo quando adicionados via adubação mineral (OLIVEIRA, 2008).

São solos que apresentam sérias limitações ao uso agrícola, devido a textura excessivamente arenosa, baixa fertilidade natural, toxidez por alumínio, baixa capacidade de retenção de água e elevada erodibilidade (COELHO *et al.*, 2002).

A fertilidade nesses solos arenosos mostra-se intrinsecamente dependente do aporte contínuo de resíduos orgânicos, evidenciando que a manutenção da matéria orgânica é crucial para a sustentabilidade de solos quartzosos, dada sua baixa capacidade de armazenamento intrínseca (RESENDE *et al.*, 2007).

Nos sistemas agroflorestais maduros, representados por esses tratamentos, os teores de MO, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), permanecem baixos, evidenciando que o tempo de implantação do sistema, por si só, não supera as restrições físico-químicas impostas pelo material de origem, sendo necessário manejo contínuo e intensificado. O pH alcalino (6,8–8,1), observado em ambos os grupos pedológicos, constitui um fator geral de restrição à disponibilidade de micronutrientes catiônicos, o que reforça a necessidade de manejo para otimizar a nutrição das plantas.

A área inicial (T7), representada na (Tabela 1 e 6) com textura intermediária (441 g kg⁻¹ de areia grossa; 133 g kg⁻¹ de argila), apresenta fertilidade baixa (Tabela 6) refletindo o estado de área de pastagem degradada pré-implementação de área inicial de horta.

TABELA 6 - Resultados de Análise Química de Solo - (Área inicial de horta 2024 - T7)

Parâmetro	Unidade	T7 área total (0-20 cm) área inicial	T7 área total (20-40 cm) área inicial
pH (água)	-	6,5	5,8
P (Mehlich-1)	mg/dm ³	2,90	1,21
K	mg/dm ³	58,5	34,6
Ca	cmol/dm ³	2,70	1,07
Mg	cmol/dm ³	1,29	0,66
Al	cmol/dm ³	0,00	0,00
H+Al	cmol/dm ³	1,09	2,04
SB	cmol/dm ³	4,14	1,82
t	cmol/dm ³	4,14	1,82
T	cmol/dm ³	5,23	3,86
C-org	dag/kg	0,68	*
V	%	79,16	47,16
m	%	0,00	0,00
S	mg/dm ³	16,99	*
B	mg/dm ³	0,31	*

Parâmetro	Unidade	T7 área total (0-20 cm) área inicial	T7 área total (20-40 cm) área inicial
Zn	mg/dm ³	2,45	2,26
Cu	mg/dm ³	1,08	1,59
Mn	mg/dm ³	2,90	10,06
Fe	mg/dm ³	9,06	14,41
MO	dag/kg	1,16	*
Ca/Mg	-	2,1	1,6
Ca/K	-	18,0	12,1
Mg/K	-	8,6	7,4

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados obtidos a partir de análises realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal (LABAS).

Esta análise integrada evidencia que a classe pedológica estabelece vias distintas para a construção da fertilidade: enquanto nos Latossolos a fertilidade assenta principalmente na fração mineral e é limitada pelo pH, nos Neossolos Quartzarênicos, que apresentam textura areia franca e a ausência do horizonte B, a fertilidade é naturalmente baixa, dependendo de forma crítica do manejo orgânico contínuo. Essas constatações reforçam a premissa de que o manejo da fertilidade deve ser rigorosamente adaptado às características intrínsecas do solo, especialmente à sua textura e mineralogia (EMBRAPA, 2017), sendo fundamental considerar essas variáveis no planejamento e monitoramento de sistemas agroflorestais sustentáveis.

5.2 Resultado do Levantamento da Biodiversidade Vegetal

O levantamento florístico, apresentado nas (Tabelas 7 a 11), revelou um gradiente estrutural e riqueza de espécies, intimamente relacionados ao tempo de implantação dos sistemas.

TABELA 7 – Espécies vegetais identificadas nos tratamentos T1 e T2 do sistema agroflorestal (SAF 2022)

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Banana	<i>Musa</i> spp.	10
Limão	<i>Citrus</i> spp.	2
Moringa	<i>Moringa oleífera</i> .	4
Guandu	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	20
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	30
Margaridão	<i>Tithonia diversifolia</i> .	*
Ipê amarelo	<i>Handroanthus albus</i> .	4
Flamboyanzinho-anão	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> .	3
Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i> .	1
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i> L.	2
Mamão	<i>Carica papaya</i> L.	4

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Ingá	<i>Inga</i> spp.	2
Abacate	<i>Persea americana</i> Mill.	1
Manga	<i>Mangifera indica</i> L.	1
Gliricídia	<i>Gliricidia sepium</i> .	2
Açafrão	<i>Curcuma longa</i> L.	*

Fonte: Dados de campo do autor (2025)

Nota: (*) Espécies com presença relevante no sistema, mas sem quantificação precisa no momento do levantamento.

TABELA 8 – Espécies vegetais identificadas no tratamento T3 (Antiga Horta - 2015) do sistema agroflorestal

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	20
Pimenta	<i>Capsicum</i> spp.	15
Banana	<i>Musa</i> spp.	8
Cravo-de-defunto	<i>Tagetes</i> spp.	*
Bambu	<i>Bambusa vulgaris</i>	*
Margaridão	<i>Tithonia diversifolia</i> .	*
Manjerição	<i>Ocimum basilicum</i> L.	3
Caju	<i>Anacardium occidentale</i> .	4
Citros	<i>Citrus</i> spp.	6
Pata-de-vaca	<i>Bauhinia</i> spp.	1
Mamão	<i>Carica papaya</i> L.	8
Erva-cidreira - melissa	<i>Melissa officinalis</i>	3
Boldo	<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews	3
Funcho	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	7

Fonte: Dados de campo do autor (2025).

Nota: (*) Espécies com presença relevante no sistema, mas sem quantificação precisa no momento do levantamento.

TABELA 9 – Espécies vegetais identificadas nos tratamentos T4 e T5 do sistema agroflorestal (SAF 2015)

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Ingá	<i>Inga</i> spp.	3
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.	5
Goiaba	<i>Psidium guajava</i>	4
Banana	<i>Musa</i> spp.	20
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	3
Limão	<i>Citrus</i>	8
Baru	<i>Dipteryx alata</i>	2
Laranja	<i>Citrus</i>	3
Mama-cadela	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	1
Gliricídia	<i>Gliricidia sepium</i>	8
Fruto-sabiá (Sabiá)	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	3
Amora	<i>Morus</i> spp.	4
Aroeira (Aroeira-vermelha)	<i>Schinus terebinthifolia</i>	1
Aroeirinha (Aroeira-mansa)	<i>Schinus molle</i>	1
Açafrão (Cúrcuma)	<i>Curcuma longa</i>	*
Guariroba	<i>Syagrus oleracea</i>	10
Angico	<i>Anadenanthera</i> spp.	1

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Jambolão	<i>Syzygium cumini</i>	2
Ipê-amarelo	<i>Handroanthus</i> spp.	3
Abacate	<i>Persea americana</i>	3
Jatobá-mirim	<i>Hymenaea courbaril</i>	1
Tamboril	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	2
Mamica-de-porca (2)	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	1
Araruta	<i>Maranta arundinacea</i> L.	*

Fonte: Dados de campo do autor (2025).

Nota: (*) Espécies com presença relevante no sistema, mas sem quantificação precisa no momento do levantamento.

TABELA 10 – Espécies vegetais identificadas no tratamento T6 do sistema agroflorestal (SAF 2019)

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.	2
Goiaba	<i>Psidium guajava</i> L.	3
Banana	<i>Musa</i> spp.	12
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i> L.	2
Limão	<i>Citrus</i>	7
Laranja	<i>Citrus</i>	1
Acerola	<i>Malpighia emarginata</i>	3
Gliricídia	<i>Gliricidia sepium</i>	4
Fruto-sabiá (Sabiá)	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.	3
Amora	<i>Morus</i> spp.	4
Açafrão (Cúrcuma)	<i>Curcuma longa</i> L.	*
Embaúba	<i>Cecropia</i> spp.	4
Araruta	<i>Maranta arundinacea</i> L.	*
Jurubeba	<i>Solanum paniculatum</i> L.	5
Capim-napier	<i>Cenchrus purpureus</i>	*
Angico	<i>Anadenanthera</i> spp.	1
Jambolão	<i>Syzygium cumini</i> (L.)	2
Guariroba	<i>Syagrus oleracea</i> .	7
Abacate	<i>Persea americana</i> Mill.	2
Jacarandá-mimoso	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1

Fonte: Dados de campo do autor (2025).

Nota: (*) Espécies com presença relevante no sistema, mas sem quantificação precisa no momento do levantamento.

TABELA 11 – Espécies vegetais identificadas no tratamento T7 (Área inicial de horta - 2024) do sistema agroflorestal

Nome comum (popular)	Nome científico	Quantidade
Alface	<i>Lactuca sativa</i> L.	800
Rúcula	<i>Eruca sativa</i> Mill.	850
Repolho	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.	450
Couve	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i> DC.	360
Mamona	<i>Ricinus communis</i> L.	*
Alho-poró	<i>Allium ampeloprasum</i> L.	900

Fonte: Dados de campo do autor (2025).

Nota: (*) Espécies com presença relevante no sistema, mas sem quantificação precisa no momento do levantamento.

Os tratamentos com Sistemas Agroflorestais (SAFs) mais antigos e consolidados (T4/T5 - SAF/2015 e T6 - SAF/2019) destacaram-se pela maior diversidade, abrangendo um total de 23 e 20 espécies, respectivamente, incluindo espécies frutíferas (goiaba, pitanga e abacate), espécies para sombreamento (eucalipto, ingá e gliricídia) e espécies nativas do Cerrado (baru, angico e jatobá-mirim). Essa composição diversificada corrobora o princípio da sucessão ecológica, que preconiza o aumento progressivo da complexidade estrutural e funcional do agroecossistema ao longo do tempo (GÖTSCH, 1995; PENEIREIRO, 2003).

Os sistemas mais jovens, por sua vez, apresentaram menor diversidade florística e estrutura simplificada. Os tratamentos T1 e T2 (SAF implantados em 2022) registraram 16 espécies, com predomínio de culturas de ciclo curto (mandioca, guandu e moringa). Um estágio ainda mais inicial foi observado no tratamento T7 (Horta Inicial/2024), que apresentou a menor riqueza (seis espécies), composta exclusivamente por hortícolas de ciclo curto plantadas em alta densidade (alface, rúcula e repolho), caracterizando um sistema com pouca estratificação vertical. Em posição intermediária, o tratamento T3 (Antiga Horta/2016), com nove anos de manejo agroecológico, sustentou 13 espécies, configurando um sistema mais diversificado, porém estruturalmente menos complexo que os SAFs de referência.

Essa progressão cronológica na riqueza e na estrutura das comunidades vegetais demonstra que a biodiversidade nos sistemas agroflorestais vai além de um indicador de sustentabilidade. Conforme relatado por Altieri (2004), ela atua como um fator ativo de regulação ambiental, criando o microclima favorável com maior umidade relativa do ar, amortecimento térmico e proteção com quebra ventos que foi diretamente correlacionado com os melhores desempenhos agrônômicos observados nos tratamentos T4, T5 e T6. Portanto, a complexidade florística mostra-se não como um resultado passivo do tempo, mas como uma variável de manejo fundamental para a resiliência e a produtividade do sistema como um todo.

5.3 Resultado da Luminosidade relacionado às espécies vegetais

Segundo Altieri (2004), a diversidade vegetal em sistemas agroflorestais é um indicador-chave da resiliência e sustentabilidade do agroecossistema. Conforme os dados percentuais evidenciados na (Tabela 12), observa-se uma correlação positiva entre o tempo de implantação dos sistemas e o aumento da porcentagem de luz no sub-bosque. Cabe destacar que a avaliação de luminosidade foi conduzida durante a estação

seca do Cerrado, um período de maior estresse hídrico e, portanto, mais revelador das condições limites do sistema.

TABELA 12 – Caracterização dos tratamentos e porcentagem média de sombreamento em relação ao pleno sol.

Tratamento	Sistema/Ano de implantação	Porcentagem média de Sombreamento (%)
T1	SAF/2022	12
T2	SAF/2022*	14
T3	Antiga horta/2015	23
T4	SAF/2015	44
T5	SAF/2015*	42
T6	SAF/2019	33
T7	Horta inicial/2024	Pleno sol
Referência	Pleno sol	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Nota: *Tratamentos com adubação adicional.

Os dados de luminosidade, embora pontuais, fornecem um *insight* valioso para contextualizar os resultados biométricos. A correlação observada entre maior sombreamento nos Sistemas Agroflorestais (SAFs) mais antigos e o melhor desempenho vegetativo do café sugere que o conforto térmico gerado pelo dossel superior desempenha um papel fundamental, estando em consonância com estudos que evidenciam a redução do estresse fisiológico e a otimização fotossintética do cafeeiro sob sombreamento moderado (MATIELLO *et al.*, 2020).

Esse microclima atenuado parece mitigar estresses abióticos, como a alta irradiância e a amplitude térmica, criando condições mais próximas do ambiente de sub-bosque de origem da espécie. Esse efeito regulador decorre de uma premissa fundamental do manejo agroflorestal: a arquitetura do SAF modula ativamente a dinâmica da luz e do calor, que são os principais vetores microclimáticos. Quando ajustado na faixa de 30% a 50% de cobertura (RODRIGUES, 2009), o sombreamento atua como um regulador ambiental multifacetado, promovendo, para além da modulação luminosa, a atenuação de extremos térmicos no ar e no solo, a redução da velocidade dos ventos e a manutenção de maiores índices de umidade relativa do ar e disponibilidade hídrica no solo (BEER *et al.*, 1998). Dessa forma, elucidar como essa modulação ocorre ao longo do ciclo do cafeeiro torna-se ponto central para otimizar o desempenho dos sistemas.

5.4 Análise estatística das variáveis biométricas

A normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, cujos resultados ($p \leq$

0,05) não rejeitaram a hipótese nula de distribuição normal. Contudo, o pressuposto de homogeneidade de variâncias, verificado pelo teste de Bartlett, foi violado ($p > 0,05$). A condição de heterocedasticidade persistiu mesmo após a aplicação de transformações matemáticas aos dados (logarítmica e de raiz quadrada).

Mesmo diante da violação do pressuposto de homogeneidade, os dados foram submetidos ao teste não paramétrico de Friedman, pois é adequado para comparar três ou mais amostras relacionadas (pareadas) quando a variável dependente é ordinal e os dados não atendem aos pressupostos da ANOVA paramétrica. O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$). Para as comparações múltiplas *post hoc*, foi calculada a Diferença Mínima Significativa (LSD) com base nas somas de postos. Os tratamentos foram agrupados estatisticamente segundo o critério de que aqueles que compartilham pelo menos uma letra em comum não difere significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

5.5 Número de plantas sobreviventes (NPS)

O teste de Friedman com a estatística de $\chi^2 = 29,79$ e $p\text{-valor} < 0,001$ mostra que ocorreram diferenças altamente significativas entre os sete tratamentos de NPS (Tabela 13). Os agrupamentos foram realizados tendo como base a $LSD = 9,96$ para NPS. O LSD estabelece o limiar a partir do qual a diferença entre as somas de postos de dois tratamentos é considerada significativa nas comparações múltiplas.

TABELA 13 – Desempenho da variável número de plantas sobreviventes de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade

Tratamento	Sistema	n	Mediana (Q50)	Soma de Postos	Agrupamento Estatístico ²
T1	SAF/2022	9	45,26	27,5	de
T2	SAF/2022 + adubação adicional	9	45,21	31,5	cd
T3	Antiga horta/2016	9	45,34	37,5	bc
T4	SAF/2015	9	45,50	49,0	a
T5	SAF/2015 + adubação adicional	9	45,50	45,0	ab
T6	SAF/2019	9	45,50	43,5	ab
T7	Horta inicial/2024	9	39,42	18,0	e

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Notas: SAF = Sistema Agroflorestal; n = número de repetições; Mediana = segundo quartil (Q50), medida de tendência central reportada para testes não paramétricos. ² Teste de Friedman: $\chi^2 = 29,79$; $p < 0,001$. Tratamentos com pelo menos uma letra em comum não difere significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

A ordenação baseada na soma de postos e os grupos de significância formados evidenciam um gradiente de desempenho. O tratamento T4 (SAF/2015), com maior mediana de NPS (45,50) e maior soma de postos (49,0), constituiu o grupo estatístico de melhor desempenho, sendo superior aos tratamentos T1/T2(SAF/2022), T3 (Antiga Horta2016) e T7(Horta inicial/2024). Os tratamentos T5 (SAF/2015 + adubação) e T6 (SAF/2019) se agruparam, porém não diferiram significativamente de T4, integrando-se a este grupo de maior eficiência. Em uma posição intermediária ficou o tratamento T3, diferindo dos tratamentos T2 e T1, que apresentam uma sequência decrescente de desempenho, sugerindo respostas variadas a diferentes manejos e ou condições iniciais do solo.

É plausível relacionar esse desempenho superior à influência dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) estabelecidos em 2015 e 2019. A maturação desses sistemas pode ter gerado um ambiente mais resiliente, com melhores condições microclimáticas, beneficiando diretamente as mudas de café implantadas posteriormente.

Por fim, o tratamento T7, com mediana = 39,42 e soma de postos = 18,0 configurou-se como estatisticamente inferior a todos os demais. A clivagem evidente entre os grupos de topo (T4, T5 e T6) e o T7 sugere que o manejo ou condição específica por este tratamento comprometeu a sobrevivência das plantas, como confirmado pela sua baixa mediana. Essa forte divergência reforça a importância dos fatores positivos associados aos tratamentos de melhor desempenho, entre os quais se destaca a possível resiliência proporcionada pelos SAFs mais antigos.

Os resultados deste estudo demonstram que o estabelecimento inicial do cafeeiro no Cerrado não é governado por um fator isolado, mas pela sinergia entre os componentes do sistema agroflorestal, onde atributos físicos, biológicos, microclimáticos, composição vegetal e luminosidade interagem para criar um ambiente favorável.

As propriedades do solo estão intimamente relacionadas à natureza perene de grande parte das espécies arbóreas, sendo o seu grau de vitalidade uma consequência da abundância, diversidade, interações e funcionamento da biota presente neste solo (BARRIOS *et al.*, 2012). O cafeeiro em SAF apresenta diferenças no comportamento biológico e o sistema contribui com serviços ambientais adicionais em relação ao monocultivo (RAPIDEL *et al.*, 2015).

Nesse contexto, as diferentes classificações de solo Neossolo Quartzarênico órtico e Latossolo Vermelho distrófico, representadas nas (Tabelas 1 a 6) não indicaram

resposta significativa em relação à influência da adubação adicional. Observou-se que os tratamentos T4/2015 e T5/2015 (com adubação adicional), no Neossolo, e os tratamentos T1/2022 e T2/2022 (com adubação adicional), no Latossolo, não resultaram em grande diferencial no incremento proporcionado pela adubação em relação aos parâmetros biométricos avaliados. Esse comportamento pode ser compreendido como apresentam Barrios *et al.* (2012) e Rapidel *et al.* (2015), ao demonstrarem que são múltiplos os fatores que podem influenciar as variáveis analisadas em estudos dessa natureza.

Os SAFs seguem os princípios agroecológicos e têm por objetivo harmonizar os agroecossistema com os processos dinâmicos dos ecossistemas naturais, buscando-se assim, o oposto da agricultura moderna, onde o homem busca adaptar as plantas e ecossistemas às necessidades contemporâneas (SILVA *et al.*, 2019). Dessa forma, geram-se sistemas mais resilientes quanto à quantidade de plantas vivas durante as avaliações.

A alta taxa de sobrevivência observada é um indicativo positivo das condições de manejo e da qualidade do material vegetal utilizado. A uniformidade fornecida pelo uso de mudas em tubetes, que segundo Ricci *et al.* (2002) asseguram um alto padrão tecnológico, provavelmente minimizou as perdas iniciais nos tratamentos.

No entanto, os resultados estatisticamente superiores dos SAFs mais antigos (T4, T5, T6) em relação ao tratamento T7 (Horta inicial/2024) sugerem que, para além da qualidade inicial da muda, condições ambientais estabelecidas ao longo do tempo são determinantes. Características como um dossel mais fechado, maior sombreamento, microclima mais ameno, típicos de SAFs em estágios avançados de desenvolvimento, parecem criar um ambiente mais propício para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas quando comparados a uma área recém-implantada (T7).

Essa análise corrobora a afirmação de Guimarães *et al.* (2019) sobre a sensibilidade das mudas e a variabilidade de resposta sob condições limitantes. Quando as mudas são transferidas, são submetidas a níveis de luz bem acima do que aquelas presentes nos viveiros. Desse modo, uma fração de mudas pode chegar à morte em decorrência da severa fotoinibição a que são submetidas, ainda que adequadamente irrigada (CARELLI *et al.*, 2001). Assim, compreende-se que os sistemas mais sombreados são um fator que pode ter influenciado diretamente na sobrevivência das plantas nos diferentes tratamentos.

5.6 Altura de plantas (H)

A análise do desenvolvimento em altura do cafeeiro através do teste de Friedman com a estatística de $\chi^2 = 42,00$ e p-valor $< 0,001$ mostra que ocorreram diferenças altamente significativas entre os sete tratamentos conforme apresentado na (Tabela 14).

TABELA 14– Desempenho da variável altura de plantas de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade

Tratamento	Sistema	n	Mediana (Q50)	Soma de Postos	Agrupamento Estatístico ²
T1	SAF/2022	9	31,37	19	d
T2	SAF/2022 + adubação adicional	9	31,05	19	d
T3	Antiga horta/2016	9	38,96	33	c
T4	SAF/2015	9	41,76	58	a
T5	SAF/2015 + adubação adicional	9	42,23	54	ab
T6	SAF/2019	9	37,85	48	b
T7	Horta inicial/2024	9	38,11	21	d

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Notas: SAF = Sistema Agroflorestal; n = número de repetições; Mediana = segundo quartil (Q50), medida de tendência central reportada para testes não paramétricos.

² Teste de Friedman: $\chi^2 = 42,00$; $p < 0,001$. Tratamentos com pelo menos uma letra em comum não difere significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

Os tratamentos com SAFs mais antigos também apresentaram maior altura das plantas, com destaque para o T4 e o T5 (SAF/2015), que alcançaram as maiores alturas medianas e se agruparam estatisticamente na categoria de melhor desempenho. Esse resultado corrobora estudos que indicam que sistemas consorciados mais maduros proporcionam condições microclimáticas mais estáveis e recursos nutricionais adequados ao desenvolvimento vegetativo da cultura (SOUZA *et al.*, 2020).

No contexto do enriquecimento do solo pelos SAFs, o uso de espécies fixadoras de N, tanto arbóreas quanto agrícolas, é uma prática comum. Além disso, mesmo espécies não fixadoras de N demonstram grande potencial para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, seja por meio da incorporação de MO, seja pela liberação e ciclagem de nutrientes (JOSE, 2009). Esse mecanismo ecológico constitui uma resposta chave para interpretar as variações nos atributos de fertilidade observados entre os tratamentos nas (Tabelas 1 a 6).

O gradiente de desempenho observado seguiu uma tendência temporal clara: sistemas com maior tempo de implantação (T4 e T5, com 9 anos). Em seguida, o T6

(SAF/2019, 6 anos) não diferenciou estatisticamente de T5, ficando num segundo, inferior ao T4. O T3 (antiga horta 2016) ficou isolado, diferenciando de todos os demais, enquanto os sistemas mais jovens (T1 e T2, com 3 anos) e o sistema em horta inicial (T7) agruparam-se na categoria de menor desempenho.

Este padrão sugere que o tempo de estabelecimento dos SAFs é um fator positivo para o desenvolvimento vertical do cafeeiro, possivelmente devido à gradual melhoria nas condições edáficas e microclimáticas. Por conta disso, estes podem ser uma alternativa exequível para os diferentes agroecossistemas (LUCENA *et al.*, 2023)

Considerando os riscos climáticos que afetam o desenvolvimento do cafeeiro, destaca-se que condições térmicas adversas, especialmente geadas, representam uma das principais limitações ao crescimento vegetativo da cultura. O efeito da arborização oferece conforto térmico ao cafezal e traz efeitos benéficos sobre o solo porque promove uma mudança no microclima, influenciando os processos fisiológicos do cafeeiro. Torna-se então uma alternativa estratégica para as adversidades climáticas, principalmente a mudança nas temperaturas (RODA *et al.*, 2023).

Neste contexto, os SAFs mais maduros podem oferecer proteção microclimática adicional, amenizando extremos térmicos e contribuindo para um desenvolvimento mais vigoroso das plantas.

5.7 Diâmetro de caule (D)

O teste de Friedman com a estatística de $\chi^2 = 41,83$ e p-valor $< 0,001$ mostra que ocorreram diferenças altamente significativas entre todos os tratamentos a variável D apresentada na (Tabela 15).

TABELA 15 – Desempenho da variável diâmetro de caule de plantas de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade

Tratamento	Sistema	n	Mediana (Q50)	Soma de Postos	Agrupamento Estatístico ²
T1	SAF/2022	9	6,05	19,5	d
T2	SAF/2022 + adubação adicional	9	6,17	22,0	d
T3	Antiga horta/2016	9	7,13	35,5	c
T4	SAF/2015	9	7,00	58,5	a
T5	SAF/2015 + adubação adicional	9	7,01	54,0	ab
T6	SAF/2019	9	6,82	45,5	b
T7	Horta inicial/2024	9	6,26	17,0	d

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Notas: SAF = Sistema Agroflorestal; n = número de repetições; Mediana = segundo quartil (Q50), medida de tendência central reportada para testes não paramétricos.

² Teste de Friedman: $\chi^2 = 41,83$; $p < 0,001$. Tratamentos com pelo menos uma letra em comum não difere significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

Na Tabela 15 observamos que os maiores valores medianos do diâmetro de colo dos tratamentos seguiram exatamente o mesmo comportamento da altura das plantas (Tabela 14), com os mesmos agrupamentos.

Esta tendência sugere que o diâmetro do caule também responde positivamente ao tempo de estabelecimento do sistema, com os SAFs mais antigos (2015 e 2019) apresentando valores significativamente superior aos sistemas implantados em 2022 e 2024.

Para seu crescimento e desenvolvimento, as plantas dependem de dezessete elementos químicos considerados essenciais. Estes são indispensáveis ao metabolismo vegetal e não podem ser substituídos por outros (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). No entanto a adubação adicional não promoveu incrementos significativos no diâmetro, tanto no (T5) SAF/2015 quanto no (T2) SAF/2022, indicando que fatores como a estrutura do solo, o sombreamento e as interações ecológicas estabelecidas ao longo do tempo podem ser mais determinantes para o desenvolvimento em espessura do que a adição isolada de nutrientes.

O desempenho da antiga horta de 2016 (T3), compôs um grupo intermediário, sugere que sistemas mais antigos de horta agroecológica também podem favorecer o desenvolvimento do diâmetro, embora em menor magnitude que os SAFs mais estabelecidos.

Ressalta-se, ainda, quando o cafeeiro se encontra em situação de deficiência hídrica, diversos mecanismos fisiológicos são afetados, por ser a água a principal responsável pela boa manutenção do metabolismo da planta e seu crescimento (DOMINGHETTI *et al.*, 2016), sobretudo para o alongamento celular, fator imprescindível para variáveis como o diâmetro de caule.

O plantio do cafeeiro, normalmente, é realizado durante período chuvoso, principalmente no mês de novembro, o que favorece o pegamento das mudas, pois estas podem contar com mais umidade no solo reduzindo a utilização de irrigação. Quanto antes ocorrer o plantio, dentro desse período, melhor será o pegamento e o desenvolvimento inicial das plantas de café (MATIELLO *et al.*, 2020).

5.8 Número pares de folhas (NPF)

O desenvolvimento foliar do café, avaliado pelo NPF, apresentou diferenças altamente significativas entre os tratamentos, conforme demonstrado pelo teste de Friedman ($\chi^2 = 37,59$; $p < 0,001$). A ordenação baseada na soma de postos e os agrupamentos estatísticos revelam um gradiente claro relacionado à maturidade e ao tipo de sombreamento.

TABELA 16 – Desempenho da variável número de pares de folhas de plantas de *Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas agroflorestais em Uberlândia, MG, avaliadas do plantio até 1 ano de idade

Tratamento	Sistema	n	Mediana (Q50)	Soma de Postos	Agrupamento Estatístico ²
T1	SAF/2022	9	7,17	16,5	c
T2	SAF/2022 + adubação adicional	9	7,61	26,0	c
T3	Antiga horta/2016	9	8,64	26,5	c
T4	SAF/2015	9	10,29	59,0	a
T5	SAF/2015 + adubação adicional	9	10,20	53,0	ab
T6	SAF/2019	9	8,76	45,0	b
T7	Horta inicial/2024	9	9,16	26,0	c

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Notas: SAF = Sistema Agroflorestal; n = número de repetições; Mediana = segundo quartil (Q50), medida de tendência central reportada para testes não paramétricos.

² Teste de Friedman: $\chi^2 = 37,59$; $p < 0,001$. Tratamentos com pelo menos uma letra em comum não difere significativamente entre si ($p \leq 0,05$).

Os tratamentos com sombreamento proveniente de SAFs com tempo maior destacaram-se positivamente (Tabela 16). O T4 (SAF/2015) obteve a maior soma de postos (59,0), formando o grupo de melhor desempenho. No entanto, considerando os resultados pode-se dizer que T5 e T6 também compõem o grupo superior, apesar de T4 diferir de T6.

Em contraste, os tratamentos T3, T2, T7 e T1 formaram um grupo estatisticamente inferior aos demais tratamentos. Esse resultado, particularmente baixo para T1 e T2 (SAF/2022), evidencia que SAFs muito jovens ou com sombreamento insuficiente, conforme descrito na (Tabela 12), referente à luminosidade e na (Tabela 7) com dados de diversidade de espécies vegetais, indicando que ainda não replicam as condições benéficas dos SAFs estabelecidos. A baixa soma de postos reflete um crescimento foliar limitado, possivelmente associado a maior estresse ambiental. De acordo com Da Matta (2004), a deficiência hídrica afeta o desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro e reduz a área foliar, limitando o crescimento dos ramos.

Os resultados obtidos corroboram a literatura, que indica que o sombreamento, quando manejado de forma correta, melhora as condições microclimáticas da lavoura, promove maior ciclagem de nutrientes, interfere positivamente na disponibilidade de luz incidente sobre a copa e proporciona incremento no crescimento da parte aérea, como desenvolvimento de ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, formação de nós e expansão foliar (Da MATTA *et al.*, 2017). Esse conjunto de efeitos pode explicar os benefícios observados nos tratamentos sob sistemas agroflorestais T4, T5 e T6.

A proximidade nas somas de postos entre T4 (59,0) e T5 (53,0), que não diferiram estatisticamente, sugere que em SAFs maduros, a adubação complementar não exerceu um efeito adicional significativo sobre o desenvolvimento foliar. A cafeicultura sustentável busca atender, de forma holística e sistêmica, as dimensões ecológica, econômica e social (De MUNER *et al.*, 2017).

Durante os meses de julho e agosto, as áreas onde os tratamentos foram realizados registraram ocorrência de geada: três dias em julho e dois em agosto. Entre as condições climáticas, sem dúvida a mais temida para a lavoura cafeeira é a geada, pois o cafeeiro está entre as culturas mais sensíveis a esse fenômeno. O frio, por si só, atua como um agente que retarda o crescimento da planta (MATIELLO *et al.*, 2016).

As geadas são fenômenos climáticos que podem provocar congelamento nos tecidos vegetais, provocando a morte das plantas ou de suas partes. Esse processo resulta na perda do potencial de turgescência, redução do volume celular e resulta na desidratação das células (PERISSATO, *et al.*, 2013).

Nesse contexto, as geadas registradas nos tratamentos, ao se somarem à restrição hídrica durante a fase inicial de formação da planta, provocam danos permanentes ao seu desenvolvimento (DOMINGHETTI *et al.*, 2016). Ocorrendo carência parcial de água em períodos críticos é manifestada nas folhas pela perda de turgescência e clorose, e em ocasiões abruptas de estresse hídrico, ocorre redução do crescimento de ramos ortotrópicos, morte de raízes superficiais e senescência foliar e floral (CARARO, 2015).

Os resultados referentes ao NPF corroboram os dados anteriores, demonstrando a capacidade de sistemas mais equilibrados podendo reduzir a susceptibilidade do sistema às adversidades ambientais do entorno.

A análise dos resultados revela uma hierarquia clara e gradativa entre os tratamentos. No topo da classificação, os tratamentos T4, T5 e T6 formam o grupo estatisticamente superior, indicando as condições mais favoráveis para o estabelecimento das mudas de cafeeiros em SAFs estabelecidos e maduros.

6 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que o desempenho vegetativo das mudas foi significativamente influenciado pelo grau de maturação SAFs e pelas condições ambientais específicas de cada sítio.

Os tratamentos conduzidos em SAFs mais antigos (T4, T5 e T6) apresentaram desempenho superior nas variáveis número de plantas sobreviventes, altura de plantas, diâmetro do caule e número de pares de folhas. Esse resultado evidenciou que a maior resiliência ambiental e a estabilidade microclimática proporcionadas por SAFs consolidados são decisivas para o estabelecimento inicial da cultura.

Em contrapartida, os tratamentos T1 e T2 apresentaram desempenho inferior, possivelmente em função do menor acúmulo de biomassa e da baixa densidade de plantas no sistema, devido a idade, fatores que limitaram a proteção ambiental durante o período de seca.

Em uma posição intermediária, o tratamento T3 apresentou valores consistentemente medianos em todas as variáveis avaliadas. Tal desempenho pode ser atribuído à maior diversidade de espécies e, sobretudo, ao histórico mais longo de manejo agroecológico do solo.

O tratamento T7, conduzido a pleno sol em solo recém-implantado, registrou o pior desempenho geral, refletido na menor taxa de sobrevivência e no desenvolvimento vegetativo mais limitado das mudas. A análise integrada do solo revelou limitações químicas, como pH excessivamente alcalino e baixos teores de MO.

Conclui-se que a implementação de SAFs constitui uma estratégia promissora para o estabelecimento do cafeeiro no Cerrado, com os sistemas mais maduros oferecendo o ambiente mais propício ao desenvolvimento inicial da cultura. No entanto, para a sustentabilidade de longo prazo, no entanto, recomenda-se um manejo adaptativo que integre a correção dos desequilíbrios nutricionais identificados às vantagens já consolidadas desses sistemas agroflorestais.

REFERÊNCIAS

ABA-AGROECOLOGIA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGROECOLOGIA. **I Seminário Nacional de Educação em Agroecologia**: construindo princípios e diretrizes, 2013, Recife, Pernambuco. Anais... Recife: ABA-Agroecologia, 2013.

AFONSO, Priscilla Caires Santana. Os conflitos do/no território norte-mineiro. **Sociedade e Território**. Natal, v. 27, p. 229-250, set. 2015

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: The Science of Sustainable Agriculture. CRC Press, 1995.

ALTIERI, M. A. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 1, p. 35–42, 2004.

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3^a ed. rev. ampl. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, 2012.

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4a. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. p.23

ALVARENGA, M. I. N.; MARTINS, M. Fatores edáficos de cafezais arborizados. In: MATSUMOTO, S. N. (Ed.). **Arborização de Cafezais no Brasil**. Edições UESB, Vitória da Conquista, BA, p. 43-84, 2004.

AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Brasil na COP29: principais resultados e avanços**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: [<https://www.gov.br/mma/pt-br/>]. Acesso em: 20/12/2024.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility**: A Handbook of Methods. 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993.

ANDRADE, D; PASINI, F. **Vida em Sintropia: agricultura sintrópica de Ernst Götsch explicada**. 1. ed. São Paulo: Labrador, 2022.

AQUINO, A. M. de. **Manual para macrofauna do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 21 p. (Embrapa -CNPAB. Documentos,130)

ARCO-VERDE, M. F. **Sustentabilidade Biofísica e Socioeconômica de Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira**. 2008. 185 p. Tese (Doutorado em ciências florestais) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba. 2008.

ASSAD, E.D.; MAGALHÃES, A.R. **PBMC-Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

BADI, M. *et al.* Sustainable Soil Management: A Review. **Journal of Environmental Management**, v. 284, 111991, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.111991.

BARRIOS, E. *et al.* Agroforestry and soil health: linking trees, soil biota, and

ecosystem services. In: WALL, D. H. *et al.* (ed.). **Soil ecology and ecosystem services**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012. cap. 5.2, p. 315-330.

BATTEN, Sandra. Climate change and the macro-economy: a critical review. **Bank of England Working Paper**, n. 706, 2018. Disponível em: <https://www.bankofengland.co.uk/workingpaper/2018/climate-change-and-the-macro-economy-a-critical-review>.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 139-164, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do agronegócio: Brasil 2023/24 a 2033/34: projeções de longo prazo**. Brasília: MAPA, 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2024, quarto levantamento, julho 2025**. Brasília, DF: CONAB, 2025. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 17 jan. 2026.

BUSTAMANTE, M. O Cerrado e as Mudanças Climáticas. **Revista Ciência e Cultura**, v. 70, n. 1, 2018. Disponível em: <https://revistacienciaecultura.org.br/?p=6905>. Acesso em: 22 FEV. 2025.

BROWN, G. G. *et al.* **Diversidade e função da macrofauna do solo sob sistemas agroflorestais**. In: EMBRAPA. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 89-110

CARARO, D. C.; DIAS, A. F. S. **Café na Amazônia: Irrigação em cafeeiros**. Brasília: EMBRAPA, 2015. 311p.

CARVALHO, N. O. (2018) **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed.rev.amp. Rio de Janeiro: Interciência.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova extensão rural. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 1, n.1, p. 16-37, jan./ mar. 2000.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. **Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade**. Brasília: [s.n.], 2009. p. 70 - ISBN 978-85-60548-38-5

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 33, p. 205-214, 1996.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; ALFONSI, E. L. **Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e na produtividade do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFÉ, 2., 2001, Vitória. Anais... Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2001. p. 120-124.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, nov. 2004.

CAMPANHA, Mônica M. **Análise comparativa de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e monocultivo na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11458>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CAMPANHA, Mônica M. **Análise comparativa de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e monocultivo na Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11458>. Acesso em: 25 abr. 2025

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5 a aproximação**. Lavras, 1999. 359p

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF: CONAB, 2014-. Quadrimestral. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. ISSN 2318-7913.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2024, quarto levantamento, julho 2025**. Brasília, DF: CONAB, 2025. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 17 jan. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim Logístico: Fertilizantes agosto 2025**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/logistica/boletim-logistico/boletim-logistico-setembro-2025.pdf/view>. Acesso em: 9 out.2025.

CUNHA, E de Q, *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 16, nº 1, p. 56-63, 2012.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Org.). **O estado da arte de tecnologias na produção do café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 93-135.

DaMATTA, F. M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/ZLQmDmB9qDqTt5q5Q5Q5Q5Q/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

Da MATTA, F. M. *et al.* O café conilon em sistemas agroflorestais. In: FERRÃO, R. G. *et al.* (ed.). **Café conilon**. 2. ed. atual. ampl. Vitória-ES: Incaper, 2017. p. 481-493.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132

DEVIDE, A. C. P. **História Ambiental do Vale do Paraíba**. 2013. 183 f. Tese (Doutorado)-Curso de Fitotecnia, UFRRJ, Seropédica, 2013.

DE MUNER, L. H.; CAPORAL, F. R.; FORNAZIER, M. J.; RONCA, P. P. F.; BRANDO, J. A. P.; PADOVAN, M. P. Cafeicultura Sustentável do Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (org.). **Café conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017a. p. 621-653

DOMINGHETTI, A. W.; SOUZA, A. J. J.; SILVEIRA, H. R. O.; SANTANA, J. A. V.; SOUZA, K. R. D.; LACERDA, G. R. J.; LACERDA, J. R. Tolerância ao déficit hídrico de cafeeiros produzidos por estaquia e embriogênese somática. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 117-126, jan./mar. 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. **Sistemas agroflorestais biodiversos conservam e melhoram a qualidade do solo**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60691759/artigo---sistemas-agroflorestais-biodiversos-conservam-e-melhoram-a-qualidade-do-solo>. Acesso em: 15 fev. 2026.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Biocarvão e bioinsumos na agricultura brasileira**. Brasília: EPE, 2024.

FELIPE, R. T. A.; RAYOL, B. P.; VASCONCELOS, B. N. F.; SALES, E. F.; PENEIREIRO, F. M.; FRANCO, F. S.; FONSECA, F. D.; NOBRE, H. G.; SIDDIQUE, I.; PADOVAN, M. P.; KATO, O. R.; SÁ, T. D. A.; STEENBOCK, W. Sistemas agroflorestais agroecológicos: trajetórias, perspectivas e desafios nos territórios do Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 9-43, 2023.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (org.). **Café Conilon**. 2. ed. Vitória: DCM/Incaper, 2017. v. 1. p. 81-101

FERREIRA, M. E. *et al.* **Desmatamento no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS-MOD13Q1**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: URLibService, 2007. p.3877-3883

FLORES, R. A.; BECKER, D. M. Agroecology as a Pathway Towards Sustainable

Rural Development: Evidence from Brazil. **Agriculture and Human Values**, v. 34, n. 1, p. 277-289, 2017. DOI: 10.1007/s10460-016-9710-4.

GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 658 p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology**: The Ecology of Sustainable Food Systems. CRC Press, 1990.

GOMES, L. C.; BIANCHI, F. J. J. A.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, R. B. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHULTE, R. P. O. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 291, 106858, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>.

GOTSCH, E. **O Renascer da Agricultura**. Centro Sabiá, Recife, 1995.

GÖTSCH, Ernst. **Homem e Natureza**: Cultura na agricultura. Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá. Recife-PE, 1997. Disponível em: <https://agendagotsch.com/pt/>. Acesso em 14/01/2024.

GUIMARÃES, R. J. *et al.* Crescimento inicial de mudas de café sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 223-233, 2019.

IBAMA. **Relatório de Comercialização de Agrotóxicos 2023**. Brasília, DF: IBAMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/2023-boletim-anual-de-comercializacao-de-agrotoxicos-2024.pdf/view>. Acesso em: 21 out. 2025.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p. 1-44

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 274 p.

LUCENA, R. J. DE.; LIMA, J. R. DE.; BAKKE, I. A. Dynamic organization of two agroforestry systems in the semi-arid region of Paraíba and their contribution to improving the socio-economic conditions of farming families. **Ciência Rural**, v. 53, n. 4, p. e20200512, p. 1-9, 2023.

MAPBIOMAS BRASIL. **Quatro décadas de transformação na cobertura e uso da terra revelam desafios e oportunidades**. 13 ago. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/08/13/brasil-quatro-decadas-de-transformacao-na-cobertura-e-uso-da-terra-revelam-desafios-e-oportunidades/>. Acesso em: 25 jan. 2026

MARCOLAN, A. L. *et al.* **Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/710755>. Acesso em:

24/4/2025

MATIELLO, J. B. *et al.* **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF (Brasil), 2005. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=083226>

MATIELLO, J. B. SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. *et al.* **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha, MG: Fundação Procafé, 2020. 716 p. ISBN 978-85-6687-97-8.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Deu geada no cafezal, não façam podas já**. Disponível em: <http://www.cccrj.com.br/revista/839/24.pdf>. 2016. Acesso em: 21 set. 2025

MITTERMEIER, RUSSELL A. *et al.* **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. 2004. Washington, D.C.: Cemex,

MYERS, N. *et al.* **Biodiversity Hotspots for conservation priorities**. 2000. Nature, v. 403, p. 853-858.

MONTGOMERY, D. R. **Dirt: The erosion of civilization**, 2007.

MORAIS, H. *et al.* Caracterização microclimática de cafeeiros cultivados sob malha de sombreamento e a pleno sol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 133-142, 2007.

MOREIRA, R. M.; CARMO, J. D. S. do. Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável. **Agricultura**, v. 51, n. 2, p. 37-56, 2004.

NICHOLLS, Clara I. Enfoques agroecológicos para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. p. 18-29. In: NICHOLLS, Clara I. *et al.* **Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático**. Colômbia: La Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), 2013. 218 p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, P.592, 2008.

ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

OROZCO, M. O café na contemporaneidade: experiências no Cerrado Mineiro, realidades do Rio de Janeiro e possibilidades para São Paulo. In: OLIVEIRA, R. R.; RUIZ, A. E. L. (Orgs.). **Geografia histórica do café no Vale do Rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, p. 275-293, 2018.

ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território Café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 49, n. 3, p. 771-800, jul./set. 2011.

PADOVAN, Milton P.; PEREIRA, Zefa V.; SERRANO, Márcio R. Panorama dos

sistemas agroflorestais biodiversos em Mato Grosso do Sul. **Revista GeoPantanal**, v. 16, p. 102-112, 2021.

PADOVAN, M. P.; MAYER, T. S.; PEREIRA, Z. V. **Modelo de arranjo agroflorestal biodiverso para restauração ecológica de Áreas de Preservação Permanente, com geração de renda**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2022. 18 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 16).

PARRA, V. J.; SCHULER, H. R.; SIMÕES-RAMOS, G. A.; MAGNANTI, N. J.; SANTOS, K. L. dos; DIONÍSIO, A. C.; SIMINSKI, A.; JONER, F.; SIDDIQUE, I. Metodologias de comunicação para o diálogo de saberes: Ações transformadoras da Rede de Sistemas Agroflorestais Agroecológicos do Sul do Brasil-Rede SAFAS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Edição Esp, 2018.

PEIXOTO, J. C.; *et al.* **Novas Fronteiras no Oeste: Relação entre Sociedade e Natureza na Microrregião de Ceres em Goiás (1940-2013)**. Goiânia: Editora Kelps, 2021. v. 1

PENEREIRO, F. M. **Fundamentos da agrofloresta sucessional**. Agenda Gotsch, Bahia, [2014]. Artigos, 8 p. Disponível em: <<http://agendagotsch.com/texts/>>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. 1999. 138 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PENEIREIRO, F.M. **Fundamentos da agrofloresta sucessional**. In: II Simpósio de Agrofloresta Sucessional, 2003, Aracaju. II Simpósio de Agrofloresta Sucessional. 2003.

PERISSATO, Samara Moreira; MARCELINO, Wesler Luiz; ACCO, Laura Feuser; CABRAL, Ana Claudia; PINTO, Luana Patricia; FRIGO, Jianice Pires. Efeito das geadas em culturas energéticas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 1, p. 49-58, 2013.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549 p.

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**. 2. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2016. 205 p.

PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. São Paulo: Expressão Popular, 2018.

PRIMAVESI, A. **Cartilha da terra**. São Paulo: Expressão Popular, 2020.

MAPBIOMAS. RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023. São Paulo: MapBiomass, 2024. 154 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 13 abr. 2026. DOI: 10.1088/1748-9326/ac5193.

RAIJ, B. van *et al.* **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997.

RAPIDEL, B. *et al.* **Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales.** In: MONTAGNINI, F. *et al.* (ed.). *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.* Turrialba-Costa Rica: CATIE, 2015. p. 5-20. (Informe Técnico CATIE, 402).

REATTO, A.; MARTINS, E. S. **Classes de solos em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado.** In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (org.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.* Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 47-59.

REBELLO, J. F. S.; SAKAMOTO, D. G. **Agricultura sintrópica segundo Ernst Götsch.** 2. ed. Alto Paraíso de Goiás, GO: Edições Aguará, 2022. 173p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 5. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2007. 322 p.

RIBEIRO, C. L.; BICALHO, P. S. dos S.; CASTRO, J. D. B.; *et al.* *Cerrado: De bolsão de biodiversidade a prisioneiro do desenvolvimento.* In: LEAL, A. C.; CÉSAR, O. S. G. F. de; SIMÕES-RAMOS, G. A.; SIDDIQUE, I. (Org.). **Integração participativa das experiências com sistemas agroflorestais agroecológicos no Sul (SAFAS) do Brasil: memórias 2015.** Florianópolis: UFSC, 2017. (Agroflorestas Agroecológicas do Sul em Rede, 1).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. 359 p.

RICCI, M. S. F.; MENEZES, M. B.; COSTA, J. R. Influência do sombreamento de cafeeiros manejados em sistema orgânico na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira.** Brasília, v. 41, n. 4, p. 569- 575, 2006.

RICCI, M. S. F.; ARAÚJO, M. C. F.; FRANCH, C. M. C. **Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 101 p.

RODA, Newton; PONTIN, João Carlos; BRANCHI, Bruna Angela; LONGO, Regina Marcia; SPERANDIO, Fabricio Camillo. **Manejo Sustentável da Produção de Café no Cerrado Mineiro: A Contribuição do Caulim para Cultivos Comerciais.** Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 19, n. 5, p. 225-241, 2023. ISSN 1980-0827. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/pt_BR/article/view/4716. Acesso em: 11 dez. 2025.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. F.; RIBEIRO, W. R. Diferentes intervalos de irrigação no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, variedade robusta tropical. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2013.

RODRIGUES, V. G. S. **Avaliação do desenvolvimento vegetativo de cafeeiros arborizados e a pleno sol**, Embrapa Rondônia, p. 4, 2009.

SILVA, É. B. R.; DA SILVA, W. C.; DE SOUSA, E. D. V.; DA CRUZ GATO, A. P. Sistemas agroflorestais como alternativa agroecológica: Revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 170, 2018.

SCHMIDT, H. P. et al. **Biochar as a soil amendment and carbon sink – a global perspective**. GCB Bioenergy, v. 11, p. 1185-1200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12665>.

SMITH, P.; HOUSE, J. I.; BUSTAMANTE, M.; SOBOCKÁ, J.; HARPER, R.; PAN, G.; WEST, P. C.; CLARK, J. M.; ADHYA, T.; RUMPEL, C.; PAUSTIAN, K.; KUIKMAN, P.; COTRUFO, M. F.; ELLIOTT, J. A.; MCDOWELL, R.; GRIFFITHS, R. I.; ASAKAWA, S.; BONDEAU, A.; JAIN, A. K.; MEERSMANS, J.; PUGH, T. A. M. Global change pressures on soils from land use and management. **Global Change Biology**, v. 22, n. 3, p. 1008-1028, 2016. DOI: 10.1111/gcb.13068.

SMITH, P. *et al.* Agriculture. In: **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. p. 497-540, 2008.

SMITH, P.; *et al.* **Land management**: Data availability and process understanding for global change studies. 2018.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR (COMEX). **COMEX STAT: base de Dados do Comércio Exterior Brasileiro**. 2025. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br>. Acesso em: 9 out. 2025.

SOUZA, I. I. de M.; ARAÚJO, E. da S.; JAEGGI, M. E. P. C.; SIMÃO, J. B. P.; ROUWS, J. R. C.; SOUZA, M. N. Effect of Afforestation of Arabica Coffee on the Physical and Sensorial Quality of the Bean. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 42, n. 7, p. 133-143, 2020

SOUSA, D. M. G. de. Latossolos. In: **EMBRAPA. Agência de Informação Tecnológica: Bioma Cerrado**. Conteúdo migrado na íntegra em: 08/12/2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 7 jan. 2026.

TOENSMEIER, E. **The Carbon Farming Solution: A Global Toolkit of Perennial Crops and Regenerative Agriculture Practices for Climate Change Mitigation and Food Security**. Chelsea Green Publishing, 2016.

UNFCCC. Paris Agreement. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 20 dez. 2024.

UNFCCC. **Conferência das Partes atuando como reunião das Partes do Acordo de Paris (CMA)**. Belén. 2025. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/650664>. Acesso em: 17 jan. 2025.

VALIM, P. **Entropia: Definições, características e exemplos**. [S. l.], 9 fev. 2021.

Disponível em: <https://cienciaemacao.com.br/entropia-definicao-caracteristicas-e-exemplos/>. Acesso em: 10 out. 2025.

VALENTINI, L. S. P.; CAMARGO, M. B. P.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1005-1010, 2010.

VAN DER PLOEG, J. D. The drivers of change: the role of peasants in the creation of an agro-ecological agriculture. **Agroecologia Política**, v. 6, pp. 47-54, 2011.

VILLATORO, M. A. A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestal e orgânico**. 2004. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/504>. Acesso em: 25 abr. 2025.

WALL, D. H. *et al.* **Soil Ecology and Ecosystem Services**. In: Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science, 2015. DOI: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.120.

WEIDMANN, E. L. *et al.* **Agroecology and Adaptive Management: A Synergistic Approach to Adaptation**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 243, p. 114-121, 2017. DOI: 10.1016/j.agee.2017.06.006.

WEZEL, A. *et al.* **Agroecological practices for sustainable agriculture: a review**. 2014.