



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS –
HENRIQUE SANTILLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS
NATURAIS DO CERRADO

THALLES OLIVEIRA MARTINS

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO FERRAMENTA PARA A
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO CERRADO**

Anápolis
2022

THALLES OLIVEIRA MARTINS

**SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO FERRAMENTA
PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO
CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação Strictu Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. Carlos de Melo e Silva-Neto

Co-Orientador: Prof. Dr. Bruno de Andrade Martins

Anápolis
2022

Para Mãe natureza,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador e grande amigo que a vida me presenteou Prof. Dr. Carlos de Melo e Silva Neto. Iniciamos nossa amizade e parceria acadêmica ainda em 2012, quando era estagiário no Jardim Botânico de Goiânia, e essa amizade segue até os dias atuais, e a parceria acadêmica teve seu ápice nesse doutorado.

Meu imenso agradecimento ao meu amigo Dr. Francisco Júnior Simões Calaça, por toda a imensa ajuda, em todas as etapas do doutorado. Foi dele a ótima idéia do capítulo 3 (Fungos micorrízicos arbusculares em sistemas agroflorestais no Cerrado), onde me ajudou na coleta, na extração, na contagem dos esporos, nas análises e na indenticação das espécies só te agradeço por tudo grande amigo. Também deixo meu agradecimento a sua esposa Jéssica, por horas agradáveis de conversa no café da manhã, e apoio nessas etapas do estudo.

Agradeço ao Prof. Dr. Bruno de Andrade Martins meu co-orientador, que pensou e implantou o Sistema Agroflorestal Experimental no Ifgoiano Campus Avançado de Hidrolândia. Agradeço por todo apoio, amizade, incentivo e trabalho nessa tese.

Um imenso obrigado aos colaboradores e co-autores do Núcleo de estudo em Agroecologia de Hidrolândia (Prof. Tadeu Robson Melo Cavalcante, Yago Lima, Henrique Bernardes, Rafael, Felipe, Ederson Tizzo, Lamartine, Rafael Tokarski).

Agradeço a Profa. Dra. Mercedes Bustamante (Laboratório de Ecologia de Ecossistemas, Departamento de Ecologia (Instituto de Biologia, Universidade de Brasília), sou grato por ter me aceitado em seu laboratório, Dra. Maria Mendes, Dra. Maria Regina Sartori, MSc. Alexandra Martins, Dra. Rafaella Silveira, elas ajudaram direta ou indiretamente, facilitando ou mediando as coisas. Também agradeço à Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto.

E aos grandes amigos do grupo “Alagoinhas do Renac”.

Aos amigos Pedro Henrique Fernandes Silva, Daniel Alves Vieira, Renan Matias, Alexandre Abreu, Marco Valadão, Jonas e Luís Augusto pelo apoio.

À minha amiga Cláudia Aurélia Bally (Cisco Ilhéus – BA e Cisco da Felicidade);

À minha família agroflorestal Orgânicos Felicidade (Dercy Almeira Martins, Vanilda Aparecida de Oliveira Martins, Thiago Oliveira Martins, Bárbara Oliveira Martins, Carolina Mesquita, Júlia Oliveira Mesquita e Teresa Oliveira Mesquita.

Agradeço à Myllena Gomes Martins por todo apoio e ajuda na revisão e referências bibliográfica, com imenso carinho.

Agradeço a todos por tudo. Gratidão!

“A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”

(João Guimarães Rosa)

HISTÓRIA DE VIDA

A história da minha vida começa no hospital das clínicas de Tangará da Serra, no estado do Mato Grosso no dia 24 de maio de 1988. Do hospital, fui morar com meus pais na fazenda do meu avô paterno (Sr. Sizenando Martins) e avó (Ana Amélia de Almeida Martins), no município de Campo Novo do Parecis também no estado do Mato Grosso. A fazenda era muito linda, tinha uma casa muito bonita de tijolinho à vista, curral muito grande, paiol para o milho, rios, córregos e ribeirões de com de águas cristalinas, muita floresta ainda estava em pé. Ficamos residindo nessa fazenda até o de 1993, onde a partir daí comecei a morar na cidade.

No final do ano de 1996 fomos morar na cidade de Tangará da Serra, pois, minha mãe passou no vestibular para Letras na Universidade Estadual do Mato Grosso (Unemat). Lá em Tangará além de estudar no terceiro e quarto ano do primário, tinha uma vida muito boa, além de futebol de areia todos os dias, nos finais de semana eu e me íamos tomar banho nos ribeirões perto da cidade, para o desespero da minha mãe.

Em janeiro de 1999 nos mudamos para Goiânia, porque, minha mãe fez transferência para a Univerdade Federal de Goiás. O motivo da vinda para Goiânia foi por a gente ficar mais perto da nossa família materna e por a cidade apresentar maiores recursos. Os primeiros anos de Goiânia foram um pouco complicados até a adaptação total. Nesse período eu já frequentava a UFG, minha mãe estudava lá, então já conhecia a maioria daqueles corredores e organização da universidade. Nesses anos também, estudei no centro da cidade, eu e o meu irmão íamos quase todos os dias de ônibus para o centro. Vencemos essa etapa de viemos crianças do interior e nos tornamos jovens e adultos na cidade grande.

No ano de 2008 eu inicio minha jornada na engenharia florestal, primeiro fiz um ano do curso na Universidade Estadual de Goiás (UEG) em Ipameri. Essa linda profissão foi escolhida por incentivo do meu pai, em conversa com ele ao telefone, pois o mesmo estava morando fora do Brasil, ele me sugeriu o curso de Eng. Florestal e eu fui pesquisar sobre, logo já sabia que era o que eu queria fazer. Mas, em 2009, eu fiz novamente o vestibular e reeincei o curso na UFG em Goiânia. O curso na UFG foi muito bom, tive ótimos amigos de turma e ótimos professores.

Em maio de 2011 fui trabalhar de monitor em um curso de Identificação de árvores do Cerrado da Rede de Sementes do Cerrado, na cidade de Alto Paraíso de Goiás. O curso foi realizado no Instituto Oca Brasil, um sítio dentro da cidade, e completamente Agroflorestado.

Foi nesse curso que tive meu primeiro contato com as Agroflorestas Biodiversas. Após o curso fiquei impressionado, e pedi para realizar um estágio naquele instituto nas férias. Logo, em julho lá estava fazendo estágio e implantando meus primeiros canteiros agroflorestais, e aprendendo a manejar agroflorestas antigas.

A partir desse momento começou minha reconexão com a agricultura, e lembranças da minha infância na fazenda reviveram em mim. Lembranças tanto dos meu avô e avó paterno, quanto da minha avó e avô materno. Hoje em dia ainda tenho o privilégio de conversar com minha avó materna sobre sua vida na roça, e como ela trabalhava muito e fazia diversas atividades na fazenda dos pais dela. Antigamente, as pessoas trabalhavam muito, mas muito mesmo, era praticamente quase tudo manual, braçal e um calendário apertado e repleto de atividades essenciais para realizar o ano inteiro, ela sempre me diz.

O jardim botânico de Goiânia se inciou para mim, em junho de 2012. Nessa época enfrentávamos uma greve na UFG. E o JB veio me trazendo muito conhecimento, identificação botânica, coleta de material e herborização, coleta de sementes e viveiros florestais. Foi um período muito fértil, de conhecimento técnico e fazendo novas amizades. Foram nesses dias que conheci o Carlos, hoje meu orientador, mas que me ensinou muito dali por diante. Fiquei no Jardim Botânico de Goiânia até o início de 2014, quando dali em diante comecei a trabalhar como consultor ambiental em diversas empresas.

Como consultor ambiental, pude viajar bastante em todo o estado de Goiás, conheci praticamente todas as regiões do estado. Pude ver o como a agricultura convencional não tem respeito com o ecossistema nativo, ver que os lucros estão acima de qualquer coisa, e nós mesmo seres humanos gananciosos e egoístas somos a própria causa da nossa ruína. Porém, essas viagens me proporcionaram muito conhecimento, trabalhando com rodovias, pude aprender a identificar muitas espécies em diversas fitofisionomias do bioma Cerrado, além de fazer muitas amizades.

A Universidade de Brasília veio em minha vida no ano de 2015, e lá realizei meu mestrado em Ciências Florestais. A pesquisa do mestrado foi excelente, realizamos as coletas de dados na Reserva Legal da Fazenda da Embrapa arroz e feijão, no município de Santo Antônio de Goiás. Foi uma ótima parceria entre UnB, Embrapa e UFG. Foram dois anos de muito aprendizado, só tenho o que agradecer, fiz ótimas amizades e aprendi muito com meus erros e acertos.

Já no ano de 2018 iniciei minha vivência agroecológica e agroflorestal no sítio Cisco da Felicidade em Piracanjuba. Esse sítio veio até mim através de sua proprietária minha amiga

Cláudia Aurélia, ela me conheceu em um curso de Agroflorestas realizado no sítio Dirindele. Nós conversamos ao final do curso, e marcamos uma visita para eu conhecer o local e caso tivesse interesse arrendar a área. Chegando ao local logo fiquei animado para o desafio, de plantar, agroflorestar, trabalhar na terra, fazer uma linda agrofloresta lá.

Por lá ficamos por quase quatro anos, foi uma das melhores experiências que eu tive na vida. Foi aonde conseguimos vivenciar a agroecologia, a relação familiar com meu pai, pois o mesmo sempre viveu longe. Nos dias atuais, estou concluindo essa Tese e seguindo minha vida, para novos desafios, novos lugares, sempre com a natureza em mim, somos parte dela, pertencemos a ela, à mãe natureza agradeço.

SUMÁRIO

RESUMO	10
INTRODUÇÃO GERAL	14
OBJETIVOS	20
OBJETIVO ESPECÍFICO	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 1	24
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1. Sistema agroflorestal experimental	27
3. RESULTADOS	32
3.1. Avaliação da Taxa de Sobrevivência (%)	32
4. DISCUSSÃO	39
4.1. Avaliação da Taxa de Sobrevivência (%), crescimento em DAC (cm) e Altura (cm)	39
4.2. Efeito dos tratamentos	46
4.3. Espécies	47
5. CONCLUSÃO	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 2	56
1. INTRODUÇÃO	57
2. MATERIAIS E MÉTODOS	59
2.1. Áreas de estudo	59
2.2. Caracterização química da qualidade dos solos nos SAF's e Áreas externas	62
2.3. Análises Estatísticas	62
3. RESULTADOS	63
3.1. Classificação dos sistemas agroflorestais estudados	63
3.2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs	64
3.3. Relação entre os atributos do solo com os SAFs	65
3.4. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs, Ecossistemas Naturais e Pastagens	65
3.5. Relação entre os atributos do solo com os usos do solo	67
3.6. Características edáficas entre os diferentes usos do solo	67
3.7. Análise de regressão	75
4. DISCUSSÃO	76
5. CONCLUSÃO	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO 3	85
1. INTRODUÇÃO	86
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	88
2.1. Áreas de estudo	88
2.2. Amostragem e análises dos solos	91
2.3. Extração de glomerosporos de fungos micorrízicos arbusculares	91
2.3. Análise estatística	92
3. RESULTADOS	92
3.1. Densidade de esporos de FMA	92
3.4. Espécies esporos de FMA	96
4. DISCUSSÃO	98
5. Conclusão	100
4. REFERÊNCIAS	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS	105

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é compreender a dinâmica dos sistemas agroflorestais no Cerrado, avaliando aspectos desde o solo até vegetação e seus micro-organismos nesse agroecossistema, para apresentar características que justifiquem a sua utilização como alternativa para restabelecimento de áreas degradadas. A tese será dividida em três capítulos em formato de artigo, sendo o primeiro capítulo intitulado “Desenvolvimento Inicial de um Sistema Agroflorestal biodiverso para recuperação de áreas degradadas no bioma Cerrado – um modelo experimental com diferentes manejos”. O segundo capítulo é intitulado “Atributos da fertilidade em diferentes usos do solo no bioma Cerrado” no qual reunimos aspectos da fertilidade e textura do solo e diferentes sistemas agroflorestais no Estado de Goiás. o terceiro capítulo da tese, intitulado “Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma Cerrado” é uma proposta de abranger o entendimento dos efeitos de organismos vivos dentro do sistema agroflorestal, destacando como a estrutura do agroecossistema pode beneficiar esse grupo. Como resultados parciais da pesquisa, no primeiro capítulo concluiu que as espécies *Acacia mangium* Willd, *Eucalyptus urograndis* W. Hill ex Maiden, *Musa paradisiaca* L, *Spondias mombin* L, apresentaram 100% de sobrevivência em todos os tratamentos e em todas as avaliações. Demonstrando serem espécies-chave para o sistema agroflorestal para recuperação de áreas degradadas. O tratamento denominado SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda, apresentou maior desenvolvimento das espécies, em relação aos tratamentos SAF2: Sistema agroflorestal com canteiros sem matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda; e tratamento SAF3: Sistema agroflorestal sem matéria orgânica sobre o solo, entrelinhas em pousio e sem manejos de poda. As análises e resultados da seção que aborda a qualidade do solo, antes e após os tratamentos deste capítulo, ainda está em construção. No capítulo 2, os resultados parciais encontrados foram que através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) os principais atributos que diferenciaram foram o pH, Ca, $H^+ + Al$, P, MO, SB e V%. A regressão simples obteve elevada correlação entre MO e Ca, entre MO e Mg, entre MO e SB e entre MO e CTC. O fósforo (P-) foi o nutriente que mais teve variação nos diferentes tipos de cobertura. O estudo da estrutura de comunidade de fungos micorrízicos arbusculares com base na ocorrência e densidade de esporos permitiu concluir que as comunidades de FMA foi maior em ecossistemas naturais do Cerrado, em relação aos SAF's e pastagens analisadas. Por fim, as características edáficas desses ambientes são importantes direcionadores da densidade de FMA nestas áreas e características químicas (Al trocável, Acidez potencial, Boro, Ferro, Enxofre) e físicas do solo (percentual de argila, areia e silte) são fatores que afetam a densidade de FMA.

Palavras-chave: esporos, *Eucalyptus*, alumínio, manejo.

ABSTRACT

The general objective of this work is understood and dynamic of agroforestry systems in the Cerrado, evaluating aspects from the soil to forest restoration and its microorganisms in this agroecosystem work, to present characteristics that justify its use as an alternative for the establishment of degraded areas. The thesis will likely be in three chapters in the form of an article chapter, the first being entitled "Initial Development of an Agroforestry System for the recovery of degraded areas in the Cerrado biome – a model with different". The second chapter is entitled "Fertility attributes in different land uses in the Cerrado biome" does not qualify the aspects of fertility and texture of different soil systems in the State of Goiás. The third chapter of the thesis, entitled "Arbuscular mycorrhizas in biodiverse agroforestry systems in the Cerrado biome" is a proposal to encompass the understanding of the effects of living organisms within the agroforestry system, highlighting how an agroecosystem structure can benefit this group. As partial results of the research, in the first chapter it was concluded that the species *Aca todoscia mangium* Willd, *Eucalyptus urograndis* W. Hill, *Musa paradisiaca* L, *Spondias mombin* L, presented 100% survival in all treatments and in estimates. Proving to be key species for the agroforestry system for the recovery of degraded areas. The treatment called SAF1: Agroforestry system with beds with organic matter on the soil and with pruning management, presented greater development of the species, in relation to treatments SAF2: Agroforestry system with beds without organic matter on the soil and with pruning managements; and treatment SAF3: Agroforestry system without organic matter on the soil, fallow between the lines and without pruning management. The analyzes and results of the section that addresses soil quality, before and after the treatments in this chapter, are still under construction. In chapter 2, the partial results found were that through the non-parametric Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$) the main attributes that differentiated were pH, Ca, H⁺⁺Al, P, MO, SB and V %. Simple regression showed a high correlation between MO and Ca, between MO and Mg, between MO and SB and between MO and CTC. Phosphorus (P-) was the nutrient that most varied in different types of coverage. The study of the community structure of arbuscular mycorrhizal fungi based on the occurrence and density of spores allowed us to conclude that AMF communities were higher in natural Cerrado ecosystems, in relation to the AFS and pastures analyzed. Finally, the edaphic characteristics of these environments are important drivers of AMF density in these areas and chemical characteristics (Exchangeable Al, Potential Acidity, Boron, Iron, Sulfur) and physical characteristics of the soil (percentage of clay, sand and silt) are factors that affect the density of AMF.

Keywords: spores, *Eucalyptus*, aluminum, management.

Lista de Figuras

Figura 1. Localização do experimento (SAFE'x) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO).....	27
Figura 2. Representação dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex).....	29
Figura 3. Sobrevivência das espécies no sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO), ($F_{ANOVA} = 38.1$, P-valor = < 0.001). 32	
Figura 4. Crescimento em diâmetro (mm) das espécies dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos e de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO) ($F_{ANOVA} = 33.2$, P-valor = < 0.001).....	35
Figura 5. Crescimento em altura (m) das espécies dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos e de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO) ($F_{ANOVA} = 354.8$, P-valor = < 0.001).....	37
Figura 6. Localização dos diferentes agroecossistemas (SAF'S) no estado de Goiás.....	59
Figura 7. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais no estado de Goiás e Distrito Federal.....	64
Figura 8. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais, pastagem no estado de Goiás e Distrito Federal.....	66
Figura 9. Box-plots das variáveis (pH em H ₂ O; Ca; Mg; Al; H ⁺ +Al em cmol/dm ⁻³ ; K; P e MO, Zn, SB, CTC, V%, argila e areia) que indicam diferenças significativas estatisticamente entre os teores de todos os atributos do solo dos Saf's da ecossistemas naturais e a pastagem, pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (p<0,05).....	74
Figura 10. Dispersão entre os valores estimados e observados, para os modelos com melhor R ² da validação.....	75
Figura 11. Estratificação vertical de um SAF multiestrata (agrofloresta biodiversa) com dois anos no Cisco da Felicidade em Piracanjuba, Goiás. a – vista externa da agrofloresta, com estrato baixo por culturas agrícolas herbáceas e gramíneas (açafreão), café, citrus. Estrato médio ocupado por culturas como a banana, mamão e amora. Estrato e emergente alto ocupado pela mangueira, goiaba, guapuruvu e Eucalipto. b – vista interna do SAF, com culturas agrícolas ocupando o estrato baixo (inhame), café e açaí. Estrato médio: banana e mamão.....	76
Figura 12. A contínua manutenção da cobertura do solo com matéria orgânica promove a intensificação da ciclagem de nutrientes. Fonte: Autor, 2022.....	77
Figura 13. Localização das áreas de estudo no Bioma Cerrado (em verde no mapa), no Estado de Goiás, Brasil. Os destaques mostram os sistemas agroflorestais biodiversos em estudo (SAF), onde SAF 1 e SAF 4 localizam-se no município de Hidrolândia (GO) e o SAF 2 e SAF 3 em Piracanjuba (GO).....	89
Figura 14. Esporos de algumas espécies/gêneros de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) recuperados por meio de peneiramento úmido de amostras compostas de solos dos sistemas agroflorestais, ecossistemas naturais (florestais) e pastagens. A-B: Acaulospora mellea (SAF3 - Cisco da Felicidade 2). C: Acaulospora cf. scrobiculata (SAF4 – SAFex/Ifgoiano). D: Scutellospora sp. 1 (SAF1 – Sítio Dirindele). E: Glomus sp.1 (PAST1 – Sítio Dirindele). F: Acaulospora sp. 1(SAF3 – Cisco da Felicidade 2) G-H: Rhizoglomus sp. (PAST 4 – SAFex/Ifgoiano). I: Gigaspora sp. (PAST 2 – Cisco da Felicidade 1). J: Glomus sp. 2(NAT2 – Cisco da Felicidade 1). K: Acaulospora sp. 2 (NAT4 – SAFex/Ifgoiano). L: Glomus macrocarpum (NAT4 – SAFex/Ifgoiano). M: Indeterminado 1 (NAT3 - Cisco da Felicidade 2). N: Indeterminado 2 (PAST1 – Sítio Dirindele).....	97

Lista de Tabelas

Tabela 1. Espécies plantadas no Sistema Agroflorestal Experimental (SAF'Ex ou SAFE) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO). N – número de mudas plantadas; CL – Clímax; SI – Secundária Inicial; SM – Secundária Média; ST – Secundária Tardia	31
Tabela 2. Sobrevivência das espécies do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) localizado no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO)	34
Tabela 3. Diâmetros médios avaliados (DM, cm) e incremento médio anual em diâmetro (IMA _D , cm), DM-T (diâmetro médio Total por espécie) e IMA _D -T (incremento médio total por espécie) do SAF'Ex, localizado no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO). Destaque em verde maiores valores e vermelho menores valores.	36
Tabela 4. Altura total média (HT _M) e incremento médio anual em altura (IMA _H , m) das espécies do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO).....	38
Tabela 5. Localização, área total, idade nos diferentes sistemas agroflorestais e respectivas áreas externas no estado de Goiás.....	61
Tabela 6. Relação entre parâmetros do solo e a idade para os diferentes de sistemas agroflorestais biodiversos (agroflorestas) no estado de Goiás e no Distrito Federal	65
Tabela 7. Relação entre parâmetros do solo de Sistemas Agroflorestais Biodiversos (agroflorestas), pastagem e ecossistemas naturais no estado de Goiás e Distrito Federal	67
Tabela 8. Teores do elementos físico-químicos para a camada superficial dos solos (0-20cm) amostradas nas agroflorestas, ecossistemas naturais e pastagens avaliadas no Estado de Goiás e Distrito Federal. Em que: Ca ²⁺ = Cálcio (cmolc.dm ⁻³); Mg ²⁺ = Magnésio (cmolc.dm ⁻³); Al ³⁺ = Alumínio (cmolc.dm ⁻³); H ⁺ = Hidrogênio; K ⁺ = Potássio (mg.dm ⁻³); P ⁻ = Fósforo (mg.dm ⁻³); MO = Matéria orgânica (g/kg); Zn = Zinco (mg.dm ⁻³), CTC(t) = Capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc.dm ⁻³); SB = Soma de bases (cmolc.dm ⁻³), pH = potencial hidrogeniônico (em H ₂ O); ARG = argila (g/kg); LIM = silte (g/kg); e areia (g/kg).....	70
Tabela 9. Informações do sistemas agroflorestais no Estado de Goiás.	90
Tabela 10. Variação na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA, 50g ⁻¹ solo) ao longo dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (Agroflorestas), Pastagens e Ecossistema naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no Estado de Goiás. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p <0.05) após o teste pairwise t-test após ANOVA. (CER – Cerradão; PAS – Pastagem; MAC – Mata Ciliar; SAF – Sistema Agroflorestal Biodiverso).....	93
Tabela 11. Análise de componente principais (PCA) realizada entre a densidade de esporos e os parâmetros físico-químico do solo, após o teste de autocorrelação entre os parâmetros, em diferentes usos do solo (AFS – sistemas agroflorestais; ecossistemas naturais – Cerradão e Mata Ciliar; Pastagem). O histograma mostra as porcentagens da variância explicada por cada componente principal	95

INTRODUÇÃO GERAL

O processo de antropização no Cerrado ultrapassou 50% do Bioma em 2013, situação identificada pelo PRODES Cerrado apenas em 2018. Ainda o PRODES Cerrado, revelou que existem 104.000 Km² de terras abandonadas no bioma Cerrado, que poderiam ser agricultadas ou restauradas (PARENTE et al. 2021).

Com isso grande parte do Cerrado já foi transformada, seja em pasto ou agricultura, em prol da expansão do agronegócio. A conversão agrícola para a soja e a criação de gado em larga escala, juntamente à contaminação do solo, água e ar por agrotóxicos, adubos e outros corretivos químicos, representam a maior ameaça ao bioma (FERNANDES et al., 2011; SANTOS et al. 2021).

As práticas agrícolas e de uso da terra devem ser significativamente melhoradas, para satisfazer as necessidades das gerações futuras, sem colocar pressão adicional sobre os ecossistemas globais. Embora a agricultura e a silvicultura sejam vitais para a sobrevivência humana, são responsáveis por impactos ambientais significativos, cujas consequências alcançar os níveis local, nacional e global (GUILLAUME et al., 2018).

Atividades como corte ilegal e incêndios florestais, manejo, fertilização de solos agrícolas e pecuária tem levado à perda de habitats, erosão do solo, e extinção de espécies (DUFFY, GODWIN, & CARDINALE, 2017). Além disso, a agricultura global é responsável por cerca de 24% de todas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de atividades antrópicas, e, portanto, um dos principais contribuintes para o aquecimento global (SMITH et al., 2014).

Além disso, pequenos agricultores em países tropicais em desenvolvimento são considerados os mais suscetíveis às consequências das alterações climáticas (SHIKUKU et al., 2017). Eventos climáticos extremos, como secas, inundações, temperaturas altas e baixas severas aumentaram no último meio século (NICHOLSON, 2014). Isso pode levar a um aumento em doenças e surtos de pragas, mortalidade de animais, diminuição de safras, migração humana e, em última análise, para muito mais pobreza (FAO, 2017).

Embora não exista uma solução única para este problema devastador, sistemas agroflorestais tem sido citada como uma das melhores alternativas para agricultura e melhoria dos meios de subsistência no desenvolvimento países (MATTHEWS et al., 2014). Conseqüentemente, acordos internacionais, como o Convenção-Quadro das Nações Unidas

sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e o Protocolo de Kyoto, levou governos e agências internacionais a adicionar agroflorestas à sua agenda oficial. Com o Desenvolvimento Limpo Mecanismo (MDL), projetos visando o sequestro de carbono cresceram consideravelmente nos países em desenvolvimento no final da década de 1990 (MORICLEMENT, 2019).

Nesse sentido, a implementação de novas práticas de cultivo e manejo dos recursos naturais devem ser difundidas para que os impactos das ações antrópicas sejam menos degradantes ao bioma, bem como o emprego de técnicas eficientes para a restauração de áreas degradadas, a fim de garantir a provisão de serviços ecossistêmicos às presentes e futuras gerações e conforme Miccolis et al., (2016), também são essenciais políticas públicas que valorizem produtos do Cerrado.

Ao longo da história recente da América tropical, a busca pelo desenvolvimento econômico das nações levou à devastação de extensas áreas naturais para a implantação de grandes centros urbanos, agropecuária intensiva, extração mineral, indústrias etc. Segundo Oldeman (1994), do total de áreas de solo degradado ou em degradação, 1,2 % corresponde às atividades de indústria e mineração, enquanto que atividades de produção e extrativismo ocupam 98%.

O nível de alteração do material remanescente de um processo de degradação frente ao solo original varia de acordo com a intensidade e com o tempo de duração do impacto e da resiliência do solo. Na maioria dos solos tropicais, a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para as plantas, e a sua perda causa sérios problemas na estrutura do solo e na disponibilidade de água, enxofre, fósforo e nitrogênio necessários ao desenvolvimento vegetal (FRANCO et al., 2000).

A utilização de árvores em processos de recuperação ambiental traz inúmeras vantagens para a recondução do processo de sucessão ecológica. As árvores podem melhorar ou recuperar a qualidade de um solo, já que (1) algumas espécies podem incrementar o teor de N no solo por meio da fixação de N₂ atmosférico com associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* ou actinomicetos do gênero *Frankia*; (2) o extenso sistema radicular permite que as árvores não só acumulem nutrientes que são retirados de grande volume de solo, mas também efetuem sua redistribuição melhorando a fertilidade dos horizontes superficiais; (3) permitem melhor condicionamento de solo pelo incremento de matéria orgânica, favorecendo a melhoria das condições microclimáticas do solo e da

superfície; (4) O efeito rizosfera, ou seja, as árvores criam condições favoráveis ao desenvolvimento de meso e microfauna e microflora, melhorando as características físicas, químicas e biológicas na região do entorno de raízes, resultando em profundo efeito benéfico sobre o crescimento de plantas e de características do solo (FISHER, 1995).

A atuação da matéria orgânica nas propriedades do solo é de muita importância, uma vez que atua como fonte de energia para a massa microbiana e nutrientes para as plantas (MARIN, 2002). A capacidade de troca de cátions é bastante influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais (CANELLAS et al., 2000). A mineralização da matéria orgânica resulta na liberação de nutrientes essenciais à planta, tais como N, P, S, K, Ca, Mg, micronutrientes e, ainda de 15 a 80% do P total encontrado no solo pode ser proveniente da matéria orgânica. (MARIN, 2002).

Sistemas Agroflorestais (SAF) - constituem-se em uma combinação integrada de árvores, arbustos, cultivos agrícolas e/ou animais, com enfoque na produção e no sistema como um todo e não apenas no produto (VIANA, 1991). O sistema agroflorestal é uma forma de uso da terra, na qual espécies lenhosas perenes são cultivadas consorciadas a espécies herbáceas ou animais, com a obtenção dos benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes (IBAMA, 2011).

Sistemas Agroflorestais de uso múltiplo - são áreas florestais implantadas em áreas degradadas ou perturbadas, onde a diversidade é conhecida e manejada de forma sustentada. Neste sistema, o manejo dos recursos naturais inclui a coleta de produtos florestais não madeireiros e/ou produtos florestais madeireiros, garantindo a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Deve-se ter o controle rigoroso das populações das plantas manejadas, visando garantir a sustentabilidade do processo.

O grande desafio da agricultura é encontrar formas de uso da terra que sejam viáveis economicamente e ecologicamente sustentáveis. Os sistemas agroflorestais são uma boa alternativa para utilizar recursos com maior produtividade e maior sustentabilidade, devido ao aumento da biodiversidade, proteção do solo, eliminação do uso de fertilizante convencional (fonte de N₂O).

As agroflorestas foram identificadas como uma estratégia chave no NDCs (siglas em inglês de Nationally Determined Contributions) de vários países em desenvolvimento, por isso contribuem de forma significativa para os objetivos globais em torno das mudanças climática. As agroflorestas, definidas como a integração de árvores em os

sistemas produtivos e sua gestão em paisagens agrícolas, pode ajudar a reduzir as emissões e alcançar a neutralidade de carbono agrícola de várias maneiras.

As agroflorestas foram identificadas como uma estratégia chave no NDCs (siglas em inglês de Nationally Determined Contributions) de vários países em desenvolvimento, por isso contribuem de forma significativa para os objetivos globais em torno das mudanças climática. As agroflorestas, definidas como a integração de árvores em os sistemas produtivos e sua gestão em paisagens agrícolas, pode ajudar a reduzir as emissões e alcançar a neutralidade de carbono agrícola de várias maneiras.

Primeiro, através de sequestro de carbono à medida que as árvores crescem; em segundo lugar, ao substituir o fertilizante convencional (fonte de N₂O) fixando nitrogênio e aumentando a fertilidade do solo como uma opção sustentável, evitando o desmatamento, além de fornecer lenha e produtos florestais na própria fazenda, evitando degradação de ambientes naturais (MBOW et al., 2014).

Os sistemas agroflorestais se apresentam benéficos ao meio ambiente como sistemas agrícolas produtivos com características conservacionistas são amplamente estudadas em outros biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica, além de muitos outros domínios fitogeográficos pelo mundo (florestas úmidas) (CASSANO et al. 2009).

Muitas espécies não nativas da flora brasileira são de grande importância para o bom desenvolvimento e viabilidade econômica dos SAFs. A maior parte das espécies nativas cultivadas em SAFs são de matas de galeria e ciliar. Na literatura, há muitos estudos sobre tolerância ao sombreamento. No entanto, para espécies nativas, a maior parte destes estudos são para germinação da semente e desenvolvimento inicial de plântulas (DUTRA et al., 2012; FIRMINO; QUEIROZ, 2014; PAGLIARINI et al., 2017; REGO; POSSAMAI, 2006), sendo difícil encontrar estudos sobre produtividade e taxas de crescimento sob diferentes luminosidades para plantas adultas. Para espécies amplamente cultivadas comercialmente, há mais informações disponíveis.

Espécies de Cerrado *sensu strictu* (RIBEIRO; WALTER, 2008) como Araticum (*Annona crassiflora*), Ipê-do-cerrado (*Handroanthus ochraceus*) e Pequi (*Caryocar brasiliense*), por exemplo, em geral são heliófitas e pouco encontradas em formações florestais (PINHEIRO; DURIGAN, 2012), não sendo indicadas para compor a estratificação no ambiente agrofloresta, em especial aqueles com altas densidade de Eucalipto e Bananeiras, com rápido sombreamento. Por outro lado, espécies típicas de Matas de Galeria e Ciliar

precisam de sombra no seu desenvolvimento inicial (RESSEL et al., 2004) e são indicadas para agroflorestas com sombreamento rápido.

Porém para as savanas, incluindo o Cerrado, que apresentam características edafoclimáticas particulares em relação a outros sistemas florestais, ainda não há estudos demonstrando os efeitos da produção agroflorestal. Sendo assim, para implementar sistemas agroflorestais cada vez mais sustentáveis, sistemas que fornecem produção de alimentos e aos mesmo tempo favorecem a biodiversidade e a conservação de ecossistemas naturais.

A degradação provocada por inúmeras atividades humanas tem causado não só a instabilidade ecológica dos ecossistemas, mas também prejuízos econômicos. Sabe-se que a restauração ecológica é um processo complexo, que requer tempo, recursos (dinheiro, mão de obra e tecnologia) e conhecimento dos diversos fatores relacionados à área a ser restaurada, como as características do solo, da água, da fauna, da flora e as modificações inerentes ao processo que ocasionam (ou ocasionarão) o distúrbio.

Neste sentido é esperado que os sistemas agroflorestais conservem a biodiversidade arbórea de forma similar ao bioma Cerrado. Os solos nesses sistemas apresentem características químicas e biológicas melhores que outros agrossistemas. Que os sistemas agroflorestais sucessionais (agroflorestas) acumulem maior biomassa e carbono no solo e na vegetação, além de apresentarem maior estoque nutricional nos solos de outros agrossistemas homogêneos.

Quanto mais estruturadas as agroflorestas estiverem em parâmetros florestais como altura e diâmetro e fitossociologia, maior serão os parâmetros de riqueza e diversidade de espécies. E que sistemas agroflorestais apresentem maior produção mais diversificada por hectare que sistemas agrícolas homogêneos. Os agricultores de sistemas agroflorestais escolham as espécies pela interesse e conhecimento nas espécies florestais e pela produção e rentabilidade. Dessa forma, reestabelecendo os processos naturais, da área com vegetação da flora nativa, chegando ao máximo as características e processos ecológicos da área degradada as condições originais de antes da degradação, levando em consideração toda a fauna, flora, topografia, solos, hidrografia, como também gerar retorno econômico aos agricultores, diminuindo assim a abertura de novas áreas para agricultura convencional e conservando os fragmentos de ecossistemas naturais existentes.

Tendo em vista o distanciamento dos modelos agrícolas produtivos do Bioma Cerrado, a ampla escalada da degradação ambiental relacionado com agropecuária e a falta de alternativas que conciliem conservação e produção agrícola, este trabalho propõe diferentes capítulos que busca compreender os sistemas agroflorestais no Cerrado.

Informações sobre a dinâmica dos microrganismos, como fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes tipos de solos e estações climáticas, pode ser um alternativa útil para avaliar a qualidade dos ecossistemas combinados com plantações florestais, e compreender os fatores edáficos e climáticos que afetam essas comunidades (AKER et al. 2022). FMA auxilia no processo de absorção de nutriente pelas plantas, principalmente nutrientes que estão em níveis baixos nos solos (CHEN et al., 2018), e contribuem para a formação e estabilidade de agregados do solo, através de seu micélio produção da glomalina, restabelecendo assim a estrutura do solo (BARBOSA et al., 2019).

Fungos micorrízicos arbusculares contribuem para a eficiência no processo de ciclagem de nutrientes, e desenvolvimento e sucessão de plantas, melhorando a estabelecimento de espécies vegetais em níveis intermediários e estágios avançados de sucessão, e a recuperação da cobertura vegetal na fase de clímax (SOUSA et al., 2014). Portanto, os FMA apresentam benefícios ambientais e caracterizam-se como um recurso biótico útil para manejo sustentável do solo (CHEN et al., 2018), por garantindo a manutenção da biodiversidade vegetal e funções do ecossistema.

A tese está dividida em três capítulos em formato de artigo, sendo o primeiro capítulo intitulado “Desenvolvimento Inicial de um Sistema Agroflorestral biodiverso para recuperação de áreas degradadas no bioma Cerrado – um modelo experimental com diferentes manejos”, no qual propomos a avaliação de um sistema agroflorestral implantado em parceria no Instituto Federal Goiano, Campus Avançado Hidrolândia, para acompanhar o desenvolvimento do sistema agrícola e suas transformações ao longo do tempo, comparando o desenvolvimento vegetal de espécies nativas e exóticas ao Cerrado.

Seguindo a tese, o segundo capítulo é intitulado “Atributos da fertilidade em diferentes usos do solo no bioma Cerrado” no qual reunimos aspectos da fertilidade e textura do solo e diferentes sistemas agroflorestais no Estado de Goiás, comparando suas características com o solo de pastagens e de ecossistemas naturais. Neste capítulo mostramos as alterações e melhorias na qualidade do solo devido ao estabelecimento do sistema agroflorestral do Cerrado, destacando o sistema como uma estratégia eficiente na redução da degradação ambiental do solo.

Por último, o terceiro capítulo da tese, intitulado “Micorrizas em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma Cerrado” é uma proposta de abranger o entendimento dos efeitos de organismos vivos dentro do sistema agroflorestal, destacando como a estrutura do agroecossistema pode beneficiar esse grupo. O interesse por micorrizas é devido ao conhecido fato do benefício das associações micorrízicas para as culturas agrícolas e grande potencial para aproveitamento na agricultura. Também destacamos que o conhecimento desses grupos fúngicos nos sistemas agroflorestais e para o Cerrado ainda são muito restritos, sendo considerados lacunas do conhecimento científico.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é compreender a dinâmica dos sistemas agroflorestais no Cerrado, avaliando aspectos desde o solo até vegetação e seus micro-organismos nesse agroecossistema, para apresentar características que justifiquem a sua utilização como alternativa para restabelecimento de áreas degradadas.

OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Avaliar o desenvolvimento inicial de espécies nativas e exóticas ao Cerrado (sobrevivência, o desenvolvimento em diâmetro à altura do coleto e altura total) em diferentes tratamentos de manejo de matéria orgânica em sistema agroflorestal biodiverso experimental estabelecido no Ifgoiano campus avançado de Hidrolândia – Goiás.
2. Identificar espécies-chave florestais nativas e exóticas para restaurar áreas degradadas no bioma Cerrado.
3. Avaliar o efeito do incremento de matéria orgânica no solo do Cerrado em relação ao benefício dela para o as plantas nativas e exóticas do bioma e as melhorias na qualidade do solo.

4. Alterações e melhorias na qualidade do solo devido ao estabelecimento do sistema agroflorestal do Cerrado
5. Verificar a influencia do uso do solo em ambientes agroflorestais, nativo e pastagem sob a quantidade de esporos de micorrizas no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; FRANÇOSO, R. D.; NEVES, A. N.; FERNANDES, G.W.; PEDRONI, F; LACERDA, M. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, J. DE A.; BUSTAMANTE, M; DINIZ, S. Cerrado Terra Incógnita do Século XXI. *Ciência Hoje*. V.330, p. 33 – 37. 2015.

BARBOSA, L. M; MANTOVANI, W. Degradação ambiental: conceituação e base para o repovoamento vegetal. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DA SERRA DO MAR E FORMAÇÕES LITORÂNEAS. Anais ... São Paulo: SMA, 2000.

CASSANO, C.R.; SCHROTH, G.; FARIA, D.; DELABIE, J.H.C. & BEDE, L. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation** 18: 577-603. 2008.

CANELLAS, L.P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.233-143, 2000.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies Pioneiras para Recuperação de Áreas Degradadas: A observação em laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. [Anais...?] Campos do Jordão: [s.n.], 1990. p. 216-221.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A. CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. (Eds.) Fertilidade do solo. SBCS, Viçosa, 2007. p. 955-990.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no Cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 143-154, 2005.

FISHER, R. F. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 544-549, 1995.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. *Global Ecology and Biogeography*, v. 8, p. 223-241. 1999.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de. Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1996. 69 p. (EMBRAPA-CNPAB. Documentos, 27).

GALVÃO, A. P.; MEDEIROS, A. C. (ed.). Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural. Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

MACHADO, R. B. et al. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservação internacional. Brasília, jul./2004. p.1-25. Relatório técnico não publicado.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.669-677, 2007.

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília: Conservation International. 2004b. Relatório técnico não publicado.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA JUNIOR, M.C.; FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E. & FAGG, C.W. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. Pp. 423-1279. In: S.M. Sano; Almeida, S.P. & J.F. Ribeiro (eds.). Cerrado: ecologia e flora. v. 2. Brasília, Embrapa Informação e Tecnologia, 2008.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B. & BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology* 19(3): 601-611, 2005.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.
OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and wood flora of the bioma Cerrado. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical Savanna*. New York: Columbia University Pressp. 91-120, 2002.

MBOW, C. et al. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 6, p. 61-67, 2014.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. & RATTER, J. A. (1994). *Database: Woody flora of 106 forest areas of eastern tropical South America*. Royal Botanic Garden Edinburgh.

OLDEMAN, L.R. (1994) The Global Extent of Soil Degradation. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I., Eds., *Soil Resilience and Sustainable Landuse*, CAB International, Wallingford, 99-119.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In *Cerrado: ecologia e flora* (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Planaltina. p.151-212, 2008.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA Jr., L.G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 166, p. 113-124, 2010.

SILVA, J.C.M. & BATES, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical Savanna hotspot. *BioScience* 52(3):225-233, 2002.

SILVA, L. A. G. C. Biomas presentes no Estado do Tocantins. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Brasília: Consultoria legislativa, 2007. 10 p. (Nota Técnica).

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA-FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A.

Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*. v. 1, n. 0099, p. 1-3, 2017. Doi: 10.1038 / s41559-017-0099.

VIANA, V. M. Biologia e Manejo de Fragmentos de Florestas Naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: SBS, 1990. p. 113-118. v.1.

Walter, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Pp. 373 Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, 2006.

WILLIAMS K, FORD A, ROSAUER D, SILVA N, MITTERMEIER R, BRUCE C & LARSEN FW, MARGULES C. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. In: Zachos FE & Habel JC (eds.) Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas. Springer, New York. Pp. 295-310, 2011.

CAPÍTULO 1

Desenvolvimento Inicial de um Sistema Agroflorestal biodiverso para recuperação de áreas degradadas no Cerrado.

Resumo

A pesquisa realizada no sistema agroflorestal experimental, avaliou a sobrevivência e a relação do incremento de espécies arbóreas. O experimento foi instalado IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, situado na Estrada São Brás, km 04, Zona Rural, no município de Hidrolândia (GO). O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo três blocos, com três tratamentos e duas repetições. As 18 parcelas foram de 120,0 m² (10m x 12m), com espaçamento de 10 m entre si, compreendendo uma área total de aproximadamente 0,49 ha (70m x 70m). Os tratamentos adotados são: 1) SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com cobertura de matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda; 2) SAF2: Sistema agroflorestal com canteiros sem matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda; 3) SAF3: Sistema silvicultural sem matéria orgânica sobre o solo, entrelinhas em pousio e sem manejos de poda. Foram feitas avaliações de crescimento mensalmente, medindo-se os Diâmetros à Altura do Coletor e as alturas totais das plantas de dezembro de 2017 até outubro de 2019. As espécies *Caryocar brasiliense* (Pequi), *Plinia cauliflora* (Jabuticaba) e *Spondias mombin* (Taperebá) apresentaram 100% de sobrevivência em todos tratamentos e em todas avaliações. O SAF1 apresentou diferença estatística em relação ao crescimento em diâmetro e altura, porém não apresentou diferença na sobrevivência das espécies. A matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda semestral promove o estabelecimento de estratificação horizontal e vertical semelhante a florestas naturais, sendo esta uma das características ecológicas que indicam o estabelecimento de processos desejáveis para a recuperação de áreas degradadas.

Abstract

The research carried out in the experimental agroforestry system, evaluated the relation of the increment of tree species and the edaphoclimatic attributes. The experiment was installed IF Goiano - Advanced Campus Hidrolândia, located at Estrada São Brás, km 04, Zona Rural, in the municipality of Hidrolândia (GO). The experimental design was in randomized blocks containing three treatments and three replications. The plots were 120.0m² (10m x 12m), spaced 10m apart, comprising a total area of approximately 0.49ha (70m x 70m). The treatments adopted are: 1) SAF1: Agroforestry system with beds with cover of organic matter on the soil and with pruning management; 2) SAF2: Agroforestry system with beds without organic matter on the soil and with pruning management; 3) SAF3: silvicultural system without organic matter on the soil, between fallow lines and without pruning management. Growth evaluations were made monthly, measuring the diameters at the height of the collection and the total heights of the plants from December 2017 to October 2020. The species *Acacia mangium* Willd, *Eucalyptus grandis*, *Musa paradisiaca* L, *Spondias mombin* L, presented 100 % of survival in all treatments and in all evaluations. The use of this agroforestry system with beds with organic matter on the soil and with semi-annual pruning management promotes the establishment of horizontal and vertical stratification similar to natural forests, which is one of the ecological characteristics that indicate the establishment of desirable processes for the recovery of areas degraded.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a aplicação intensiva da agricultura industrial colocou o país entre os maiores usuários mundiais de agrotóxicos (BRAGA et al. 2020), e é responsável pela alta na taxa de desmatamento (PENDRILL et al. 2019). Porém, o Brasil também abriga quantidades significativas de água doce do mundo, biodiversidade florestal (FAO, 2020) e diversidade cultural (CACHO et al. 2018), fornecendo importantes serviços ecossistêmicos para a sociedade.

Dessa maneira, como é um país primariamente tropical e florestado, com uma notável conhecimento sociocultural e educacional, o Brasil tem um grande potencial de expansão e implantação de agroflorestas (SCHULER et al. 2022).

Em comparação com os 263 milhões de hectares sob sistemas agrícolas (2020), o que representa aproximadamente 30% do território nacional, as agroflorestas no Brasil cobre cerca de 5% do terras cultivadas, e não há informações se essas agroflorestas seguem o modelo convencional ou são orientados por princípios agroecológicos (MAPBIOMAS, 2020). Tem ocorrido um crescente reconhecimento do potencial da agrossilvicultura para restaurar e manter paisagens em todo o vasto país tropical, especialmente para a agricultura familiar (BADARI et al. 2020).

Existe o crescimento tanto de literatura como iniciativas independentes, a agrofloresta agora pode ser usada para restaurar e manter as áreas legalmente protegidas dentro das pequenas propriedades rurais (BRASIL, 2012). Além disso, agrofloresta está sendo recomendada como alternativa para a restauração de 12 milhões de hectares de pastagens degradadas no Brasil no âmbito do Plano Nacional de Recuperação de Vegetação (BRASIL-PLANAVEG, 2017).

O principal objetivo dos SAFs (Agroflorestas) é a otimização do uso da terra, conciliando a produção de alimentos, energia e serviços ecossistêmicos com a produção florestal, diminuindo a pressão pelo uso da terra na agropecuária convencional e possibilitando a conservação do potencial produtivo do solo, por meio de sistemas agroecológicos mais estáveis (DUBOC, 2008).

Sistemas agroflorestais são reconhecidos como um manejo sustentável da terra com possibilidades de conciliar a produção de alimentos, produtividade de serviços ambientais e sociais, além de impulsionar a restauração de ambientes degradados (MICCOLIS et al. 2017). Constituindo-se, assim, como uma estratégia de agricultura em bases agroecológicas. Esses sistemas apresentam um diferencial para as comunidades tradicionais, camponesas e da

reforma agrária devido à notável diversidade de desenhos e integrações planta-animal possíveis (EVANGELISTA et al. 2020).

Os SAFs têm ganhado cada vez mais reconhecimento entre as práticas agrícolas no bioma Cerrado, no entanto, são implantados, em sua maioria, com plantas exóticas ao bioma. Ainda que essas espécies exóticas sejam utilizadas para se obter um recobrimento rápido de vegetação na área, como forma de auxiliar o crescimento das demais espécies, nessas agroflorestas há manejo constante por parte dos agricultores focando em controlar tais espécies, corroborando a proposição de Ramos et al. (2015) de que as agroflorestas funcionam como uma alternativa de zona de amortecimento dificultando a invasão biológica. A maior parte das espécies nativas do Cerrado cultivadas em SAFs são de formações florestais, como Floresta Estacional, Cerradão, Matas de galeria e Ciliar (CHACEL, 2018).

Segundo BORDINO et al. (2018) o Cerrado possui 57% de sua área original desmatada pela ação antrópica. Nesse contexto, torna-se importante a implementação de SAFs cada vez mais biodiversos, com espécies de formações florestais Jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*), Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Ingá-de-metro (*Inga edulis*), Chichá (*Sterculia striata*), Baru (*Dipteryx alata*), e também de Cerrado *sensu strictu* (RIBEIRO; WALTER, 2008) como Araticum (*Annona crassiflora*), Ipê-do-cerrado (*Handroanthus ochraceus*), Pequi (*Caryocar brasiliense*), Mangaba (*Hancornia speciosa*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*), por exemplo.

Quanto mais o sistema agroflorestal for parecido aos ecossistemas naturais, mais sustentável este será no que diz respeito à sua estrutura e função e ainda melhor será a eficiência produtiva dos SAFs no Cerrado Goiano e a contribuição desses sistemas para a qualidade de vida dos agricultores (SANTOS et al. 2021).

A falta de monitoramento contínuo de espécies agrícolas e florestais em sistemas agroflorestais é, contudo, um dos problemas que impedem o avanço do conhecimento do desempenho produtivo desses sistemas diversificados (GAMA, 2003). Diante disso, o plantio de espécies arbóreas e o acompanhamento de seu desenvolvimento por meio de medições periódicas da produtividade florestal são, portanto, importantes para orientar a escolha das espécies arbóreas e as formas de plantio (TONINI et al., 2006).

Portanto, o presente estudo busca preencher a lacuna de conhecimento de sobrevivência, crescimento em diâmetro e altura de espécies nativas e exóticas ao bioma Cerrado, correlacionando aos efeitos do manejo da poda e adição de matéria orgânica na

agrofloresta, fornecendo assim informações que viabilizem seu uso na recuperação de áreas degradadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Sistema agroflorestal experimental

O experimento de campo de longa duração foi implantado no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, situado na Estrada São Brás, km 04, Zona Rural, no município de Hidrolândia (GO), entre as coordenadas geográficas 17°00'58.6" de latitude Sul e 49°11'59.1" de longitude Oeste.

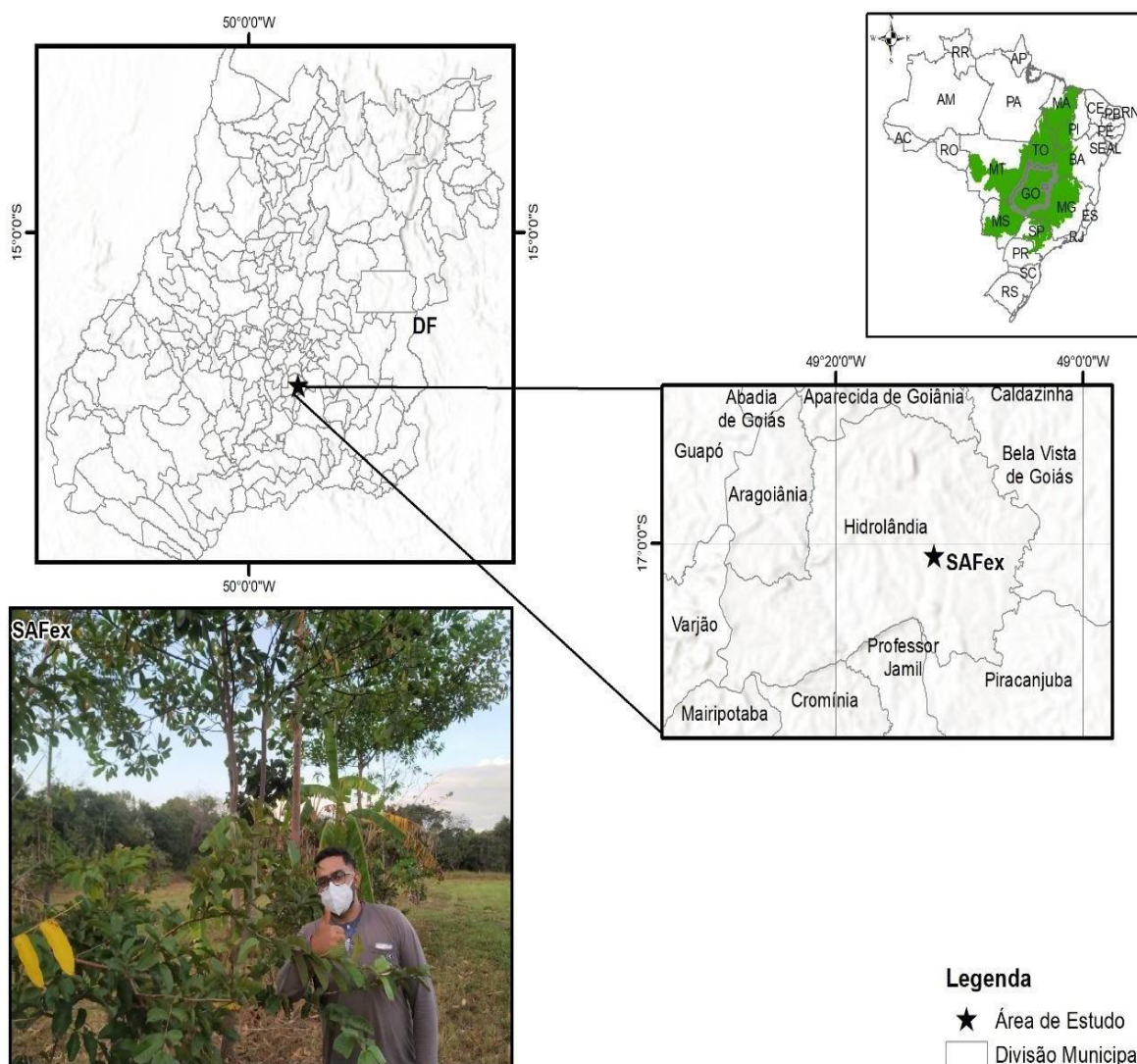


Figura 1. Localização do experimento (SAFE'x) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO).

Apresenta clima segundo a classificação de Köppen AW Tropical estacional de savana megatérmico com temperatura média do mês mais frio acima de 18,0°C. Tem precipitação média anual de 1.400 mm concentrada no período de outubro a março. O período seco varia de 5 a 6 meses (abril a setembro), e predominam os solos Latossolo Vermelho Escuro. Possui um clima tropical, com duas estações bem definidas, uma chuvosa, entre os meses de outubro e abril, e outra seca, entre maio e setembro. A temperatura média oscila entre 24° a 26°C. No inverno, devido às características da região e do ar seco, ocorrem noites e madrugadas muito frias, em especial nos meses de junho e julho (PANIAGO et al. 2019).

A classificação dos solos da área em estudo foi realizado através de normas e procedimentos (Centro Nacional de Pesquisa de solos) da EMBRAPA, manual técnico de pedologia (OLIVEIRA, 2007) e procedimentos normativos de levantamentos de solos (EMBRAPA, 1995). Os critérios para distinção das classes de solos e das fases de unidades de mapeamento e normas, pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo três blocos com três tratamentos e duas repetições (Figura 1). As 18 parcelas foram de 120,0 m² (10m x 12m), com espaçamento de 10 m entre si, compreendendo uma área total de aproximadamente 0,49 ha (70m x 70m). Os tratamentos adotados são:

1) SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral);

2) SAF2: Sistema agroflorestal com canteiros sem matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral);

3) SAF3: Sistema agroflorestal sem matéria orgânica sobre o solo, entrelinhas em pousio e sem manejos de poda.

Nas linhas de componentes arbóreos (linhas de árvores 1 e 2), implantados desde 01 de dezembro de 2017, (Figura 2), o componente florestal principal selecionado para a produção de biomassa foi o Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e a Bananeira (*Musa paradisiaca* L.) em maior quantidade de indivíduos no desenho agroflorestal, mas também foram utilizadas para essa função Acácia Mangium (*Acacia mangium* Willd.) e Eucalipto arco-iris (*Eucalyptos deglupta* Blume).

Com a função de frutos comerciais de alto valor, foram selecionados a Goiaba vermelha

(*Psidium guajava* L.) e o Limão (*Citrus limon* (L.) Burman F), e ocupando estratos mais baixos, o Café catuaí (*Coffea arabica* var. *catuai*), e mais altos, a Amora (*Morus* sp.). Para completar a alta diversidade proposta para o o experimento de campo, foram implantadas espécies nativas, como Taperebá (*Spondias mombin* L.), Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), Curriola (*Pouteria torta* (Mart.) Radlk.), Pequi gigante sem espinho (*Caryocar brasiliense* Cambess), Jabuticaba anã (*Plinia cauliflora* (DC.) Kausel), Barú (*Dypterix alata* Vog.), Cagaita (*Eugenia dysenterica* (Mart.) DC.) e Cajuzinho do Cerrado (*Anacardium occidentale* L.) (Tabela 1).



Figura 2. Representação dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex).

A implantação e manejo deste sistema seguiram os princípios de Agricultura Sintrópica, segundo Ernst Götsch (REBELLO, 2018), e a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012). O cultivo de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais foi baseado nas orientações de Macêdo (2007); e o cultivo de hortaliças, raízes, tubérculos, rizomas e bulbos, conforme SENAR (2012), além de algumas práticas baseadas nas Fichas Agroecológicas com as Tecnologias apropriadas para a Agricultura Orgânica da Coordenação de Agroecologia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

As variáveis monitoradas mensalmente, foram: sobrevivência (%), altura dos componentes arbóreos, por meio do clinômetro Haglof, e o diâmetro à altura do coleto (DAC), por meio de paquímetro digital (HIGA et al., 2014). Os incrementos diamétricos à altura do coleto e em altura foram avaliados com base no crescimento das plantas medidos no intervalo entre Dezembro de 2018 à Outubro/2020, levando em consideração somente os indivíduos vivos em cada período. A sobrevivência das mudas foi avaliada pelo total de sobreviventes em relação ao total de mudas plantadas, sendo consideradas plantas mortas aquelas que apresentavam o caule seco e ausência de folhas ou que estava ausentes do local determinado do plantio (BRANCALION et al., 2015).

Tabela 1. Espécies plantadas no Sistema Agroflorestal Experimental (SAF'Ex ou SAFE) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO). N – número de mudas plantadas; CL – Clímax; SI – Secundária Inicial; SM – Secundária Média; ST – Secundária Tardia.

Espécies	Família	Nome popular	Estrato	Grupos			Colheita da Madeira (anos)	N
				sucessional	Uso	Produção de frutos (anos)		
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Fabaceae	Acácia	Alto	CL	Madeira	-	Entre 5 a 10	36
<i>Morus nigra</i> L.	Moraceae	Amora	Médio	SI	Frutifera	1,5 a 3		53
<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae	Banana	Médio	SM	Frutifera	1,5 a 30		72
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Fabaceae	Baru	Alto	CL	Madeira/Frutifera	7 a mais de 30	mais de 20	18
<i>Coffea arabica</i> L.	Rubiaceae	Café	Baixo	SM	Frutifera	2 e mais de 30		54
<i>Eugenia dysenterica</i> (Mart.) DC.	Myrtaceae	Cagaíta	Médio	-	Frutifera	5 a mais de 30		18
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	Cajuzinho	Médio	-	Frutifera	8 a mais de 30		18
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	Myrtaceae	Eucalipto	Emergente	CL	Madeira/M.O.	-	< 4 anos	54
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	Myrtaceae	Eucalipto arcoiris	Emergente	CL	Madeira/M.O.	-	< 4 anos	36
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	Goiaba	Alto	-	Frutifera	3 e 30		36
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.)	Sapotaceae	Curriola	Médio	-	Madeira/Frutifera	7 a mais de 30		18
<i>Plinia cauliflora</i> (DC.) Kausel	Myrtaceae	Jabuticaba	Médio	-	Frutifera	10 e mais de 30		16
<i>Citrus limon</i> (L.) Burman F	Rutaceae	Limão	Baixo	-	Frutifera	3 e 15		32
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	Mangaba	Baixo	-	Frutifera	5 a mais de 30		18
<i>Annona diversifolia</i> Saff.	Annonaceae	Papaua	Médio	-	Frutifera	5 e 15		18
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Caryocaraceae	Pequi	Alto/Emergente	CL	Frutifera	6 a mais de 30		18
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Taberebá	Emergente	ST	Frutifera	3 e mais de 30		18
Total Geral								533

2.3. Análise Estatística

Para avaliar as diferenças entre os sistemas em termos da sobrevivência das espécies, diâmetro e altura, utilizamos uma análise de variância fatorial para verificar a relação entre as médias observadas para estes parâmetros entre cada sistema, utilizando o pacote *vegan* para o ambiente estatístico R (OKSANEN et al. 2020, R CORE TEAM, 2022). Gráficos foram elaborados utilizando a função *lineplot.CI* do pacote *sciplot* para ambiente R (MORALES, 2020).

3. RESULTADOS

3.1. Avaliação da Taxa de Sobrevivência (%)

A análise de variância ($F_{ANOVA} = 38.1$, P-valor = < 0.001) para os dados de índice de sobrevivência indicou que houve diferença entre os tratamentos (Figura 3). A maior sobrevivência foi no SAF 1 (62%), seguido por SAF 3 (61%) e SAF 2 (59%), respectivamente. A sobrevivência total das espécies observada no sistema agroflorestal experimental é de 61% (Tabela 3).

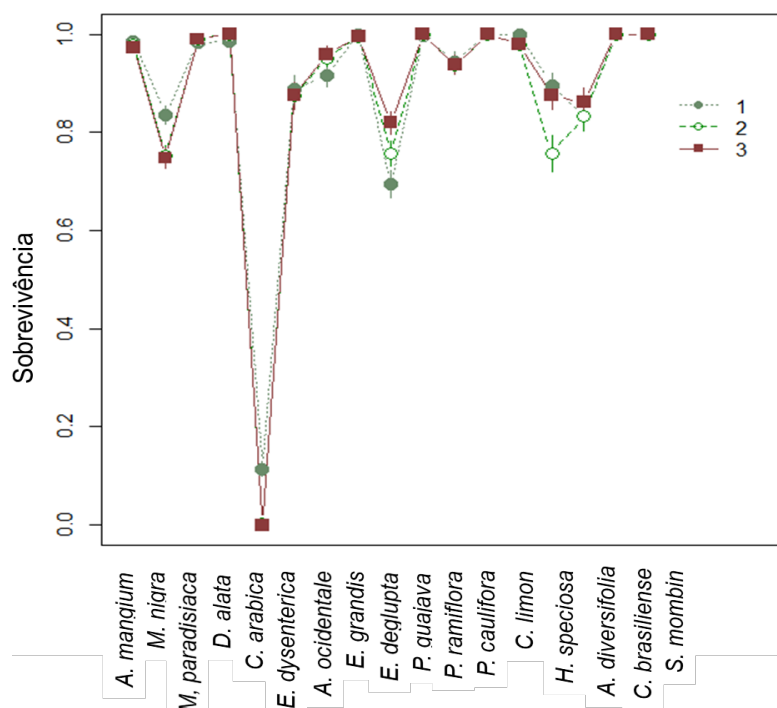


Figura 3. Sobrevivência das espécies no sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO), ($F_{ANOVA} = 38.1$, P-valor = < 0.001).

Verificou-se uma sobrevivência total de 100% nas espécies: *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel, *Caryocar brasiliense* Cambess e *Spondias mombin* L. As taxas de sobrevivência das espécies *Psidium guajava* L (97%), *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (96%), *Dipteryx alata* Vogel (89%), seguida por *Musa paradisiaca* L (86%) e *Citrus limon* (L.) Burman F (83%) acima de 80% de sobrevivência aos 24 meses após o plantio.

As espécies *Morus nigra* L (72%), *Pouteria ramiflora* Mart (67%), *Acacia mangium* Willd (64%) apresentaram sobrevivência acima de 50% aos 24 meses após o plantio. Entre as espécies que apresentaram elevada mortalidade (baixa sobrevivência) durante o período de avaliações, destaca-se o *Anacardium occidentale* L. (50%), *Eucalyptus deglupta* Blume (14%), *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC (6%), *Hancornia speciosa* Gomes (6%), *Annona diversifolia* Saff (6%). A espécie *Coffea arabica* L não apresentou taxa de sobrevivência em nenhum tratamento.

O SAF1 com o tratamento de canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral), apresentou maior sobrevivência com 62%. Destacam-se as espécies com 100% sobrevivência, *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel, *Caryocar brasiliense* Cambess, *Spondias mombin* L, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Citrus limon* (L.) Burman F. Entre as espécies que apresentaram elevada mortalidade, baixa sobrevivência durante o período de monitoramento, observa-se *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, *Hancornia speciosa* Gomes, *Annona diversifolia* Saff.

O SAF2 com canteiros sem matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral), foi observado 59% de sobrevivência. Destaca-se as espécies *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel, *Caryocar brasiliense* Cambess, *Spondias mombin* L, *Psidium guajava* L e *Dipteryx alata* Vogel com 100% de sobrevivência. Enquanto as espécies *Eucalyptus deglupta* Blume, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, *Hancornia speciosa* Gomes, *Annona diversifolia* Saff apresentaram baixa sobrevivência e *Coffea arabica* L não sobreviveu.

No SAF3 sem matéria orgânica sobre o solo, entrelinhas em pousio e sem manejos de poda observo-se 61% de sobrevivência. Onde, as espécies *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel, *Caryocar brasiliense* Cambess e *Spondias mombin* L apresentaram 100% de sobrevivência. As espécies *Eucalyptus deglupta* Blume, *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, *Hancornia speciosa* Gomes e *Annona diversifolia* Saff apresentaram baixa sobrevivência.

As espécies plantas para compor o estrato médio do SAF'Ex foram: o *Anacardium occidentale* L, *Annona diversifolia* Saff., *Eugenia dysenterica* (Mart.) DC, *Morus nigra* L, *Musa paradisiaca* L, *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel e *Pouteria ramiflora* (Mart.).

Tabela 2. Sobrevivência das espécies do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) localizado no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO).

Espécies	Família	Nome popular	Estrato	SAF 1 %	SAF2 %	SAF3 %	Total %
<i>Plinia cauliflora</i> (DC.) Kausel	Myrtaceae	Jabuticaba	Médio/Baixo	100	100	100	100
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Caryocaraceae	Pequi	Médio	100	100	100	100
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Taberebá	Emergente	100	100	100	100
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	Goiaba	Baixo	92	100	100	97
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	Myrtaceae	Eucalipto	Emergente	100	94	94	96
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Fabaceae	Baru	Alto	67	100	100	89
<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae	Banana	Médio	92	83	83	86
<i>Citrus limon</i> (L.) Burman F	Rutaceae	Limão	Baixo	100	75	75	83
<i>Morus nigra</i> L.	Moraceae	Amora	Médio	65	61	92	72
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.)	Sapotaceae	Guapeva	Médio	67	67	67	67
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Fabaceae	Acácia	Alto	83	58	50	64
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	Cajuzinho	Médio	33	50	67	50
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	Myrtaceae	Eucalipto arcoiris	Emergente	25	17	0	14
<i>Eugenia dysenterica</i> (Mart.) DC.	Myrtaceae	Cagaita	Médio	17	0	0	6
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	Mangaba	Baixo	17	0	0	6
<i>Annona diversifolia</i> Saff	Annonaceae	Papaua	Baixo	0	0	17	6
<i>Coffea arabica</i> L.	Rubiaceae	Café	Baixo	0	0	0	0
Total				62	59	61	61

As espécies plantas para compor o estrato alto do SAF'Ex foram: *Acacia mangium* Willd, *Dipteryx alata* Vogel, *Psidium guajava* L, *Caryocar brasiliense* Cambess. No estrato baixo foram plantadas as espécies: *Citrus limon* (L.) Burman F, *Coffea arabica* L e *Hancornia speciosa* Gomes. Seguidas por espécies plantas para a composição do estrato emergente, sendo o *Eucalyptus deglupta* Blume, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e o *Spondias mombin* L.

3.2. Avaliação do crescimento em diâmetro à altura do coleto (cm)

A análise de variância para os dados de diâmetro à altura do coleto, indicou que houve diferença significativa entre os tratamentos realizados (FANOVA = 33.2, p-valor = < 0.001) (Figura 5). Os diâmetros médios avaliados (DM, cm) e incremento médio anual em diâmetro (IMAD, cm) para cada tratamento (SAF's) são observados na (Tabela 4).

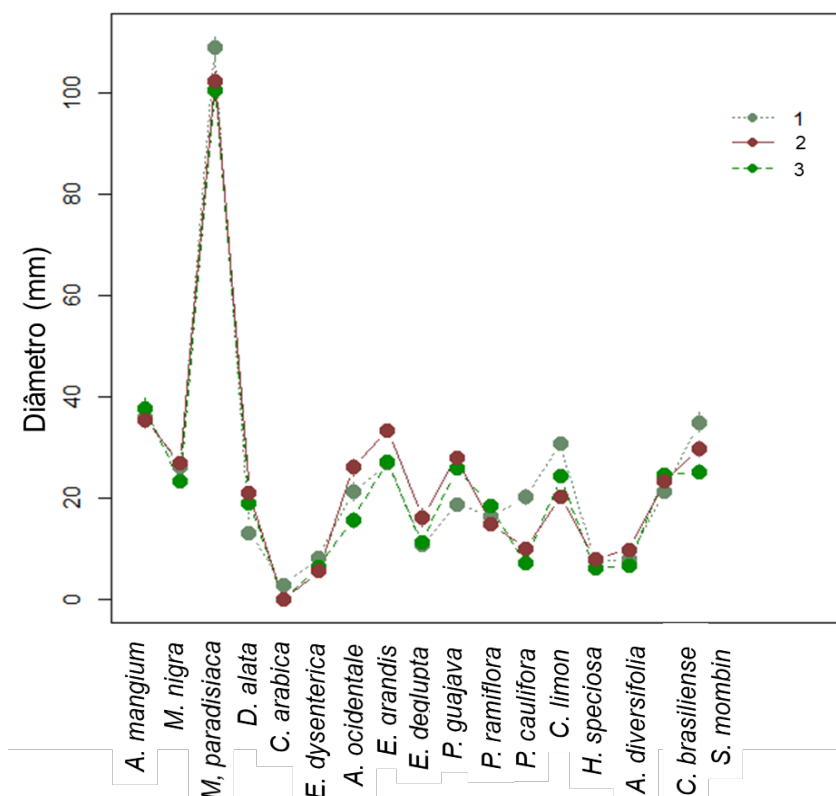


Figura 4. Crescimento em diâmetro (mm) das espécies dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos e de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO) ($F_{ANOVA} = 33.2$, P-valor = < 0.001).

O diâmetro médio (DM) dos indivíduos arbóreos variou entre as espécies e entre os tratamentos (Tabela 4). A *Musa paradisiaca*, *Acacia mangium*, *Spondias mombin*, *Citrus limon* (L.) Burman F e *Eucalyptus grandis* foram as espécies que apresentaram maiores DM. As espécies que apresentaram os menores valores de DM foram *Coffea arabica*, *Eugenia dysenterica*, *Hancornia speciosa*, *Annona diversifolia* e *Eucalyptus deglupta*.

Tabela 3. Diâmetros médios avaliados (DM, cm) e incremento médio anual em diâmetro (IMA_D, cm), DM-T (diâmetro médio Total por espécie) e IMA_D-T (incremento médio total por espécie) do SAF'Ex, localizado no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO). Destaque em verde maiores valores e vermelho menores valores.

Espécies	SAF 1		SAF 2		SAF3		DM-T	IMA _D -T
	DM	IMA _D	DM	IMA _D	DM	IMA _D		
<i>Musa paradisiaca</i> L.	10.9	5.5	10.1	5.0	10.2	5.1	10.4	5.2
<i>Acacia mangium</i> Willd.	3.6	1.8	3.8	1.9	3.6	1.8	3.6	1.8
<i>Spondias mombin</i> L.	3.5	1.8	2.5	1.3	3.0	1.5	3.0	1.5
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	2.7	1.4	2.7	1.4	3.3	1.7	2.9	1.5
<i>Morus nigra</i> L.	2.6	1.3	2.4	1.2	2.7	1.4	2.6	1.3
<i>Citrus limon</i> (L.) Burman F	3.1	1.5	2.5	1.2	2.0	1.0	2.5	1.3
<i>Psidium guajava</i> L.	1.9	1.0	2.6	1.3	2.8	1.4	2.4	1.2
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	2.1	1.1	2.5	1.2	2.3	1.2	2.3	1.2
<i>Anacardium occidentale</i> L.	2.1	1.1	1.6	0.8	2.6	1.3	2.1	1.1
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	1.3	0.7	1.9	1.0	2.1	1.1	1.8	0.9
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.)	1.6	0.8	1.9	0.9	1.5	0.8	1.7	0.8
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	1.1	0.5	1.1	0.6	1.6	0.8	1.3	0.6
<i>Plinia cauliflora</i> (DC.) Kausel	2.0	1.0	0.7	0.4	1.0	0.5	1.3	0.6
<i>Annona diversifolia</i> Saff.	0.8	0.4	0.7	0.3	1.0	0.5	0.8	0.4
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	0.8	0.4	0.6	0.3	0.8	0.4	0.7	0.4
<i>Eugenia dysenterica</i> (Mart.) DC.	0.8	0.4	0.7	0.3	0.6	0.3	0.7	0.3
<i>Coffea arabica</i> L.	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Média total	3.2	1.6	2.9	1.5	3.1	1.6		

A média do incremento anual em diâmetro (IMA_D) das espécies analisadas no SAF 1 foi de 1.58 cm, em que os maiores IMA_D foram observados para *Musa paradisiaca* (5.45 cm.ano⁻¹) e *Acacia mangium* (1.80 cm.ano⁻¹) e os menores *Coffea arabica* (0.15 cm.ano⁻¹) e *Hancornia speciosa* (0.38 cm.ano⁻¹). No SAF 2 a média do incremento anual em diâmetro (IMA_D) das espécies analisadas foi de 1.47 cm, em que os maiores IMA_D foram observados para *Musa paradisiaca* (5.04 cm.ano⁻¹) e *Acacia mangium* (1.89 cm.ano⁻¹) e os menores *Eugenia dysenterica* (0.32 cm.ano⁻¹) e *Hancornia speciosa* (0.31 cm.ano⁻¹).

No SAF 3 a média do incremento anual em diâmetro (IMA_D) das espécies analisadas foi

de 1.55 cm, em que os maiores IMA_D foram observados para *Musa paradisiaca* (5.12 cm.ano⁻¹) e *Acacia mangium* (1.78 cm.ano⁻¹) e os menores *Eugenia dysenterica* (0.28 cm.ano⁻¹), *Hancornia speciosa* (0.41 cm.ano⁻¹) e *Plinia cauliflora* (DC.) Kausel (0.50 cm.ano⁻¹).

3.3. Avaliação do crescimento em altura (cm)

A análise de variância para os dados de crescimento em altura indicou que houve diferença entre os tratamentos ($F_{ANOVA} = 354.8$, P-valor = < 0.001). O crescimento médio em altura total (HT_M, m) e incremento médio anual em altura (IMA_H, m) para cada tratamento (SAF's) são observados na Tabela 5.

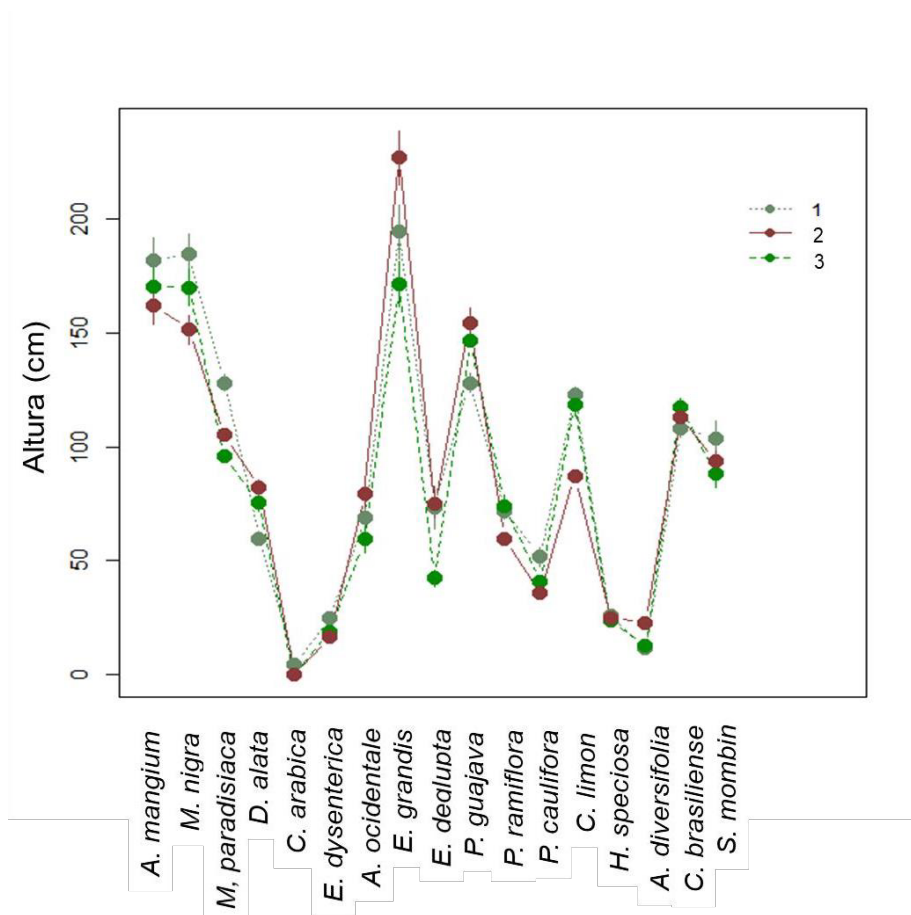


Figura 5. Crescimento em altura (m) das espécies dos componentes arbóreos implantados nas linhas 1 e 2 de todos os tratamentos e de todos os blocos do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO) ($F_{ANOVA} = 354.8$, P-valor = < 0.001).

As alturas totais média (HT_M, m) no componente arbóreos do sistemas agroflorestal experimental (SAF'Ex) variou entre as espécies aos 24 meses de medições (Tabela 5). Após dois anos do plantio, as espécies que apresentaram maiores alturas (HT_M) no SAF 1, foram: *Eucalyptus*

grandis (1.94 m), *Morus nigra* (1.84 m), *Acacia mangium* (1.82 m) e *Musa paradisiaca* (1.28 m). Com relação ao incremento médio anual em altura (IMA_H, m) das espécies, as espécies *Eucalyptus grandis* e *Coffea arabica* apresentaram, respectivamente, o maior (0.97 m.ano⁻¹) e o menor (0.02 m.ano⁻¹) IMA_H (Tabela 5).

Tabela 4. Altura total média (HT_M) e incremento médio anual em altura (IMA_H, m) das espécies do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex) no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, no município de Hidrolândia (GO).

Espécies	SAF1		SAF2		SAF3		HT _M - T	IMA _H - T
	HT _M	IMA _H	HT _M	IMA _H	HT _M	IMA _H		
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	1.94	0.97	1.71	0.86	2.27	1.13	1.97	0.99
<i>Acacia mangium</i> Willd.	1.82	0.91	1.70	0.85	1.62	0.81	1.71	0.86
<i>Morus nigra</i> L.	1.84	0.92	1.70	0.85	1.51	0.76	1.68	0.84
<i>Psidium guajava</i> L.	1.28	0.64	1.46	0.73	1.54	0.77	1.43	0.71
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	1.08	0.54	1.18	0.59	1.13	0.57	1.13	0.57
<i>Musa paradisiaca</i> L.	1.28	0.64	0.96	0.48	1.05	0.53	1.10	0.55
<i>Citrus limon</i> (L.) Burman F	1.23	0.61	1.19	0.59	0.87	0.44	1.10	0.55
<i>Spondias mombin</i> L.	1.04	0.52	0.88	0.44	0.94	0.47	0.95	0.48
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	0.60	0.30	0.76	0.38	0.82	0.41	0.73	0.36
<i>Anacardium occidentale</i> L.	0.69	0.34	0.59	0.3	0.79	0.4	0.69	0.35
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.)	0.72	0.36	0.74	0.37	0.6	0.3	0.69	0.34
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	0.73	0.37	0.42	0.21	0.75	0.37	0.63	0.32
<i>Plinia cauliflora</i> (DC.) Kausel	0.52	0.26	0.41	0.2	0.36	0.18	0.43	0.21
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	0.26	0.13	0.24	0.12	0.25	0.12	0.25	0.12
<i>Eugenia dysenterica</i> (Mart.) DC.	0.25	0.13	0.19	0.09	0.17	0.08	0.20	0.10
<i>Annona diversifolia</i> Saff	0.11	0.06	0.13	0.06	0.23	0.11	0.16	0.08
<i>Coffea arabica</i> L.	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
Média total	1.06	0.53	0.96	0.48	1.02	0.51		

As espécies que apresentaram maiores alturas e menores (HT_M) no SAF 2, respectivamente foram, o *Eucalyptus grandis* (1.71 m) e *Annona diversifolia* (0.13 m). Em relação ao incremento médio anual em altura (IMA_H, m) além do *Eucalyptus grandis* (0.86 m.ano⁻¹), a *Acacia mangium* (0.85 m.ano⁻¹) apresentou maiores valores, e *Eugenia dysenterica* (0.09 m.ano⁻¹) com menor crescimento em altura, respectivamente.

No SAF 3 destaca-se o *Eucalyptus grandis* (2.27 m) e a *Acacia mangium* (1.62 m) com maiores valores em altura média. E o incremento médio anual em altura (IMA_H, m) destacou-se o *Eucalyptus grandis* (1.13 m.ano⁻¹) com maior incremento em relação aos outros tratamentos. E a *Eugenia dysenterica* (0.08 m.ano⁻¹) com menor crescimento em altura.

4. DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da Taxa de Sobrevivência (%), crescimento em DAC (cm) e Altura (cm)

Após dois anos do plantio das mudas no componente arbóreo do sistema agroflorestal experimental (SAF'Ex), a sobrevivência total das mudas foi de 61%. Taxas de sobrevivência de 70% têm sido consideradas satisfatórias ou elevadas (OLIVEIRA et al. 2015), o que pode indicar que, para o plantio, foram utilizadas mudas de boa qualidade, adequada adubação dos berços de plantio, irrigação eficiente e manejo da área. Outro valor observado na literatura é o de Silva et al. (2016), que considera uma mortalidade de 20% aceitável em plantios de restauração.

Seguindo a classificação proposta por Oliveira et al. (2015), observamos 9 espécies com taxa de sobrevivência total acima de 70%, foram: o *Caryocar brasiliense* (100%), *Plinia cauliflora* (100%), *Spondias mombin* (100%), *Psidium guajava* (97%), *Eucalyptus grandis* (96%), *Dipteryx alata* (89%), *Musa paradisiaca* (86%), *Citrus limon* (83%) e *Morus nigra* (72%).

Seguindo a composição de espécies *Pouteria ramiflora* (67%), *Acacia mangium* (64%), *Anacardium occidentale* e (50%), *Eucalyptus deglupta* (14%), *Eugenia dysenterica* (6%), *Hancornia speciosa* (6%), *Annona diversifolia* (6%) e não houve sobrevivência das espécies *Coffea arabica* (0%). A mortalidade alta de algumas plantas, se deve ao déficit hídrico que limita o desenvolvimento de algumas espécies (OLIVEIRA NETO et al., 2016). A herbivoria pela fauna silvestre também pode ter aumentado a mortalidade. No entanto, a herbivoria, quando não causa a morte das mudas, pode ter efeito positivo nos projetos de recuperação, por estimular o desenvolvimento de gemas laterais, aumentando o volume da copa (DAVIDE & BOTELHO, 2015).

Em estudo da utilização do pequi como espécie recuperadora de ambientes degradados no Cerrado, em área de Neossolos Quartzarênicos Órticos, no município de Serranópolis (GO), Antunes et al. (2006) encontrou um resultado de 59,69% de sobrevivência após três anos do plantio e cinco avaliações e médias de altura e DAC (altura média de 92,27cm, e DAC de 3,23cm), enquanto nesse estudo observamos 100% de sobrevivência, altura média de 57cm, e DAC de 2.3cm após dois anos do plantio. A taxa de sobrevivência de 18%, foi observada por Sano (2003) em experimentos de plantio de frutíferas nativas do Cerrado no campo experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, passados 10 anos do plantio.

Em um plantio de pequi realizado na Embrapa Cerrados em novembro de 1995, foi observado sobrevivência de 80% em solo alterado de várzea (PARRON et al. 2000) e, em dezembro de 1999, em Latossolo Vermelho irrigado, a mortalidade não foi relatada (SALVIANO et al. 2002).

Aos 12 meses após a semeadura Danner et al. (2007), observou o crescimento médio total em altura de 24.48cm e de diâmetro do coleto 5.23mm em mudas de *Myciaria cauliflora*, tais valores superam os valores observados neste estudo, que foram 21cm de altura e 1.3cm de diâmetro. Em trabalho realizado com o objetivo de determinar o pegamento e o crescimento inicial de mudas das jabuticabas “Sabará” e “Açu”, e o diâmetro e o comprimento da haste aos 262 dias após exertia, Franco et al. (2010), encontrou que a cultivar “Sabará” apresentou maior pegamento inicial quando submetida ao método inglesa simples (96,88%). Já a jabuticabeira “Açu” obteve maior pegamento final (85.50%) em relação a cultivar “Sabará” (68.75%). A cultivar “Açu” apresentou maior diâmetro final com 4.08cm e comprimento da haste de 25.61cm, valores bem superiores aos encontrados para a cultivar “Sabará” com 2.49cm e 16.18cm, respectivamente.

Em estudo realizado por Silva et al. (2020) em área de recuperação ambiental na região sudeste do estado do Pará, foi observada uma mortalidade de 32.23% de mudas de *Spondias mombin*, ou seja, sobrevivência de 67.77%, abaixo do encontrado no presente estudo (100%), e crescimento em altura de 79.58 cm após 335 dias do plantio do experimento, valor menor do que observado nesse estudo de 105 cm para o SAF1, por exemplo.

O incremento médio anual total da altura ($IMA_H - T$) para Taperebá (*Spondias mombin*) foi de 48 cm ano⁻¹ (0.48 m ano⁻¹), superior ao recomendado por Lima (2016) para espécies com potencial de recuperação de áreas degradadas (40 cm ano⁻¹). Oliveira et al. (2015), ao avaliar o crescimento de 19 espécies arbóreas nativas em uma área de recuperação florestal, obtiveram um incremento médio anual em altura de 44 cm. Em relação ao diâmetro do Taperebá, Silva et al. (2020) encontrou um diâmetro médio aos 330 dias de 13.58 mm (1.358 cm), no presente estudo foi observado valores superiores de 3.01 cm e um incremento médio anual de 1.5 cm ano⁻¹.

De acordo com Gindaba et al. (2005), *Spondias mombin* apresenta características decíduas, que são estratégias para manter a atividade de síntese vegetal em períodos desfavoráveis, como fechamento de estômatos e redução da área foliar nos períodos secos, o que interfere no crescimento primário das plantas. Em condições de estresse hídrico, *Spondias mombin* modifica processos morfológicos e fisiológicos para tolerar a deficiência hídrica (Oliveira Neto et al., 2016), interrompendo o crescimento da parte aérea, com o retorno dos processos fisiológicos e bioquímicos normais na estação chuvosa.

Em estudo de desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em um sistema agroflorestal no município de Dourados (MS), Garcia et al. (2016) observaram sobrevivência de 100%, crescimento em diâmetro de 6 mm (0.6 cm) e altura de 25 cm (0.25 m) aos 135 dias após o plantio

do experimento, valores abaixo aos observados nesse estudo de 2.43 cm e 1.43 m com dois anos de experimento.

Em estudo realizado por Nieri et al. (2018) em um sistema de integração pecuária-floresta, aos 52 meses de plantio, foi encontrado sobrevivência de 86.75% para *Eucalyptus grandis*, seguido 21.56 m e diâmetro a altura do peito (DAP) de 16.70 cm, valores superiores ao observados no SAF'ex, onde o indivíduo com maior altura observado foi de 16.20 m e 19.10 cm de DAP. Estudos realizados por Tonini et al. (2009), Ribeiro et al. (2017), Souza et al. (2008), Pulrolnik et al. (2010) e Melotto et al. (2009) verificaram percentuais de sobrevivência similares aos do presente estudo, o que sugere a possibilidade de adaptação das espécies frente às condições edafoclimáticas da região.

A HT obtida neste estudo para eucalipto arco-iris (*E. deglupta*) aos 24 meses (7.30 m) foi inferior à relatada para *E. urophylla* x *E. grandis* aos 52 meses (19 m), em diferentes espaçamentos no estado de São Paulo (FERREIRA et al., 2014), como também quando comparada a sobrevivência de 25% no SAF 1, por exemplo, demonstra-se menor que as observadas e para *E. camaldulensis* e *E. pellita* (16 m) aos 52 meses, em diferentes espaçamentos em Minas Gerais (LELES et al., 1998). Oliveira et al. (2009), ao mensurarem a HT e o DAP de um plantio de *E. urophylla* para sistema de integração lavoura-pecuária-floresta aos 51 meses, encontraram DAP médio de 13,58 cm e volume de 0,1218 m³.planta⁻¹. Ferreira et al. (2014), em reflorestamento com *E. urophylla* x *E. grandis* aos 52 meses, observaram DAP médio de 13 cm.

Um dos parâmetros que permite constatar a real adaptação dos genótipos introduzidos em ambientes exóticos é o potencial de estabelecimento, uma vez que este expressa a capacidade de adaptação e o vigor das mudas em condições ecológicas observadas no campo após o plantio, tendo em vista a maior magnitude da interação genótipo ambiente “in loco” (MACEDO et al., 2010; NIERI et al., 2017).

Em estudo realizado por Nieri et al. (2018) em um sistema de integração pecuária-floresta, aos 52 meses de plantio, foi encontrado sobrevivência de 85.42% para *Dipteryx alata*, valores similares aos observados nesse estudo. De acordo com Pagliarini et al. (2016), a sobrevivência encontrada em trabalho realizado na Estação Experimental de Pederneiras, na Floresta Estadual de São Paulo, foi de 63%, o que demonstra adaptação da espécie na região de estudo, já que o estudo foi realizado 25 anos após o plantio.

Trabalhando com mudas micropropagadas de bananeira em casa de vegetação, após 75 dias de aclimatização, Oliveira et al. (2008), evidenciaram taxa de 99,1% de sobrevivência. Taxas de sobrevivência de mudas de bananeira superiores a 90% têm sido relatadas por diversos autores

(PEREIRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2008).

Com o objetivo de avaliar e comparar o efeito do biofóssido como componente do substrato para produção de mudas do *Citrus limonia* Osbeck em relação a mudas expostas a substrato sem e com adição de adubação química Gilherme et al. (2021), observaram após 105 dias de plantio crescimento em diâmetro médio do coleto de 1.88 mm (0.108 cm) e altura média de 13.70 cm. Valores abaixo aos observados no crescimento da espécie *Citrus limon*, estudada no experimento do sistema agroflorestal experimental, que foi de 2.52 cm e 1.1 m, de diâmetro médio do coleto e altura, respectivamente.

Em estudo do efeito de cultivos agrícolas no crescimento de árvores frutíferas em sistemas agroflorestais iniciais, após 20 meses de avaliação, Teleginski (2016), encontrou valores de 99% de sobrevivência, com crescimento em diâmetro de 39 mm, altura de altura de 29 cm. Valores abaixo de crescimento dos observados no experimento do SAF'ex IFgoiano de Hidrolândia, porém valores de sobrevivência maior.

Nesse mesmo estudo, Telenginski (2016) observou crescimento em altura para *Morus nigra* de 3,5m e de diâmetro de 80mm (0.80cm), onde valores de altura são superiores aos observados nesse estudo que foram de altura total média de 1.68m, já os valores do diâmetro foram inferiores, onde observou-se 2.46cm nesse estudo.

Segundo Turnbull et al., (1986), as maiores produtividades em plantios de *Acacia mangium* têm sido registradas em locais férteis, de alta precipitação pluviométrica e elevadas temperaturas, atingindo produções de $40\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ aos 10 anos de idade. Em sítios pobres e degradados, o crescimento, apesar de vigoroso é menor, atingindo produções médias de $20\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (ATIPANUNPAI, 1989).

O incremento médio anual em volume total com casca em plantios na Amazônia, variou entre 12,8 a $45,3\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Estando dentro da faixa de produtividade relatada por diferentes pesquisadores em várias regiões no mundo. Tal espécie se destaca por possuir um crescimento relativamente rápido (VEIGA et al., 2000) e um bom desenvolvimento em várias regiões do país, não sendo exigente em solos (FALESI, 2006). Como apresentado nesse trabalho, onde a *Acacia mangium* teve crescimento relativamente rápido do diâmetro médio e incremento médio anual com 3.60cm e 1.80cm (SAF1); 3.77cm e 1.89cm (SAF2); 3.56cm e 1.78cm (SAF3), respectivamente. E crescimento em altura total média e incremento médio anual em altura de 1.82m e 0.91m (SAF1); 1.70m e 0.85m (SAF2); 1.62m e 0.81m (SAF3), respectivamente.

Em um estudo com o objetivo de enriquecer capoeira Brienza Júnior (1999) encontrou, aos 24 meses de idade, valores de sobrevivência de 99% (*Clitoria racemosa*), 98% (*Acacia*

angustissima), 97% (*Inga endulis*), 91% (*Acacia mangium*) e 90% (*Sclerolobium paniculatum*). Gonzalez e Fisher (1994) estudando o crescimento de diferentes espécies arbóreas plantadas em pastagens abandonada na Costa Rica observaram sobrevivência de 86% (*A. Mangium*) e 92% (*I. edulis*). Valores superiores aos observados neste estudo que foram 83% (SAF1), 58% (SAF2) e 50% (SAF3).

Souza et al. (2010) em estudo de espécies florestais nativas e exóticas em duas condições de plantio: a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira, a fim de gerar tecnologias para incorporação ao processo produtivo de áreas degradadas na região amazônica para minimizar a pressão do desmatamento sobre a floresta natural. Encontrou valores (DAP, altura, volume por hectare e sobrevivência) referente à idade de seis anos para *Acacia mangium* de 24.4cm de DAP, 14.5m, 1.781m³.ha⁻¹ e 30.6% de sobrevivência a pleno sol. E valores de 19.0cm de DAP, 14.8m de altura, 1.681m³.ha⁻¹ e 50% de sobrevivência na “capoeira”. Valores superiores ao apresentado nesse trabalho, onde a *Acacia mangium* teve crescimento relativamente rápido do diâmetro médio e incremento médio anual com 3.60cm e 1.80cm.ano⁻¹ (SAF1); 3.77cm e 1.89cm.ano⁻¹ (SAF2); 3.56cm e 1.78cm.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente. E crescimento em altura total média e incremento médio anual em altura de 1.82m e 0.91m.ano⁻¹ (SAF1); 1.70m e 0.85m.ano⁻¹ (SAF2); 1.62m e 0.81m.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente.

As espécies cajueiro, angico-vermelho, mangabeira e jatobá apresentaram taxas de sobrevivência de 100, 99, 97,9 e 94,8%, respectivamente, conforme Martinotto et al. (2012) em estudo de sobrevivência e crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado em consórcio com mandioca (*Manihot esculenta*), com ou sem adubação fosfatada. Taxa de sobrevivência o dobro da apresentada neste estudo, que foi de 50% para o cajueiro (*Anacardium occidentale*), ao 24 meses após o plantio.

Ainda conforme Martinotto et al. (2012), o crescimento das plantas de cajueiro (*Anacardium occidentale*), com adubação fosfatada, aos 20 meses, apresentaram diâmetro de 5.73cm e altura de 189cm. Enquanto que as plantas sem adição de fósforo 5.54cm de diâmetro e 178cm de altura. Ambos valores estão acima aos observados em todos os tratamentos do SAFex, onde, encontramos para diâmetro médio e incremento médio anual, 2.13cm e 1.07cm.ano⁻¹ (SAF1), 1.57cm e 0.79cm.ano⁻¹ (SAF2), 2.62cm e 1.31cm.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente. E crescimento em altura total média e incremento médio anual em altura de 0.69m e 0.34m.ano⁻¹ (SAF1); 0.59m e 0.30m.ano⁻¹ (SAF2); 0.79m e 0.40m.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente.

Em pesquisa sobre silvicultura de espécies nativas como estratégia para a recuperação da cobertura florestal do cerrado no Estado de São Paulo, Melo et al., (2004), testaram catorze

espécies arbóreas avaliando o desempenho em crescimento, sobrevivência e cobertura de copas um ano após o plantio e depois aos seis anos. A espécie *Pouteria ramiflora*, apresentou 22% de sobrevivência no primeiro ano e 11% aos seis anos após o plantio, valores bem abaixo aos 67% observados aos 24 meses após plantio no SAFex. Em relação ao crescimento em diâmetro de copa 0.16m no primeiro ano e 0.06m no sexto ano. E a altura de 0.33m e 0.16m, enquanto no SAFex o crescimento em altura total média e incremento médio anual em altura foram maiores, de 0.72m e 0.36m.ano⁻¹ (SAF1); 0.74m e 0.37m.ano⁻¹ (SAF2); 0.60m e 0.30m.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente.

A sobrevivência da mangaba em estudo realizado por Sano et al. (2003), foi de 40%, bem superior aos 17% observados somente no SAF1. A mangaba apresentou alta taxa de mortalidade, isso pode ter sido causado devido à textura argilosa do solo onde o SAFex foi plantado. Pereira et

al. (2000) verificaram que mudas de mangaba devem ser produzidas em substrato com, no máximo, 20% de argila, semelhantes às condições do seu habitat.

De acordo com Martinotto et al. (2012) em estudo de sobrevivência e crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado em consórcio com mandioca (*Manihot esculenta*), com ou sem adubação fosfatada, a sobrevivência da mangabeira (*Hancornia speciosa*) foi de 97,9%. Ainda nesse estudo Martinotto et al. (2012) encontrou crescimento das plantas de mangaba, com adubação fosfatada, aos 20 meses, apresentaram diâmetro de 3.40cm e altura de 196cm e as plantas sem adição de fósforo 3.51cm de diâmetro e 197cm de altura. Ambos valores estão acima aos observados em todos os tratamentos do SAFex, onde, encontramos para diâmetro médio e incremento médio anual, 0.77cm e 0.38cm.ano⁻¹ (SAF1), 0.62cm e 0.31cm.ano⁻¹ (SAF2), 0.81cm e 0.41cm.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente. E crescimento em altura total média e incremento médio anual em altura de 0.26m e 0.13m.ano⁻¹ (SAF1); 0.24m e 0.12m.ano⁻¹ (SAF2); 0.25m e 0.12m.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente.

Conforme Boaventura-Novaes et al. (2021), estudando a variabilidade genética do crescimento inicial de *Eugenia dysenterica*, para subsídios para a conservação e domesticação da espécie, encontrou crescimento em média de diâmetro final de 1.13cm e altura final de 4.53cm. Enquanto os valores observados no SAFex em média diâmetro e incremento anual foram de , 0.83cm e 0.42cm.ano⁻¹ (SAF1), 0.65cm e 0.32cm.ano⁻¹ (SAF2), 0.56cm e 0.28cm.ano⁻¹ (SAF3), e altura de 0.25m e 0.13m.ano⁻¹ (SAF1); 0.19m e 0.09m.ano⁻¹ (SAF2); 0.17m e 0.08m.ano⁻¹ (SAF3), respectivamente.

No estudo sobre crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC), nas condições de Cerrado, Souza et al. 2002, observou taxas de sobrevivência entre 76% a 100%, aos 540 dias após o plantio em campo. O crescimento em altura e em diâmetro é lento,

onde, as mudas em campo atingiram os valores médios de 46,26cm e 0,63cm, respectivamente, aos 540 dias. A sobrevivência da cagaiteira (*Eugenia dysenterica*) em estudo realizado por Sano et al. (2003), passados 10 anos do plantio, foi de 77%, ou seja, superior aos 17% observados no SAF1 do experimento do SAFex.

Avaliando o crescimento inicial de pinheira (*Annona squamosa* L.) com teores de matéria orgânica sob estresse salino, Oliveira et al. (2017), observou 2.8mm de diâmetro do caule e 9 cm de altura aos 30 dias após plantio. O diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) não foi influenciado pela adição de doses crescentes de superfosfato triplo, com médias de 5,83mm e 15,52 folhas, em trabalho com *Annona squamosa* de Dantas et al. 2010. Ambos os valores são superiores ao encontrados para *Annona diversifolia* Saff, no SAFex, onde foi encontrado um valor de diâmetro médio final de 0.82cm e um valor de incremento médio anual final de 0.42cm.ano⁻¹.

O café (*coffea arabica*) apresentou mortalidade total das mudas plantadas, o que pode estar relacionada com a falta da disponibilidade de água na época do plantio (MARTIN et al. 2017). Em estudo de desenvolvimento inicial de cultivares de *Coffea arabica* no Brejo Paraibano, Silva et al. (2021), encontrou para as cultivares Bourbon (85,18%), Catuaí Vermelho 144 (83,66%), Mundo Novo (81,48%), Catuai Amarelo 62 (75,92%) e Catucaí 24/137 (68,53%), de emergência de plântulas. Ainda nesse experimento, para o diâmetro do caule, a avaliação aos 180 dias que tiveram uma média de 3.44mm.

Em uma análise realizada por Dias et al. (2018), o diâmetro de mudas de café arábica cultivadas sob pleno sol por 120 dias foi de aproximadamente 3,41mm. O diâmetro de colo está diretamente ligado ao fornecimento de luz, assim as mudas que se destacaram na altura tendem a ter uma captação de luz melhor e assim desenvolvem-se mais rapidamente, logo as que não possuem esse desenvolvimento acelerado serão sombreadas e assim não terão o crescimento secundário de seus caules tão desenvolvidos. De acordo com Souza et al. (2017), com 180 dias após o plantio, conseguiu com a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 que é uma espécie arábica um diâmetro de colo com 2,50 mm.

Segundo Peloso et al. (2017), ao avaliar o desenvolvimento de mudas de café arábica cultivar Catuaí Vermelho 144 observando o efeito de diferentes porcentagens de umidade do solo obteve valores de altura de plantas com 45 cm e diâmetro de colo 6,3 mm, quando suprido 100% da água disponível do solo, sendo assim o suprimento de água tem impacto no desenvolvimento das mudas, com uma irrigação fixa a pleno sol tem a probabilidade do solo não estar na sua capacidade de campo e assim causar prejuízo no desenvolvimento fisiológico da planta.

4.2. Efeito dos tratamentos

A análise de variância ($F_{ANOVA} = 38.1$, P-valor = < 0.001) para os dados de índice de sobrevivência indicou que houve diferença entre os tratamentos (Figura 3). A maior sobrevivência foi no SAF 1 (62%), seguido por SAF 3 (61%) e SAF 2 (59%), respectivamente. Este resultado confirma a afirmação de Rocha et al., (2014), que diz que o manejo das espécies arbóreas nos SAFs por meio de desrama aumenta a disponibilidade de luz no sistema e ainda adiciona matéria orgânica no solo, favorecendo a sobrevivência das espécies.

De acordo com Vieira et al. (2009) os SAFs podem proporcionar a restauração de áreas onde o solo está com baixa fertilidade, assim como neste estudo onde foi disponibilizada quantidade substancial de matéria orgânica, promovendo a ciclagem de nutrientes, uma maior taxa de sobrevivência e crescimento no SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral).

Alves et. al (2010) observou que a adição da matéria orgânica resultou em maior número de folhas e área foliar no crescimento inicial de pinhão manso. Corroborando os melhores resultados de sobrevivência e crescimento das espécies obtidos no tratamento 1 - SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda (semestral).

A matéria orgânica tem um papel fundamental no solo, melhorando sua estrutura, conseqüentemente, o processo de infiltração, possibilitando uma melhor drenagem e lavagem dos sais no solo, como destaca Sá et. al (2015). A matéria orgânica influencia no desenvolvimento vegetativo das plantas, conseqüentemente, o desenvolvimento da parte aérea, pois libera nutrientes que são fundamentais para o crescimento da planta, conforme observado nos resultados do SAF1: Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda.

Segundo Espíndola (2001), o aporte da biomassa e a decomposição dos resíduos das leguminosas, pode ser uma fonte de carbono e nutrientes para a biota do solo e posteriormente para as plantas, destacando a importância da sincronização entre a liberação de nutrientes pelas plantas em consórcio e sua demanda pelas culturas principais. Esses nutrientes são liberados pela decomposição dos resíduos das árvores, por meio das podas. Kang et al. (1990) enfatizam que repetidas aplicações desse material aumentariam o conteúdo de matéria orgânica do solo e o sistema radicular profundo das árvores seria capaz de extrair nutrientes de camadas profundas do solo, deixando-os ao alcance para o crescimento das culturas através da ciclagem.

4.3. Espécies

Dardengo et al. (2022) em estudo de agrobiodiversidade em quintais agroflorestais no norte de Mato Grosso encontrou um total de 83 espécies diferentes, pertencentes à 44 famílias botânicas, dessas 54 são para alimentação, 27 para uso medicinal e 2 para outros usos. Dessas espécies corroborando as espécies utilizadas neste estudo observa-se, a amora (*Morus nigra*), banana (*Musa paradisiaca*), café (*Coffea arabica*), Cajú (*Anacardium occidentale*), Goiaba (*Psidium guajava*), limão (*Citrus limon*), pequi (*Caryocar brasiliense*).

Em geral sistemas agroflorestais implantadas no Cerrado são estruturados com grande parte de espécies exóticas ao bioma em vez de apresentarem espécies nativas com capacidade e adaptações a realidade local. E a maior parte das espécies nativas cultivadas em SAFs são de matas de galeria e ciliar. As espécies nativas da flora do Brasil de maior importância para a comunidade agroflorestal do Distrito Federal, de acordo com Chacel (2019), são Jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*), Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Goiaba (*Psidium guajava*), Ingá-de-metro (*Inga edulis*), Chichá (*Sterculia striata*), Baru (*Dipteryx alata*), Pitangueira (*Eugenia uniflora*), Aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*), Mogno-amazônico (*Swietenia macrophylla*) e Jamelão (*Syzygium cumini*). São espécies de fácil acesso de mudas em viveiro e de interesse ecológico e econômico.

E as espécies exóticas da flora do Brasil de maior importância para a comunidade agroflorestal do DF, além de Eucalipto e Bananeira, são Amoreira (*Morus nigra*), Mangueira (*Mangifera indica*), Abacateiro (*Persea americana*), Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*), Café (*Coffea arabica*), Cítricos (*Citrus* spp.) e Mamoeiro (*Carica papaya*). Todas são espécies viáveis para cultivo no DF, de interesse econômico e boas produtoras de biomassa.

Nos SAFs, um baruzeiro (*Dipteryx alata*), por exemplo, apresenta grande potencial ecológico, sendo uma árvore para produção de matéria orgânica, é do estrato alto da agrofloresta, é uma espécie do grupo sucessional climax e econômico, pois a semente (castanha) de baru possui altos teores de lipídios, proteínas e minerais como potássio, fósforo e magnésio (ROSA et al. 2022), e ainda alto valor comercial da madeira. Como demonstrado nesse estudo através do valor total de sobrevivência (89%), e valores de crescimento em diâmetro e altura.

O pequi que além de potencial alimentício, também tem potencial para ser usado para recuperação e reflorestamento de áreas degradadas e produção de madeira. É uma planta heliófita (SANTOS et al. 2013), de crescimento lento, pode não se adaptar às condições rápidas de

sombreamento, adubação e irrigação geralmente fornecidas na agrofloresta. Porém, nesse trabalho apresentou ser 100% de sobrevivência em todos os tratamentos, e um incremento médio anual em diâmetro de 1.07cm.ano⁻¹ (SAF1), 1.24cm.ano⁻¹ (SAF2), 1.17cm.ano⁻¹ (SAF3). E o incremento médio anual em altura de 0.54m.ano⁻¹ (SAF1), 0.59m.ano⁻¹, 0.57m.ano⁻¹(SAF3), demonstrando ser uma espécie nativa que se desenvolveu bem para agrofloresta no Cerrado.

A maioria das espécies de recobrimento é constituída por espécies nativas pioneiras, mas espécies secundárias iniciais também podem fazer parte deste grupo”. Por outro lado, espécies de diversidade são “Espécies de crescimento mais lento e menor cobertura de copa quando comparadas às espécies de recobrimento. Na sucessão ecológica elas são fundamentais para garantir a recomposição da área, uma vez que vão gradualmente substituindo as espécies de preenchimento, e assim ocupando definitivamente a área. Esse grupo inclui as espécies secundárias tardias e as climácicas”. Foi feita uma comparação com as estratégias de recobrimento e diversidade da plataforma com os estágios sucessionais atribuídos pelos agricultores.

Na literatura, há muitos estudos sobre tolerância ao sombreamento. No entanto, para espécies nativas, a maior parte destes estudos são para germinação da semente e desenvolvimento inicial de plântulas (PAGLIARINI et al., 2017), sendo difícil encontrar estudos sobre produtividade e taxas de crescimento sob diferentes luminosidades para plantas adultas. Para espécies amplamente cultivadas comercialmente, há mais informações disponíveis.

Espécies de Cerrado sensu strictu (RIBEIRO; WALTER, 2008) como Araticum (*Annona crassiflora*), Ipê-do-cerrado (*Handroanthus ochraceus*) e Pequi (*Caryocar brasiliense*), por exemplo, em geral são heliófitas e pouco encontradas em formações florestais (PINHEIRO; DURIGAN, 2012), não sendo indicadas para compor a estratificação no ambiente agrofloresta, em especial aqueles com altas densidade de Eucalipto e Bananeiras, com rápido sombreamento. A Jabuticabeira, única espécie com valor comercial e bom desenvolvimento, ainda que lento. Segundo Dotto (2015), o sombreamento ideal para esta espécie é de 50%. No entanto, nesse estudo apresentamos uma sobrevivência (100%) para o pequi e jabuticaba.

Por outro lado, espécies que são típicas de Matas de Galeria e Ciliar precisam de sombra no seu desenvolvimento inicial (RESSEL et al., 2004) e são indicadas para agroflorestas com sombreamento rápido. Porém, a curriola (*Pouteria ramiflora*), que é uma espécie de ocorrência em formações florestais apresentou 67% de sobrevivência.

A Bananeira e os Cítricos, são espécies-chave, de grande Valor de Importância nas Agroflorestal. Em um estudo com vários cultivares na Amazônia não encontrou diferença

significativa no crescimento da Bananeira sob diferentes luminosidades (SANTOS; FARIAS; ROMANO, 2010). No entanto, é provável que a produtividade de frutos varie entre os cultivares, em diferentes níveis de sombreamento. A Pitangueira e a Goiabeira também são de grande importância, porém menor que as anteriores.

Quanto mais o sistema agroflorestal for similar aos ecossistemas naturais, mais sustentável este será no que diz respeito à sua estrutura e função. O que torna mais efetiva a ciclagem de nutrientes, demonstrando a importância de sistemas biodiversos, frente as monoculturas, sejam agrícolas ou florestais. Espécies-chave para recuperação de áreas degradadas são aquelas que ajudam a viabilizar e equilibrar as funções sociais e ambientais nos SAFs, abrindo porta para a abundância e o bem-estar.

No entanto, são necessários estudos aprofundados sobre a sobrevivência e crescimento de espécies exóticas e nativas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas no Cerrado, como também o papel do constante manejo humano e adição de matéria orgânica no solo, buscando ganhos ecológicos e econômicos.

5. CONCLUSÃO

As espécies *Caryocar brasiliense* (Pequi), *Plinia cauliflora* (Jabuticaba) e *Spondias mombin* (Taperebá) apresentaram 100% de sobrevivência em todos tratamentos e em todas avaliações. Demonstrando serem espécies-chave para o sistema agroflorestal para recuperação de áreas degradadas.

As espécies que se desenvolveram melhor foram as de usos múltiplos, entres estas, Bananeira (*Musa paradisiaca*), acácia (*Acacia mangium*) e Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), em especial nos dois primeiros anos, pela alta produtividade de biomassa e produtos.

As práticas de manejo de poda e cobertura com matéria orgânica do solo das unidades experimentais podem ter promovido o desenvolvimento diferenciado das espécies. As espécies que funcionam como pioneiras, o eucalipto, a acácia, as bananeiras, a amoreira e o taperebá apresentaram maior desenvolvimento em altura e diâmetro, enquanto entre as espécies nativas do Cerrado se destacaram o pequi e o barú.

O tratamento denominado SAF1 - Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda, apresentou maior desenvolvimento das espécies, em relação aos tratamentos SAF2 - Sistema agroflorestal com canteiros sem matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda; e tratamento SAF3 - Sistema agroflorestal sem matéria

orgânica sobre o solo, entrelinhas em pousio e sem manejos de poda.

Os resultados deste estudo ressaltam a complexidade dos sistemas agroflorestais e apontam para a eficiência do Tratamento 1 SAF1 - Sistema agroflorestal com canteiros com matéria orgânica sobre o solo e com manejos de poda, para a sobrevivência e incremento em diâmetro e altura das espécies. Embora o plantio seja adensado em sistemas agroflorestais não comprometeu o desenvolvimento dos indivíduos, confirmando a afirmação de Osterroht (2002), segundo o qual as árvores tendem a crescer melhor ao terem “intensa companhia”.

Com base nesses resultados, pode-se sugerir que as diferenças observadas entre os plantios de espécies nativas e exóticas ao Cerrado, advém das características ecológicas das espécies e do tipo de consórcio realizado, além de sua interação com o próprio sistema de plantio em diferentes manejos de matéria orgânica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATIPANUMPAI, L. *Acacia mangium*: Studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of a fast-growing plantation tree species. **Acta Forestalia Fennica**, 206, 1989, 92 p.

ASCHERI, D.P.R.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. *Ciência Tecnol. Aliment.* 2006, 26, 897–905.

BRAGA, A.R.C.; DE ROSSO, V.V.; HARAYASHIKI, C.A.Y.; JIMENEZ, P.C.; CASTRO, Í.B. Global health risks from pesticide use in Brazil. *Nat. Food* 2020, 1, 312–314.

BADARI, C.G.; BERNARDINI, L.E.; DE ALMEIDA, D.R.A.; BRANCALION, P.H.S.; CESAR, R.; GUTIERREZ, V.; CHAZDON, R.L.; GOMES, H.B.; VIANI, R.A.G. Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting. *Restor. Ecol.* 2020, 28, 1135–1144.

BRASIL. Lei nº 12651, de 25 de Maio de 2012. Available online: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm (acesso: em 22 de Fevereiro de 2022).

BRASIL. PLANAPEG 2017: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa/Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação. MMA: Brasília, DF, Brazil. Available online: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/planaveg_publicacao.pdf (acesso: em 22 de Fevereiro de 2022).

BENE, J.G.; BEALL, H.W. & COTÉ. A. *Trees, food and people: land management in the tropics.* Ottawa, IDRC, 1977. 52p.

BRASIL. Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF. 2012.

Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), Agricultural census Year 2017, Brazil., 2019. (<https://www.ibge.gov.br/en/statistics/economic/agriculture-forestry-and-fishing/21929-2017-2017-censo-agropecuário-en.html?=&t=publicacoes>).

CACHO, M.T.G.; GIRALDO, O.F.; ALDASORO, M.; MORALES, H.; FERGUSON, B.G.; ROSSET, P.; KHADSE, A.; CAMPOS, C. Bringing agroecology to scale: Key drivers and emblematic cases. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 2018, 42, 637–665.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa – CNPF, 2003. 4 v.,1040p.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; PASSOS, C.A.M.; JUCKSH, I. ; GARCIA, R. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: indicadores socioeconômicos. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.10, n.1, p. 159 - 175, 2000.

DUBOIS,1. C. L. Manual agroflorestal para a Amazônia. REBRAAF, v.1, Rio de Janeiro, 1996.

DUBOC, E.; GUERRINI, I. A. Crescimento inicial e sobrevivência de espécies florestais de matas de galeria no domínio do cerrado em resposta a fertilização. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2007. Biblioteca(s): Embrapa Cerrados.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Procedimentos Normativos de Levantamentos de Solos. 101p. Brasília. 1v., 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2a ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 2006.

FAO and UNEP. The State of the World's Forests 2020. Forests, Biodiversity and People; FAO and UNEP: Rome, Italy, 2020; Available online: <https://doi.org/10.4060/ca8642en> (acesso: em 22 de Fevereiro de 2022).

FERREIRA, D.H.A.A.; DOS SANTOS LELES, P.S.; MACHADO, E.C.; DE ABREU, A.H.M.; ABILIO, F.M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. *Floresta*, v.44, n.3, p.431-440, 2014.

FREITAS, J. V. Improving tree selection for felling and retention in natural forest in Amazônia through spatial control and targeted seed tree retention: a case study of a forest management project in Amazonas state, Brazil. 2004, 190f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Aberdeen, Aberdeen, 2004.

FRANCO, Lidiane Rodrigues Londe et al. Pegamento e crescimento inicial de mudas de jabuticabeiras' Açú'e'Sabará'submetidas a dois tipos de enxertia. **Revista Ceres**, v. 57, p. 535-538, 2010.

FELFILI, J.M. 1995. Diversity, structure and dynamics of a gallery forest in central Brazil. *Vegetatio* **117**: 1-15.

GAMA-RODRIGUES, A. C. Soil organic matter, nutrient cycling and biological dinitrogen-fixation in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.8, n.3, p.191-193, 2011.

GARCIA, N.O.S., FERNANDES, C.P., DA CONCEIÇÃO, E.C., 2019. Is it possible to obtain nanodispersions with jaboticaba peel's extract using low energy methods and absence of any high cost equipment? *Food Chem.* 276 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.037>.

GINDABA, J.; ROZANOV, A.; NEGASH, L. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two Eucalyptus and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, v. 205, n. 1, p. 127-138, 2005.

GEORGIN, J.; MARTINELLO, K. B.; FRANCO, D. S. P.; NETTO, M. S.; PICCILLI, D. G. A.; FOLETTI, E. L.; SILVA, L. F. O.; DOTTO, G. L. Efficient removal of naproxen from aqueous solution by highly porous activated carbon produced from Grapetree (*Plinia cauliflora*) fruit peels, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 9, Issue 6, 2021.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 50 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

GOSTCH, E. Natural Succession of Species in Agroforestry and in Soil Recovery. Pirai do Norte, Bahia, 1992.

GUEDES, J. A. C.; SANTIAGO, Y. G.; LUZ, L. R.; SILVA, M. F. S.; RAMIRES, C. M. C.; LIMA, M. A. C.; OLIVEIRA, V. R.; PESSOA, C. do Ó.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; LIMA, M. F.; ALVES, R. E.; ZAMPIERI, D.; NASCIMENTO, R. F.; ZOCOLO, G. J. Comparative analyses of metabolic fingerprint integrated with cytotoxic activity and in silico approaches of the leaves extract of *Spondias mombin* L. and *Spondias tuberosa* Arr. Cam. from Northeast, Brazil, *Phytochemistry Letters*, Volume 40, 2020, Pages 26-36, ISSN 1874-3900, <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2020.09.003>.

HUNTER-JÚNIOR, M. L. Wildlife forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 370p.

LELES, P.S.S.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. de. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus calmadulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. *Revista Árvore*, v.22, n.1, p. 41-50, 1998.

LIMA, J.A. de; SANTANA, D.G. de; NAPPO, M.E. Comportamento inicial de espécies na revegetação da mata de galeria na Fazenda Mandaguari, em Indianópolis, MG. *Revista Árvore*, v.33, p.685-694, 2009.

LIMA, P. A. F. Crescimento de mudas de espécies nativas na restauração ecológica de matas ripárias. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 11, n. 2, p.72-79, 2016.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil, 1st ed.; Instituto Plantarum: Nova Odessa, Brazil, 384, p.23, 2009.

LORENZI, H. Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil, 1st ed.; Instituto Plantarum: Nova Odessa, Brazil, p.384, 2009.

WU, S.B.; Dastmalchi, K.; Long, C.; Kennelly, E.J. Metabolite profiling of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and other dark-colored fruit juices. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60, 7513–7525. <https://doi.org/10.1021/jf301888y>. 24.

MAPBIOMAS. PLATAFORMA BRASIL. 2020. Available online: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> (accessed on 22 October 2021).

MARTINS, T. P. Sistemas agroflorestais como alternativa para recomposição e uso sustentável das reservas legais. Universidade de São Paulo – USP (Dissertação Mestrado). 154 p., 2013.

MELOTTO, A.; NICODEMO, M.L.; BOCCHESI, R.A.; LAURA, V.A.; GONTIJO NETO, M.M.; SCHLEDER, D.D.; POTT, A.; SILVA, V.P. da. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. *Revista Árvore*, v.33, p.425-432, 2009.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.

MOTA, E.M.S.; NOVAES, C.R.D.B.; SILVA, L.B.; CHAVES, L.J. Structure of the phenotypic variability of fruit and seeds of *D. alata* vogel (Fabaceae). *Rev. Bras. Frutic.* 2020, 42, 6. [CrossRef]

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Mangium and other fast-growing acacia for the humid tropics. National Academy Press, Washington D.C. 1983.62 p.

NAIR, P. K. R. An introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Florida, USA. 1993.

NAIR, P.K.R. Soil Productivity Aspects of Agroforestry. Science and Practice of Agroforestry No. 1. Nairobi: ICRAF, 94p. 1984.

NAIR, P. K. R. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, v. 40, n. 3, p. 784-90, 2011.

NIERI, E. M.; MACEDO, R. L. G.; MARTINS, T. G. V.; MELO, L. A.; VENTURIN, R. P.; VENTURIN, N. Comportamento silvicultural de espécies florestais em arranjo para integração pecuária floresta. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 195-202, abr/jun. 2018.

OLIVEIRA, A.L.; BRUNINI, M.A.; SALANDINI, C.A.R.; BAZZO, F.R. Caracterização tecnológica de jaboticabas ‘Sabará’ provenientes de diferentes regiões de cultivo. *Rev. Bras. Frutic.* 2003, 25, 397–400.

OLIVEIRA, M. C.; PASSOS, F. B.; RIBEIRO, J. F.; AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, F. F.; SOUSA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v.13, n. 1, p. 25-32, 2015.

OLIVEIRA NETO, C. F.; LIMA, E. G. S.; ATAÍDE, W. L. S.; COSTA, A. S.; SILVA, K. R. S.; MALTAROLO, B. M.; COSTA, T. C.; COSTA, R. C. L.; SOUZA, L. C.; OKUMURA, R. S. Nitrogenous compounds in hog plum plants (*Spondia mombin* L.) under water deficit. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 7, p. 572-582, 2016.

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E.M. Desempenho silvicultural e produtivo sob diferentes arranjos espaciais em sistemas agroflorestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, PR, n.60, p.01-09, dez. 2009. Edição Especial.

OLIVEIRA, V. A. de. (Coord.) Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais técnicos em geociências).

PANIAGO, V. R. C.; OLIVEIRA, W. N.; RIBEIRO, H. J.; PEREIRA, S. R.; FERREIRA, G. C. V. Análise da cobertura do solo em áreas de preservação permanente (app) no ribeirão grimpas no município de Hidrolândia-GO, Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Santos-SP, Brasil, 14 a 17 de Abril de 2019.

PAULA, P. L.; LEMOS, A. S. O.; CAMPOS, L. M.; FERREIRA, T. G.; SOUZA, T. F.; QUEIROZ, L. S.; GUEDES, M. C. M. R.; MARTINS, M. M.; FILHO, L. R. G.; MACEDO, G. C.; TAVARES, G. D.; ROCHA, V. N.; DENADAI, A. M. L.; FABRI, R. L. Pharmacological investigation of antioxidant and anti-inflammatory activities of leaves and branches extracts from *Plinia cauliflora* (Jaboticaba), *Journal of Ethnopharmacology*, Volume 280, 2021.

PENEIREIRO, F. M.; RODRIGUES, F. Q.; BRILHANTE, M. de O.; LUDEWINGS, T. Apostila do Educador Agroflorestral: Introdução aos Sistemas Agroflorestais, um Guia Técnico. Universidade Federal do Acre, UFAC. Arboreto. 76p., 2002.

PENDRILL, F.; PERSSON, U.M.; GODAR, J.; KASTNER, T.; MORAN, D.; SCHMIDT, S.; WOOD, R. Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Glob. Environ. Chang.* 2019, 56, 1–10.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MORAES NETO, S.P. de; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JUNIOR, R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010, 17p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento n° 276).

RIBEIRO, A., FERRAZ FILHO, A. C., SCOLFORO, J. R. S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 0-11, 2017.

SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F.; BRITO, M.A. Barú: Biologia e uso. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2004. Available online: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/566595> (acesso em 14 de Dezembro de

2021).

SANCHES, R.M. Estudo Fitoquímico e Propriedades Biológicas da *D. alata* Vogel (baru). Dissertation of Master, University of the Ilha Solteira, Ilha Solteira, Brazil, 2014. Available online: <http://hdl.handle.net/11449/123176> (accessed on 5 June 2021).

SOUZA, D. R. et al. Emprego de análise multivariada para estratificação vertical de florestas inequidistantes. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.59-63,2003.

SOUZA, C.R.; LIMA, R.M.B.; AZEVEDO, C.P.; ROSSI, L.M.B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, 36, n. 77, p. 7-14, 2008.

SCHULER, H.R.; ALARCON, G.G.; JONER, F.; DOS SANTOS, K.L.; SIMINSKI, A.; SIDDIQUE, I. Ecosystem Services from Ecological Agroforestry in Brazil: A Systematic Map of Scientific Evidence. *Land* **2022**, *11*, 83. <https://doi.org/10.3390/land11010083>.

TAKEMOTO, E.; OKADA, I.A.; GARBELOTTI, M.L.; TAVARES, M. Aued-Pimentel, S. Chemical composition of seeds and oil of baru (*D. alata* Vog.) native from Pirenópolis, State of Goiás. Brazil. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* 2001, 60, 113–117.

TONINI, H.; COSTA, M.C.G.; SCHWENGBER, L.A.M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Brasília, DF, v. 59, n. 1, p. 05-14, jul./dez. 2009.

TURNBULL, J.W. Summary of discussion and recommendations. In: TURNBULL, J.W. Australian acacias in developing countries. **ACIAR proceedings**, n.16, p.7-9, 1986.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ExMaiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. *Cerne*, v. 6, n. 1, 2000, p. 83-88.

VIERA, D. L. M.; HOLL, K. D.; PENEIREIRO, F. M. Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology*, v. 17, n. 4, p. 451-459, 2009.

CAPÍTULO 2

Atributos da fertilidade em diferentes usos de solo no Cerrado

Resumo

Dentre as diversas agriculturas ecológicas, os sistemas agroflorestais (SAF's) se apresentam como promissores enquanto alternativa para a produção de alimentos através de práticas que participam dos processos naturais, conservando os solos e recuperando sua fertilidade. Foram utilizados dados de análise química e de textura de solos dos 19 SAF's e das áreas externas classificadas quanto ao uso do solo (pastagem ou ecossistemas naturais) em diversos municípios do estado de Goiás e no Distrito Federal. Neste contexto, para os sistemas agroflorestais que estão sendo avaliados, na análise de componentes principais CP1 e CP2, podemos concluir que, os atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC, Areia, Silte, Argila, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, Al^{3+} e MO são as mais influentes. Pode-se observar que as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, MO, K^+ , pH, Zn^{2+} , Areia e foram as mais influentes no CP1, e todas são altamente correlacionadas entre si. Através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis os principais atributos que diferenciaram foram o pH, Ca, $\text{H}^+ + \text{Al}$, P, MO, SB e V%.

Abstract

Among the various ecological agriculture, agroforestry systems (SAF's) are promising as an alternative for food production through practices that participate in natural processes, conserving soils and recovering their fertility. Data from chemical analysis and texture of soils from the 19 SAF's and external areas classified as to land use (pasture or native vegetation) were used in several municipalities in the state of Goiás and the Federal District. In this context, for the agroforestry systems that are being evaluated, in the analysis of main components CP1 and CP2, we can conclude that the attributes Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC, Sand, Silt, Clay, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, Al^{3+} and MO are the most influential. It can be seen that the variables Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, MO, K^+ , pH, Zn^{2+} , Sand and were the most influential in CP1, and all are highly correlated with each other. Through the Kruskal-Wallis non-parametric test, the main attributes that differentiated were pH, Ca, $\text{H}^+ + \text{Al}$, P, MO, SB and V%.

1. INTRODUÇÃO

Os solos têm um papel fundamental na regulação da quantidade de carbono (C) na atmosfera que contribui para a mudança climática (MINASNY *et al.*, 2017). Globalmente, os solos armazenam cerca de 2400 Pg de C, cerca de três vezes mais que na atmosfera (CROWTHER *et al.*, 2019). A conversão de sistemas naturais em ecossistemas agrícolas causa esgotamento do pool COS (carbono orgânico do solo) em até 60% em solos de regiões temperadas e 75% ou mais em solos cultivados do trópico (PINHEIRO *et al.*, 2021).

No maior país tropical, o Brasil, o setor agropecuário é responsável por cerca de dois terços das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (CRIPPA *et al.*, 2021). Essas atividades resultaram em degradação em todo o país, especialmente pastagens, a maior parte que estão em estágio avançado de degradação (DIAS-FILHO, 2014).

A degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovem a desestruturação, a compactação, a redução da fertilidade, a oxidação acelerada da matéria orgânica e diminuem a quantidade e diversidade de organismos do solo. Esta degradação tem relação com o uso inadequado e não conservacionista do solo, sobretudo por meio da adoção de sistemas convencionais de produção (LEITE *et al.*, 2010).

O Cerrado é uma região de alta aptidão agrícola devido aos solos com excelentes características físicas, mas esses solos são altamente dependentes do uso de fertilizantes para bons resultados produtivos. Crescente demanda por esses fertilizantes sem aumentos correspondentes na oferta leva a preços mais altos que tornam os fertilizantes inacessíveis aos produtores. Além disso, o uso indiscriminado desses fertilizantes pode deteriorar a qualidade das ecossistemas (ALTIERI, 2002; PEREIRA *et al.*, 2018).

Nesse cenário, o uso das terras por sistemas conservacionistas e regenerativos é amplamente promovido e tornou-se obrigatório. Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm maior potencial do que os sistemas de monocultivos na captura e armazenamento de CO₂ atmosférico em biomassa vegetal e solos e, portanto, mitigação das mudanças climáticas, em todas as regiões ecológicas do mundo, incluindo savanas (NAIR *et al.*, 2021).

Segundo Dollinger & José (2018), os SAFs são capazes de promover a melhoria da qualidade do solo, pois a biodiversidade presente nesses sistemas, incluindo o componente arbóreo, promove, dentre outros benefícios, a ciclagem de nutrientes e o aporte contínuo de material orgânico. A maior ciclagem de nutrientes se deve à estratificação das espécies que se relaciona com a ocupação e distribuição de raízes em diferentes profundidades do solo.

Vários fatores contribuem para a maior eficiência dos SAFs em sequestrar C no solo do que em monoculturas, incluindo o ciclo eficiente de C (e nutrientes) dentro do sistema solo-planta, um maior retorno de biomassa (C) ao solo e uma diminuição da decomposição da biomassa e sequestro de C do solo em áreas mais profundas camadas de solo (APOLINARIO *et al.*, 2016).

Na agroecologia são estimuladas práticas agrícolas que conservam os solos, tais como: cobertura do solo, curvas de nível, plantios consorciados, plantio de árvores, não revolver o solo, entre outros. Solos vivos e agregados permitem a existência de diversos tipos de organismos, aumentando a sua produtividade. A biodiversidade vegetal é importante para promover a ciclagem de diversos nutrientes, permitindo diversas formas de vida no solo, contribuindo com sua produtividade (PRIMAVESI, 2002).

Dentre as diversas agriculturas ecológicas, os sistemas agroflorestais (SAFs) se apresentam como promissores enquanto alternativa para a produção de alimentos através de práticas que participam dos processos naturais, conservando os solos e recuperando sua fertilidade (MICCOLIS *et al.*, 2016). Através do plantio de diversas espécies (árvores nativas, frutíferas, arbustos, hortaliças), a energia do sol é melhor aproveitada no tempo e no espaço, fazendo com que em pouco tempo o sistema comece a acumular biomassa viva e morta no solo.

A presença constante das podas e manejo do sistema garantem um aporte contínuo de matéria orgânica no solo. Assim, os processos naturais da decomposição da serrapilheira, com a participação da macro e microfauna do solo, começam a funcionar, trazendo vida e energia para o agroecossistema (NETO *et al.*, 2016).

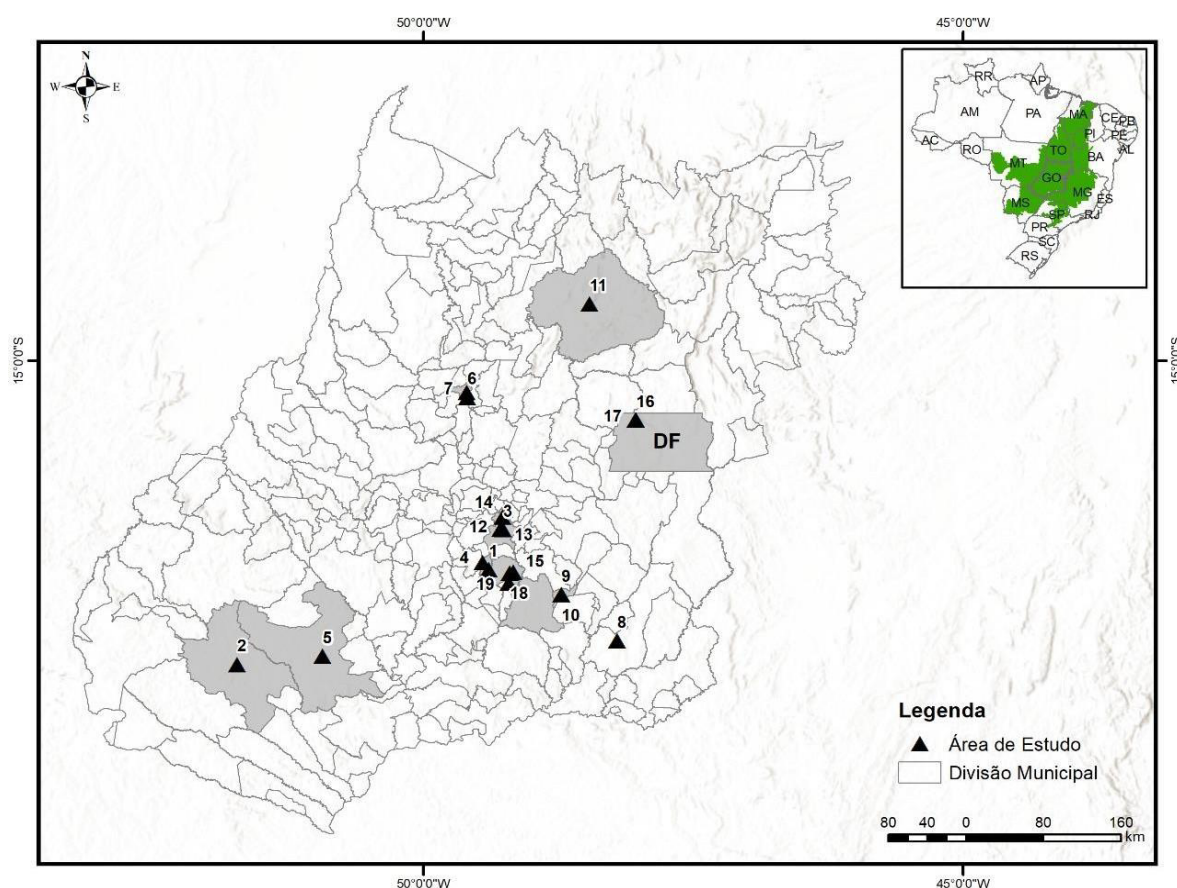
Segundo Kumar (2010), a quantificação e a avaliação dos efeitos benéficos das práticas agroflorestais são importantes para pesquisadores, formuladores de políticas agricultoras, pois contribui para auxiliar em tomadas de decisões que promovam tal prática de manejo. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade físico-química do solo em 20 SAFs no estado de Goiás. Utilizando como indicadores os níveis a qualidade do solo nas áreas externas (ecossistemas naturais ou pastagem). O impacto dos sistemas de manejo, sobre a qualidade do solo foi medido pelas seguintes variáveis: pH em H₂O, fósforo disponível/extraível (P⁻), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), matéria orgânica (MO), areia (Areia), silte (Silte), argila (Argila), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Áreas de estudo

Foram identificados em 11 municípios no estado de Goiás (GO) e no Distrito Federal (DF), locais onde foram plantados diferentes Agroecossistemas denominados Sistemas agroflorestais biodiversos ou SAFs multiestrata. Destes foram selecionados 20 SAFs, levando-se em consideração o tempo e recursos disponíveis para visitas a campo: 2 em Ceres, 2 em Goiânia, 2 em Cristianópolis, 2 em Aragoiânia, 2 em Brasília, 2 em Hidrolândia, 1 em Ipameri, 1 em Niquelândia, 1 em Rio Verde, 1 em Jataí, 1 em Goianira, 1 em Santo Antônio de Goiás, 2 em Piracanjuba (Figura 6).

O tempo de implantação varia entre um a doze anos, a área ocupada pelos SAFs varia entre 1.000 m² (0.1 ha) e 180.000 m² (18 ha), localizados na região Norte (Ceres e Niquelândia), Centro-Sul (Aragoiânia, Ceres, Hidrolândia, Goiânia, Piracanjuba e Santo Antônio de Goiás), sudoeste (Jataí e Rio Verde) e Sudeste (Cristianópolis e Ipameri) do estado de Goiás e no Distrito Federal (Lago Oeste) (Tabela 5). Para a classificação dos SAFs estudados foi empregado o sistema de classificação proposto por Nair (1993).



Com base na natureza dos componentes dos SAFs, de forma generalista eles foram classificados em uma das três categorias: sistema agrosilvicultural (Agroflorestas biodiversas), quando há a associação somente dos componentes arbóreo e culturas agrícolas; silvipastoril, onde há a combinação somente de árvores e plantas forrageiras para alimentação animal ou com a criação de animais; agrossilvipastoril, quando ocorre a combinação entre o componente arbóreo, culturas agrícolas e criação de animais.

Com base nos arranjos temporais de seus componentes, os SAFs foram classificados em: sistemas coincidentes (simultâneos), quando ao mesmo tempo, as culturas anuais e perenes convivem com espécies madeireiras ou de uso múltiplo e/ou pecuária; sequenciais, quando os cultivos agrícolas anuais e as plantações de árvores se sucedem no tempo; complementares, quando há o plantio de arbóreas ou culturas agrícolas que exercem uma função auxiliar de proteção do SAF, como as cercas-vivas e cortinas quebra-vento, normalmente estando associadas aos sistemas coincidentes e os sequenciais. Quanto a função foram classificados em: SAFs de produção (Alimentos, fibras e madeira); SAFs de proteção (Recuperação de áreas degradadas, erosões, cobertura do solo, etc.); SAFs multifuncionais que desempenham várias funções.

Tabela 5. Localização, área total, idade nos diferentes sistemas agroflorestais e respectivas áreas externas no estado de Goiás.

SAFs	Município/UF	Área (m ²)	Idade (anos)	Áreas externas	Classificação do solo
01	Aragoiânia – GO (Elizabeth)	18.000	03	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho ácrico
02	Rio Verde - GO	180.000	01	Ecosystema Natural	Nitossolo Vermelho eutrófico
03	Jataí - GO	80.000	10	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho ácrico
04	Aragoiânia – GO (Estrela)	1.350	01	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho ácrico
05	Goianira - GO	12.000	02	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho-ácrico
06	Ceres – GO (IFG 1)	800	12	Pastagem	Nitossolo Vermelho eutrófico
07	Ceres – GO (IFG 2)	12.000	04	Pastagem	Latosolo Vermelho distrófico
08	Ipameri - GO	5.000	02	Pastagem	Cambissolo Háptico distrófico
09	Cristianópolis – GO (1)	800	02	Pastagem	Latosolo Vermelho ácrico
10	Cristianópolis – GO (2)	800	09	Pastagem	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico
11	Niquelândia - GO	15.000	04	Pastagem	Cambissolo Háptico distrófico
12	Goiânia – GO (1)	16.000	02	Pastagem	Latosolo Vermelho ácrico
13	Goiânia – GO (2)	1.200	11	Pastagem	Latosolo Vermelho ácrico
14	Santo Antônio de Goiás - GO	1.200	03	Ecosystema Natural	Latosolo vermelho-ácrico
15	Hidrolândia – GO / Dirindele	2.000	05	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho distrófico
16	Brasília – DF / Semente	2.000	06	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho distrófico
17	Brasília – DF / Raiz	2.000	08	Ecosystema Natural	Latosolo Vermelho distrófico
18	Hidrolândia – GO / NEA	4.900	04	Pastagem	Latosolo vermelho-Amarelo
19	Piracanjuba – GO (1)	1.000	01	Ecosystema Natural	Cambissolo Háptico distrófico
20	Piracanjuba – GO (2)	3.000	03	Ecosystema Natural	Neossolo Litólico distrófico

2.2. Caracterização química da qualidade dos solos nos SAF's e Áreas externas

Para avaliação dos aspectos de fertilidade e textura dos solos foram coletadas amostras de 0 a 20 cm de profundidade, abrindo-se trincheiras de aproximadamente 20 x 25 x 25 cm. As amostras foram somadas em uma única amostra composta por parcela, misturadas, homogeneizadas e acondicionadas em saco plástico lacrado.

Em laboratório, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm, as composições granulométricas dos solos foram determinadas pelo método da pipeta (DONAGEMA *et al.*, 2011). As análises químicas também seguiram os métodos descritos por DONAGEMA *et al.* (2011). A classe dos solos de cada área foi determinada através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SOLOS, 2013).

A qualidade do solo nas áreas externas (ecossistemas naturais ou pastagem) e o impacto dos sistemas de manejo sobre a qualidade do solo foi medido pelas seguintes variáveis: pH em H₂O, fósforo disponível/extraível (P⁻), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), matéria orgânica (MO), areia (Areia), silte (Silte), argila (Argila), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺).

2.3. Análises Estatísticas

Foi realizada a análise de componentes principais (Principal Component Analysis - PCA), para visualizar como os diferentes SAFs se destacam quanto as variáveis do solo coletadas. E foi realizada a PCA para visualizar com os SAFs e os diferentes usos do solo (Pastagem, Ecossistema naturais). A seleção do número de componentes empregados na interpretação de dados de uma PCA é um critério empírico na literatura, e é comum indicarem que se devem utilizar aqueles componentes que juntos acumulam pelo menos 70% da variação total dos dados, informação dada pelos autovalores de cada componente (HONGYU *et al.*, 2015). Portanto no presente estudo utilizamos quantos componentes fossem necessários para acumular ao menos 70% da variação total.

Para facilitar a elaboração das análises estatísticas e texto foram elaboradas legendas de acordo com a sequência das agroflorestas: SAF01, SAF02, SAF03, SAF04, SAF05, SAF06, SAF07, SAF08, SAF09, SAF10, SAF11, SAF12, SAF13, SAF14, SAF15, SAF16, SAF17, SAF18, SAF19 e SAF20. Também seguindo esse raciocínio foi elaboradas legendas para os ecossistemas naturais: NAT01, NAT02, NAT03, NAT04, NAT05, NAT06, NAT07, NAT08,

NAT09, NAT10, NAT11 e NAT12. E legendas para as pastagens: PAS01, PAS02, PAS03, PAS04, PAS05, PAS06, PAS07, PAS08.

Análises de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) foram executadas entre os parâmetros do solo, sistemas agroflorestais e também em uma análise geral envolvendo a vegetação nativa e a pastagem, com o objetivo de verificar possíveis relações entre as variáveis físico-químicas do solo.

A normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene ao nível de 5% de probabilidade, não apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, mesmo com a realização das transformação logarítmica dos mesmos. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade foi utilizado para comparar os conjuntos de dados, que são os atributos químicos e de textura do solo dos saf's, ecossistemas naturais e pastagem. Os resultados encontrados na análise química do solo nos SAFs, ecossistemas naturais e pastagens na camada superficial de 0-20cm foram interpretados (SOUSA & LOBATO, 2004), sendo esta interpretação dos níveis de nutrientes da análise química do solo para as culturas agrícolas.

Foi realizada a análise de regressão múltipla, onde a variável dependente (matéria orgânica – MO) apresenta mais de uma variável explicativa (pH em H₂O, fósforo disponível/extraível (P⁻), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), areia, argila, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺) conforme Chein (2019). Todos os testes foram executados pelos programas PAST4.03® (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

3. RESULTADOS

3.1. Classificação dos sistemas agroflorestais estudados

Relacionando a natureza dos componentes, todos os SAFs estudados estão inseridos na categoria de sistemas agrosilviculturais (Agroflorestas biodiversas), todos são combinações do componente arbóreo com culturas agrícolas, sem a criação de animais na mesma área.

Em relação aos arranjos de seus componentes, os SAFs foram classificados como coincidentes ou simultâneos, com culturas anuais, semi-perenes e perenes cultivadas em combinação com espécies madeireiras ou de uso múltiplo, com diversidade e densidade de espécies e fornecimento de múltiplos produtos. Quanto as funções dos SAFs, todos foram classificados como multifuncionais, suplementando, além de múltiplos produtos, proteção ao solo

e auxiliando na ciclagem de nutrientes com deposição constante de matéria orgânica.

3.2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs

Os três componentes explicam a 75.5% da variância total do conjunto de dados, sendo o primeiro componente responsável por explicar 42.3%, o segundo 21.6% e, o terceiro explicando 11.6% (Figura 7).

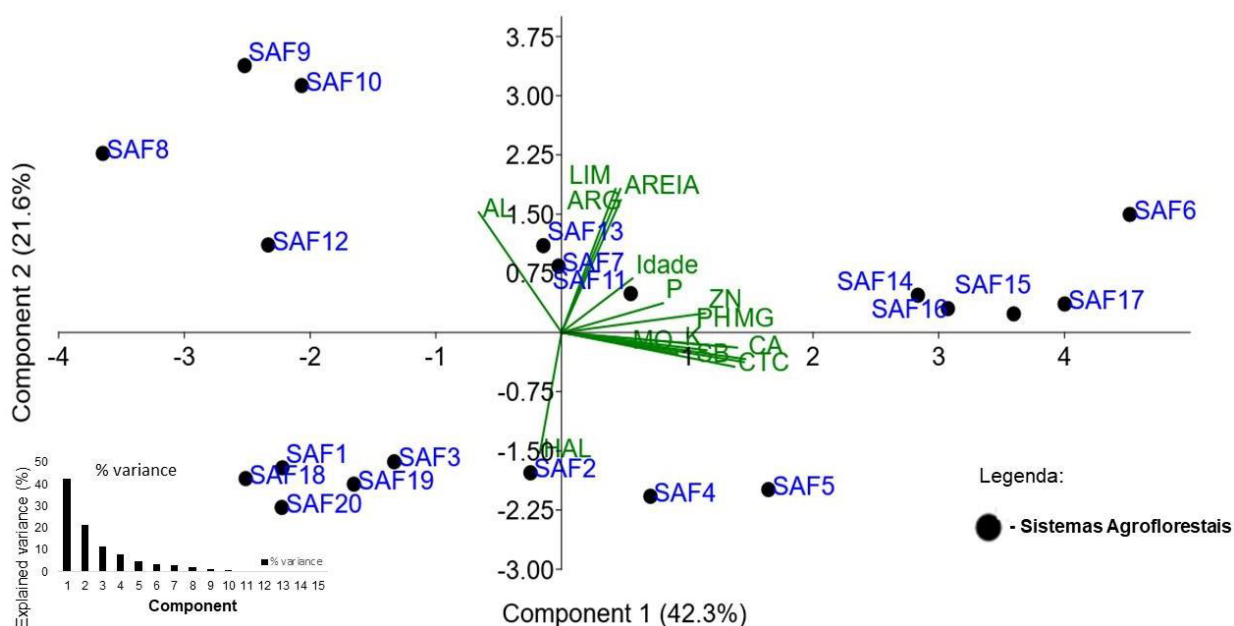


Figura 7. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais no estado de Goiás e Distrito Federal.

As variáveis edáficas, assim como a idade dos SAFs, apresentaram maiores correlações com o primeiro e o segundo componente principal. O componente 1 se correlacionou com os atributos físicos silte, argila e areia. E o componente 1 se correlacionou com os teores de nutrientes como fósforo (P^-), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH, CTC, MO, soma de bases e a idade do SAFs e com os SAF11, SAF7, SAF14, SAF16, SAF15, SAF17, SAF6, SAF4 e SAF5. O componente 2 se correlacionou com o alumínio (Al^{3+}) e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) em conjunto com os SAF3, SAF19, SAF20, SAF18, SAF1, SAF12, SAF8, SAF9 e SAF10.

As agroflorestas com idade superior aos 3 anos apresentando estrutura florestal, com sombreamento da área e também maior quantidade de matéria orgânica com a diversificação da serrallapilheira contribuem com a melhoria da qualidade do solo, garantindo maior proteção à

superfície do solo e criando diferentes nichos a serem ocupados pelos organismos edáficos influenciando positivamente na ciclagem de nutrientes. As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH e MO.

3.3. Relação entre os atributos do solo com os SAFs

Os atributos físicos e químicos do solo para os diferentes SAFs e a idade, mostrou uma correlação positiva ($r = 0.670$, $p < 0.001$) com relação a argila, silte ($r = 0.750$, $p < 0.001$) e areia ($r = 0.750$, $p < 0.001$), respectivamente. Por outro lado, os atributos físicos e químicos para os diferentes SAFs e a idade apresentou correlação negativa com a acidez potencial no solo ($r = -0.570$, $p < 0.001$).

Tabela 6. Relação entre parâmetros do solo e a idade para os diferentes de sistemas agroflorestais biodiversos (agroflorestas) no estado de Goiás e no Distrito Federal.

	r (Pearson)	p-valor
Idade	0.410	0.074
Al ³⁺ (alumínio)	0.320	0.176
K (potássio)	0.190	0.424
P (fósforo)	0.280	0.231
Zn (Zinco)	0.310	0.187
pH	0.210	0.341
Argila	0.670	<0.001
Silte	0.750	<0.001
Areia	0.750	<0.001
H ⁺ +Al ³⁺	-0.570	<0.001

3.4. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs, Ecossistemas Naturais e Pastagens

A ordenação dos parâmetros físico químicos do solo por meio da análise de componentes principais mostrou um separação em função dos diferentes usos do solo (SAF – sistemas agroflorestais; NAT – ecossistemas naturais e PAS - Pastagens). Os três primeiros componentes da ordenação explicaram, juntos, 73.0% da variância dos dados, sendo 39.1% no eixo I e 23.6% no eixo II e 10.3% no eixo III (Figura 7).

A ordenação no eixo I mostra a correlação entre os parâmetros físicos do solo: areia, silte e argila, respectivamente. No eixo I também é observada a correlação entre os atributos da química do solo como: soma de bases, fósforo (P), Zn, Ca, Mg, CTC e a matéria orgânica (MO) com os

usos do solo do SAF13 (Goiânia), SAF7 (Ceres), SAF11 (Niquelândia), SAF16 (DF – Sítio Semente), SAF15 (Hidrolândia – Sítio Dirindela), SAF17 (DF), SAF6 (Ceres), SAF2 (UFJ - Jataí), SAF4 (Aragoiânia), SAF5 (Rio Verde). Juntamente com os ecossistemas naturais, NAT8 (DF), NAT7 (Hidrolândia), NAT6 (Sto Antônio) e NAT5 (Rio Verde) e as pastagens PAS2 (Ceres), PAS1 (Ceres).

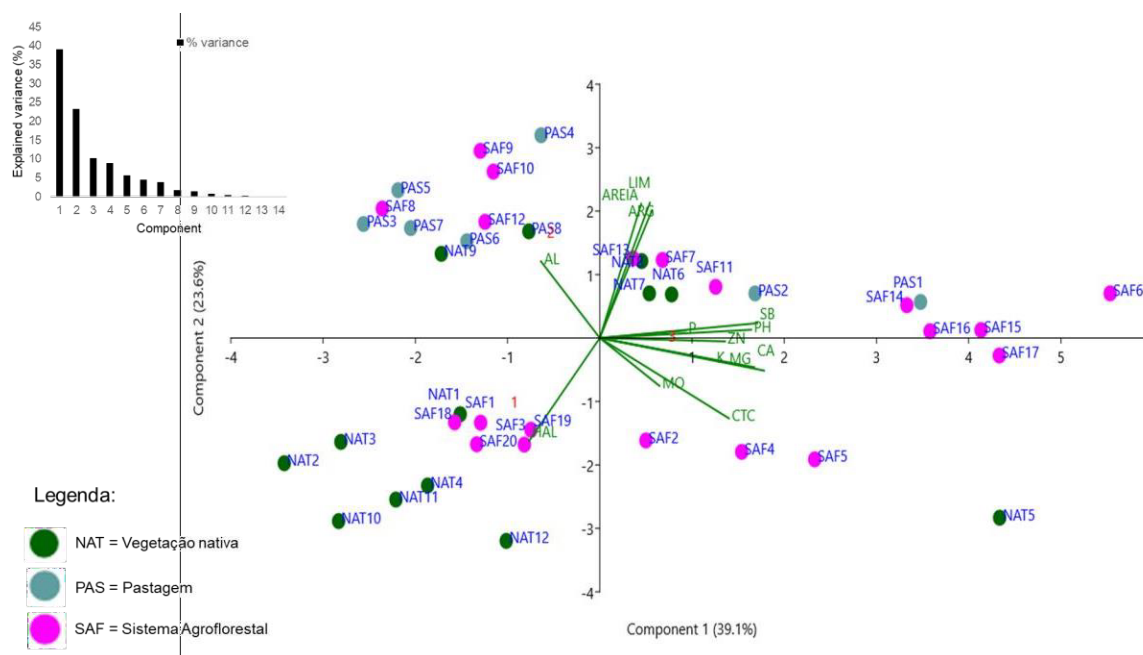


Figura 8. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais, pastagem no estado de Goiás e Distrito Federal.

A ordenação do eixo II correlacionou com a acidez pontencial (H+Al) e o alumínio (Al), o SAF9 (Cristianópolis), SAF10 (Cristianópolis), SAF8 (Ipameri), SAF12 (Goiânia), SAF18 (Hidrolândia - NEA), SAF3 (Goiânia), SAF10 (Cristianópolis), SAF19 (Piracanjuba) e SAF20 (Piracanjuba). Em correlação com os ecossistemas naturais: NAT9 (DF), NAT3 (Goiânia), NAT2 (UFJ - Jataí), NAT10 (Hidrolândia - NEA), NAT11 (Piracanjuba), NAT4 (Aragoiânia) e NAT12 (Piracanjuba). E correlação com as pastagens: PAS4 (Cristianópolis), PAS5 (Cristianópolis), PAS3 (Ipameri), PAS7 (Goiânia), PAS6 (Niquelândia) e PAS8 (Goiânia).

Novamente, as agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH e MO. A vegetação nativa NAT5 (Goianira) apresentou forte correlação com a capacidade de troca de cátions potencial (CTC), porém, os demais ecossistemas nativos

apresentaram maior correlação com a acidez potencial. As pastagens demonstraram maior acúmulo de alumínio (Al^{3+}), demonstrada no componente 2, porém, as pastagens PAS2 (Ceres), PAS1 (Ceres) se correlacionam com maiores teores de soma de bases e pH. Os SAFs que se correlacionaram com uma maior acidez potencial, SAF19 (Piracanjuba 1) estabelecido sobre Cambissolo Háptico distrófico e SAF20 (Piracanjuba 2) sobre Neossolo Litólico distrófico.

3.5. Relação entre os atributos do solo com os usos do solo

Os atributos físicos e químicos do solo para os diferentes SAFs, ecossistemas naturais e pastagem, apresentou correlação negativa com a acidez pontencial no solo ($r = -0.540$, $p < 0.001$). E demonstrou correlação positiva ($r = 0.953$, $p < 0.001$) com relação ao cálcio, silte ($r = 0.790$, $p < 0.001$) e argila ($r = 0.730$, $p < 0.001$), respectivamente.

Tabela 7. Relação entre parâmetros do solo de Sistemas Agroflorestais Biodiversos (agroflorestas), pastagem e ecossistemas naturais no estado de Goiás e Distrito Federal.

Atributos do solo	r (Pearson)	p-valor
Al^{3+}	0.220	0.170
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	-0.540	<0.001
Capacidade de troca catiônica	-0.240	0.146
Matéria Orgânica	-0.150	0.355
Areia	0.260	0.418
Saturação por bases	0.200	0.221
pH	0.210	0.175
Ca^{2+}	0.953	0.010
Argila	0.730	<0.001
Silte	0.790	<0.001
P (fósforo)	0.210	0.142

3.6. Características edáficas entre os diferentes usos do solo

As classes de solos variaram entre as agroflorestas, em que, o Latossolo Vermelho ácrico se encontra sobre os SAF1, SAF2, SAF3, SAF4, SAF5, SAF9, SAF 12, SAF13 e SAF14. O Latossolo Vermelho distrófico está sobre os SAF6, SAF15, SAF16, SAF17. O Cambissolo háptico distrófico sobre os SAF8, SAF11 e SAF19, seguido por Neossolo Litólico distrófico SAF20, Latossolo Vermelho amarelo SAF18, Argissolo Vermelho-amarelo distrófico SAF10 e Nitossolo Vermelho eutrófico no SAF5 e SAF7.

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) nos SAFs variaram de nível baixo à alto, igual a $0.9 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (SAF8) e $8.7 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (SAF17), e os níveis de magnésio (Mg^{2+}) variaram de baixo igual a $0.5 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (SAF8) à um nível alto de $3.7 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (SAF14), o potássio (K^+) os níveis também variaram de níveis médios 42 mg/dm^{-3} (SAF10) à nível alto 482.8 mg/dm^{-3} (SAF15), o fósforo (P

), os níveis variaram à muito baixo 0.5 mg/dm^{-3} (SAF9) à nível alto 1540 mg/dm^{-3} (SAF6). A soma de bases (SB) máxima foi de $11.70 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ (SAF17) o que é considerada alta.

Os maiores teores de matéria orgânica (MO) no solo foi de 76.5 g/kg (SAF17), 56 g/kg (SAF16), 51 g/kg (SAF2), e os menores teores foram 16 g/kg (SAF18) e 18 g/kg (SAF12). Os níveis do pH em H₂O variaram de baixo à alto de 4,4 (SAF8) 6.5 (SAF16). Os resultados das análises químicas para micronutrientes, os níveis de zinco (Zn^{2+}) variam de entre teores baixos 0.3 mg/dm^{-3} (SAF12) à alto 63 mg/dm^{-3} (SAF6). O maior teor de argila é de 580 g/kg (SAF14) e o menor 26 g/kg (SAF2), o teor de silte maior foi de 120 g/kg (SAF14) e menor 6.5 g/kg (SAF19) e os teores de areia menor 24 g/kg (SAF3) e maior 780 g/kg .

Nos ecossistemas naturais os teores de cálcio (Ca^{2+}) variaram de nível baixo à alto, igual a $0.7 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (NAT2) e 12 cmolc/dm^{-3} (NAT5), e os níveis de magnésio (Mg^{2+}) variaram de baixo igual a $0.3 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (NAT9) à um nível adequado de $4.7 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (NAT5), o potássio (K^{+}), os níveis também variaram de níveis médios 50.8 mg/dm^{-3} (NAT9) à nível alto 180 mg/dm^{-3} (NAT10), o fósforo (P^{-}) os níveis variaram de muito baixo 1.2 mg/dm^{-3} (NAT10) à nível muito alto 108 mg/dm^{-3} (NAT7). A soma de bases (SB) máxima foi de $16.9 \text{ cmolc/dm}^{-3}$.

Os teores médios matéria orgânica (MO) no solo dos ecossistemas naturais na camada superficial (0-20 cm) foi de 36.5 g/kg . Os resultados das análises químicas para micronutrientes do solo nos ecossistemas naturais na profundidade de 0-20cm, os níveis de zinco (Zn^{2+}) são considerados elevados estando entre 1.1 mg/dm^{-3} (NAT2) à $0,9 \text{ mg/dm}^{-3}$ (NAT7). Os níveis do pH em H₂O variaram de baixo à alto de 3.8 (NAT2) e 6.7 (NAT5). Na análise granulométrica do solo a maior quantidade argila no solo foi observada no NAT6 com 530 g/kg e menor no NAT11 com 23 g/kg . O silte em maior quantidade é observado no NAT6 com 110 g/kg e a menor em NAT11 6 g/kg . A maior quantidade de areia é de 640 g/kg (NAT8) e a menor 24 g/kg (NAT3).

Na camada superficial das pastagens os níveis do pH em H₂O variaram de médio à alto de 4.6 (PAS3) à 5.9 (PAS1). A acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{3+}$), máximos foram $0.1 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ $3.0 \text{ cmolc/dm}^{-3}$, respectivamente. A fertilidade das amostras, com nível baixo à alto, respectivamente, de cálcio (Ca^{2+}) igual a $0.6 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS3) e $7.3 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS1), e os níveis de magnésio (Mg^{2+}) variaram de baixo igual a $0,4 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS3) à um nível adequado de $2.2 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS1), o potássio (K^{+}) os níveis também variaram de níveis baixos 27.4 mg/dm^{-3} à nível alto 486.8 mg/dm^{-3} , o fósforo (P^{-}) os níveis variaram à muito baixo 0.5 mg/dm^{-3} (PAS4) à nível muito alto 116 mg/dm^{-3} (PAS1). A soma de bases (SB) máxima foi de $10.6 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS1) o que é considerada alta, e a $1.1 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ (PAS3) é interpretada como baixa.

O teor de matéria orgânica (MO) do solo nas pastagens variou de 13 g/kg (PAS8) à 30

g/kg (PAS2). Os resultados das análises químicas para micronutrientes do solo nos ecossistemas naturais na profundidade de 0-20cm, os níveis de zinco (Zn^{2+}) são considerados baixo e elevados estando entre 0.4 mg/dm^{-3} (PAS7) à 16.6 mg/dm^{-3} (PAS1), respectivamente.

Na análise granulométrica do solo a maior quantidade de argila no solo foi observada no PAS2 com 410 g/kg e menor no PAS3 com 190 g/kg. O silte em maior quantidade é observado no PAS2 com 100 g/kg e a menor em 50 g/kg (PAS3). A maior quantidade de areia é de 760 g/kg (PAS3) e a menor 490 g/kg (PAS4). No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs que para as áreas de pastagem, porém, apresentando bastante variação entre os locais (Tabela 8).

Tabela 8. Teores do elementos físico-químicos para a camada superficial dos solos (0-20cm) amostradas nas agroflorestas, ecossistemas naturais e pastagens avaliadas no Estado de Goiás e Distrito Federal. Em que: Ca^{2+} = Cálcio ($cmolc.dm^{-3}$); Mg^{2+} = Magnésio ($cmolc.dm^{-3}$); Al^{3+} = Alumínio ($cmolc.dm^{-3}$); H^+ = Hidrogênio; K^+ = Potássio ($mg.dm^{-3}$); P^- = Fósforo ($mg.dm^{-3}$); MO = Matéria orgânica (g/kg); Zn = Zinco ($mg.dm^{-3}$), $CTC(t)$ = Capacidade de troca de cátions efetiva ($cmolc.dm^{-3}$); SB = Soma de bases ($cmolc.dm^{-3}$), pH = potencial hidrogeniônico (em H_2O); ARG = argila (g/kg); LIM = silte (g/kg); e areia (g/kg).

Usos	Ca^{2+}	MG	AL	H+AL	K	P	MO	ZN	CTC(T)	SB	V%	pH	ARG	LIM	AREIA
NAT1	1.40	0.90	0.00	2.10	155.00	2.10	27.00	4.60	4.80	2.70	56.22	5.20	32.00	8.00	60.00
NAT2	0.70	0.60	1.60	6.40	90.10	3.40	46.00	1.10	7.93	1.53	19.30	3.80	42.00	11.00	47.00
NAT3	0.80	0.70	0.30	4.10	79.80	1.50	40.00	2.00	5.80	1.70	29.36	4.30	63.00	13.00	24.00
NAT4	2.40	1.10	0.40	5.50	55.40	1.50	46.00	1.60	9.14	3.64	39.84	4.70	37.00	9.00	54.00
NAT5	12.00	4.70	0.00	0.90	86.20	4.70	33.00	7.60	17.82	16.92	94.95	6.70	42.00	11.00	47.00
NAT6	3.90	2.00	0.00	3.00	92.00	2.40	57.00	1.90	9.14	6.14	67.16	5.40	530.00	110.00	360.00
NAT7	4.00	1.30	0.00	3.00	176.40	108.00	26.00	13.10	8.75	5.75	65.72	5.30	340.00	80.00	580.00
NAT8	3.50	0.90	0.00	1.60	131.20	8.50	31.00	3.00	6.34	4.74	74.75	6.40	280.00	80.00	640.00
NAT9	1.50	0.30	0.20	2.60	50.80	2.40	43.00	3.90	4.53	1.93	42.60	4.80	370.00	90.00	540.00
NAT10	1.30	0.50	0.20	8.80	180.00	1.20	23.00	2.60	11.06	2.26	20.44	4.20	31.00	9.00	60.00
NAT11	1.80	0.40	0.20	7.20	130.00	14.00	31.00	3.30	9.73	2.53	26.02	5.20	23.00	6.00	71.00
NAT12	3.60	1.30	0.10	7.80	176.00	9.00	35.00	3.60	13.15	5.35	40.68	4.90	29.00	7.00	64.00
Média	3.08	1.23	0.25	4.42	116.91	13.23	36.50	4.03	9.02	4.60	48.09	5.08	151.58	36.17	212.25
Pastagem1	7.30	2.20	0.00	1.30	486.80	116.00	26.00	16.60	12.00	10.75	89.21	5.90	400.00	100.00	500.00
Pastagem2	6.00	2.00	0.00	2.10	239.40	2.10	30.00	6.60	10.71	8.61	80.40	5.40	410.00	100.00	490.00
Pastagem3	0.60	0.40	1.00	0.40	64.70	3.70	19.00	1.90	3.87	1.17	74.45	4.60	190.00	50.00	760.00
Pastagem4	2.90	1.10	4.00	0.00	46.10	0.50	21.00	2.90	5.62	4.12	50.73	5.90	410.00	100.00	490.00
Pastagem5	0.70	0.50	1.20	0.30	64.70	0.80	22.00	2.40	3.57	1.37	81.99	4.70	320.00	90.00	590.00
Pastagem6	1.40	1.10	0.50	3.00	125.70	3.70	19.00	0.70	5.82	2.82	48.47	4.70	400.00	100.00	500.00
Pastagem7	0.90	0.70	0.20	2.50	27.40	0.80	23.00	0.40	4.17	1.67	40.05	4.80	400.00	100.00	500.00
Pastagem8	2.10	1.00	0.00	1.80	88.90	0.80	13.00	0.90	5.13	3.33	64.89	5.50	370.00	90.00	540.00
Média	2.74	1.13	0.86	1.43	142.96	16.05	21.63	4.05	6.36	4.23	66.27	5.19	362.50	91.25	546.25
SAF1	2.40	1.10	0.00	2.30	58.30	2.40	29.00	5.50	5.95	3.65	61.34	5.20	37.00	9.00	54.00
SAF2	4.50	1.60	0.00	1.10	77.90	30.80	51.00	3.10	7.40	6.30	85.13	6.00	26.00	7.00	67.00
SAF3	3.00	1.50	0.00	2.70	64.00	4.70	40.00	5.00	7.36	4.66	63.33	5.10	63.00	13.00	24.00
SAF4	5.00	2.20	0.00	1.70	204.80	53.00	30.00	15.10	9.42	7.72	81.96	6.40	34.00	8.00	58.00
SAF5	8.00	2.20	0.00	1.20	216.20	108.00	23.00	11.80	11.95	10.75	89.96	6.40	44.00	11.00	45.00
SAF6	7.80	2.40	0.00	1.10	207.90	1540.00	20.00	63.00	11.83	10.73	90.70	6.40	280.00	80.00	640.00

Usos	Ca ²⁺	MG	AL	H+AL	K	P	MO	ZN	CTC (T)	SB	V%	pH	ARG	LIM	AREIA
SAF7	6.00	1.50	0.00	2.10	74.30	2.10	25.00	3.00	9.79	7.69	78.55	5.00	480.00	120.00	400.00
SAF8	0.90	0.50	1.40	0.80	81.80	7.00	20.00	2.30	5.11	1.61	66.79	4.40	300.00	80.00	620.00
SAF9	2.10	0.90	3.00	0.00	42.40	0.50	23.00	3.10	5.71	3.11	50.89	5.20	420.00	110.00	470.00
SAF10	1.60	0.80	2.40	0.00	42.00	4.70	22.00	4.00	4.11	2.51	51.09	5.80	290.00	80.00	630.00
SAF11	4.50	1.90	0.00	1.00	127.30	36.40	24.00	5.80	7.73	6.73	87.06	6.30	170.00	50.00	780.00
SAF12	1.70	0.80	0.00	2.20	48.80	7.70	18.00	0.30	4.82	2.62	54.40	5.30	420.00	110.00	470.00
SAF13	3.60	1.60	0.00	1.90	110.70	3.70	21.00	3.00	7.38	5.48	74.27	5.70	370.00	90.00	540.00
SAF14	6.05	3.70	0.00	1.80	246.55	3.55	51.00	6.35	12.19	10.38	85.22	6.15	580.00	120.00	300.00
SAF15	7.00	2.80	0.00	1.80	482.80	236.50	42.50	14.95	12.84	11.03	85.98	6.45	385.00	95.00	520.00
SAF16	6.30	2.00	0.00	1.50	448.65	92.00	56.00	18.60	10.94	9.45	86.30	6.55	305.00	80.00	615.00
SAF17	8.70	2.55	0.00	1.55	175.20	70.50	76.50	35.95	13.25	11.70	88.30	6.35	350.00	85.00	565.00
SAF18	2.45	0.70	0.00	2.85	130.00	2.50	16.00	3.70	6.34	3.48	54.99	5.20	42.00	8.00	50.00
SAF19	3.35	1.10	0.00	2.25	142.00	28.00	23.00	2.05	7.07	4.81	68.14	5.45	27.00	6.50	66.50
SAF20	3.00	0.90	0.00	3.35	102.00	21.00	25.00	5.00	7.51	4.16	55.40	5.05	27.00	7.50	65.50
Média	4.40	1.64	0.34	1.66	154.18	112.75	31.80	10.58	8.43	6.43	72.99	5.72	232.50	58.50	349.00

A normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene ao nível de 5% de probabilidade, não apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, mesmo com a realização das transformação logarítmica dos mesmos. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade foi utilizado para comparar os dois conjuntos de dados, que são os atributos químicos do solo nos SAFs, ecossistemas naturais e pastagens.

O teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis evidenciou haver diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística entre os resultados das análises químicas e granulométricas dos solos dos SAFs, em comparação com o ecossistema natural e/ou pastagens adjacentes a cada um. No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs que para as áreas dos ecossistemas naturais e pastagem, porém, apresentando bastante variação entre os locais.

Os principais atributos que se diferenciaram foram o pH, Ca^{2+} , H^+Al , K^+ , P^- , MO, Zn e V% (Figura 3). No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs (agroflorestas) para as áreas de ecossistema naturais e pastagens, porém, apresenta bastante variação entre os locais. O pH médio foi mais elevado para os solos sob agroflorestas (5.7), seguidos por pastagem (5.2) e ecossistemas naturais (5.1).

Os valores cálcio médio do cálcio (Ca^{2+}) foi maior para os solos dos SAFs ($4.4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) sendo o maior observado no SAF17 (Brasília – DF / Raiz) com $8.70 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Seguido por ecossistemas naturais com média de $3.1 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, onde a NAT5 (Goianira) com 12 cmolc.dm^{-3} . E as pastagens com média de $2.7 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, onde a PAS1 (Ceres – IFG 1) com $7.30 \text{ cmolc.dm}^{-3}$.

O magnésio (Mg^{2+}) não apresentou diferença significativas através do teste estatístico, porém, a média nas agroflorestas ($1.64 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) foi maior em relação aos ecossistemas naturais ($1.2 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) e as pastagens ($1.1 \text{ cmolc.dm}^{-3}$). Os teores de alumínio não diferiram entre si, em média o teor nas pastagens ($0.86 \text{ cmolc.dm}^{-3}$), foi maior em relação à agrofloresta ($0.34 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) e ecossistemas naturais ($0.25 \text{ cmolc.dm}^{-3}$), respectivamente.

A acidez potencial (H^+Al^{3+}) média foi maior nos ecossistemas naturais ($4.4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$), onde NAT10 (Piracanjuba – 1) representa o alto nível encontrado com $8.8 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Os SAFs apresentaram média de $1.7 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, com o maior nível $3.3 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ no SAF20 (Piracanjuba – 2). As pastagens com média de $1.4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, onde a PAS6 (Niquelândia).

O potássio (K^+) em média foi maior nos SAFs com 154.2 mg.dm^{-3} , onde o nível mais alto foi de 482.8 mg/dm^{-3} (SAF15 – Hidrolândia / Sítio Dirindele). Seguido pelas pastagens com

média de 143.0 mg/dm⁻³, e a pastagem 1 com 486.8 mg/dm⁻³ (CERES – IFG 1) com maior teor de potássio em todos os usos do solo. Os ecossistemas naturais em média 116.9 mg/dm⁻³, onde a NAT10 (Piracanjuba – 1) apresentou 180.0 mg/dm⁻³ maior teor.

O fósforo (P⁻) em média foi maior nos SAFs com 112.8 mg.dm⁻³, onde o nível alto 1540 mg/dm⁻³ (SAF6 – CERES IFG1). Seguido pelas pastagens com 16.1 mg/dm⁻³, à nível muito alto 116 mg/dm⁻³ (PAS1 - CERES IFG1). E por fim, os ecossistemas naturais com média de 13.2 mg/dm⁻³, onde (NAT7 – Hidrolândia/sítio Dirindela) apresentou nível muito alto 108 mg/dm⁻³.

Os ecossistemas naturais em média de matéria orgânica (MO) foram bem superiores com 36.5 g/kg, onde o NAT6 (Santo Antônio de Goiás) com 57 g/kg. Seguido os SAFs com os maiores teores de matéria orgânica (MO) no solo de 76.5 g/kg (SAF17), 56 g/kg (SAF16), 51 g/kg (SAF2). A matéria orgânica média nas pastagens foi de 21.6 g/kg, onde a maior quantidade foi na PAS2 (Ceres – GO / IFG 2) com 30 g/kg.

Os resultados das médias dos níveis de zinco (Zn²⁺) não diferiram, mas foram superiores nos SAFs com 10.6 cmolc.dm⁻³. Seguidos pela média das pastagens com 4.1 cmolc.dm⁻³ e ecossistema nativo 4.0 cmolc.dm⁻³, respectivamente. Os valores da soma de bases (SB) diferiu entre os usos do solo, onde nas agroflorestas à média foi superior (6.4 cmolc.dm⁻³), em relação ao ecossistema natural (4.6 cmolc.dm⁻³) e pastagem (4.2 cmolc.dm⁻³).

A capacidade de troca de cátions potencial (CTCT) apresentou maior média de 9.02 cmolc.dm⁻³ no ecossistema natural, com a NAT5 (Goianira) apresentando 17.8 cmolc.dm⁻³. Seguido por agroflorestas (SAFs) com média de 8.43 cmolc.dm⁻³, onde a maior CTC potencial foi encontrado no SAF17 (Brasília / Raiz) com 13.3 cmolc.dm⁻³. A saturação por bases (V%) com maiores médias nos SAFs com 77.9%, onde o SAF6 (Ceres – GO (IFG 1) com 90.7%, seguido por pastagens média de 72.4%, com a PAS1 (Ceres – GO (IFG 1) com 89.1%, e os ecossistemas naturais com média de 48.1%, onde a NAT5 (Goianira - GO) com 94.5%.

Os resultados das médias dos atributos físicos não mostraram diferenças estatísticas, os teores de argila foram superiores nas pastagens com 362.5 g/kg, onde as pastagens PAS2 (Ceres / IFG 2) e PAS4 (Cristianópolis) com 410 g/kg, respectivamente. Seguido por agroflorestas com média de 362.5 g/kg, o SAF7 (Ceres / IFG 2) apresentou maior quantidade de argila com 480.0 g/kg. E os ecossistemas naturais com média de 151.5 g/kg, onde a vegetação nativa (NAT6 - Santo Antônio de Goiás) apresentou 530.0 g/kg. Os resultados das médias da areia não mostraram diferenças significativas, os valores foram superiores foram nas pastagens com 546.3 g/kg, seguidos por agroflorestas com 349.0 g/kg e ecossistemas naturais 212.3 g/kg.

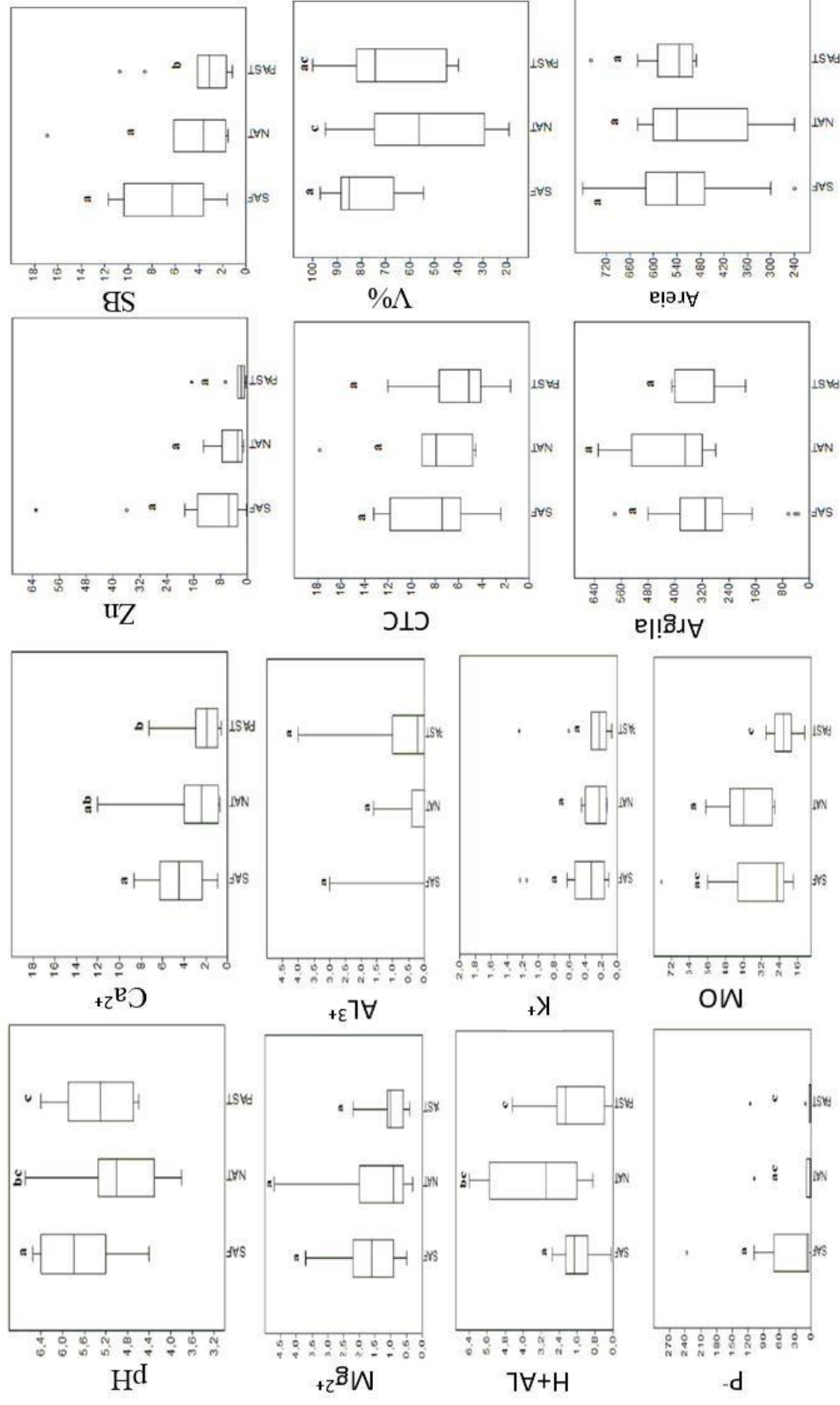


Figura 9. Box-plots das variáveis (pH em H₂O; Ca; Mg; Al; H⁺+Al em cmolc/dm³; K; P e MO, Zn, SB, CTC, V%, argila e areia) que indicam diferenças significativas estatisticamente entre os teores de todos os atributos do solo dos Saf's da ecossistemas naturais e a pastagem, pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (p<0,05).

3.7. Análise de regressão

A primeira função estatística de regressão linear múltipla, utilizou todas as 13 covariáveis (pH em H₂O, fósforo (P⁻), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), areia, argila, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺) em relação a variável dependente matéria orgânica (MO).

Para o cálcio (Ca²⁺), o valor do coeficiente de determinação (R²) de ajuste do modelo foi de 0.53 (p<0,05). O magnésio (Mg²⁺), o valor de R² apresentou ajuste do modelo de 0.53 (p<0,05). As funções da soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica potencial (CTC) apresentaram valores 0.56 (p<0,05) e 0.59 (p<0,05) (Figura 10).

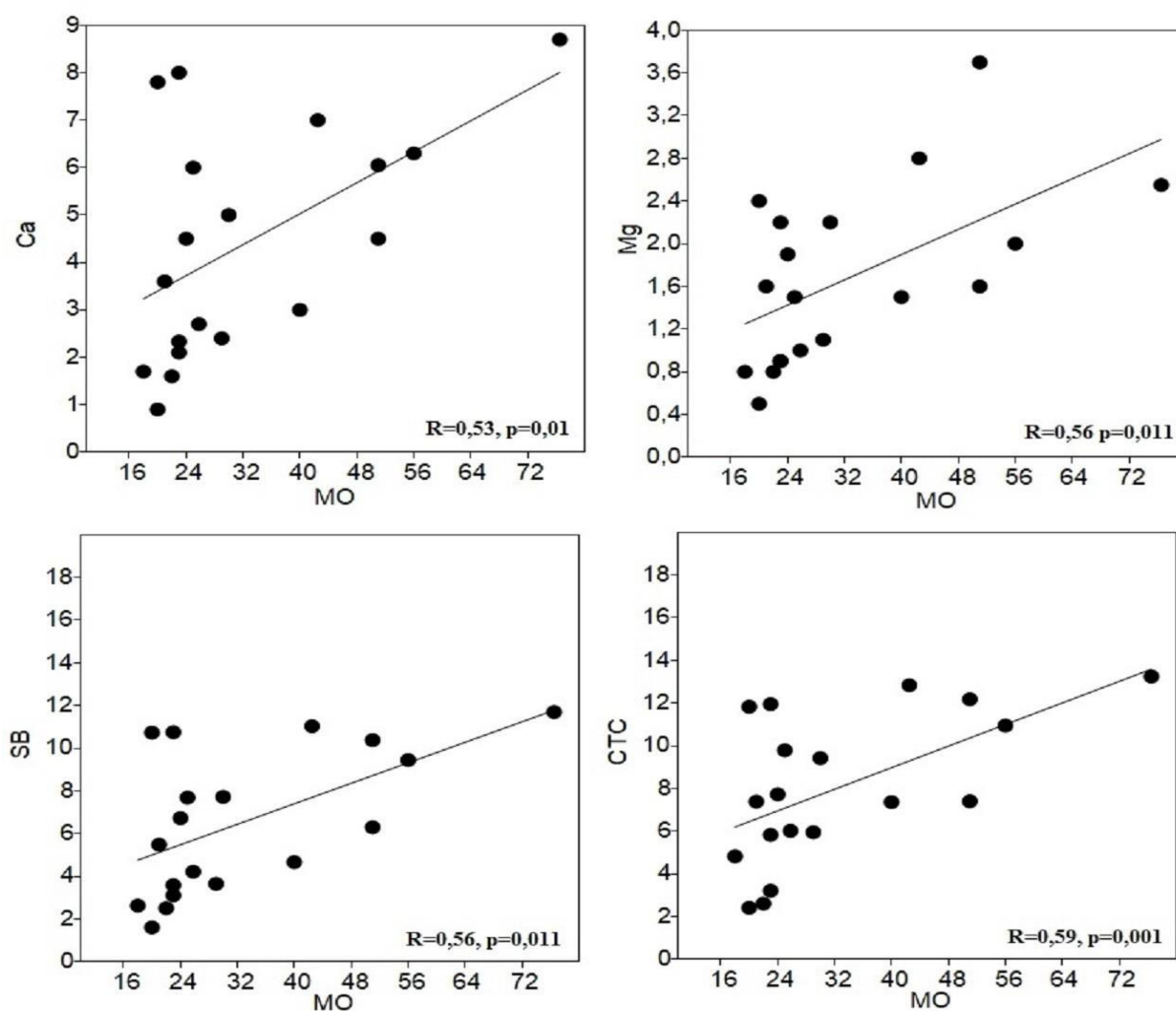


Figura 10. Dispersão entre os valores estimados e observados, para os modelos com melhor R² da validação.

4. DISCUSSÃO

Conforme Ewert *et al.* (2016) todos podem ser descritos como SAFs multiestrata ou agroflorestas, os sistemas de cultivo mais estabelecido em regiões tropicais, que apresentam como principal característica a configuração do dossel em múltiplos andares, ou estratos, como ocorre nos ecossistemas de florestas naturais, onde as plantas tolerantes à sombra ocupam estratos inferiores e, as mais dependentes da incidência direta de luz solar, emergem aos estratos superiores (Figura 11).

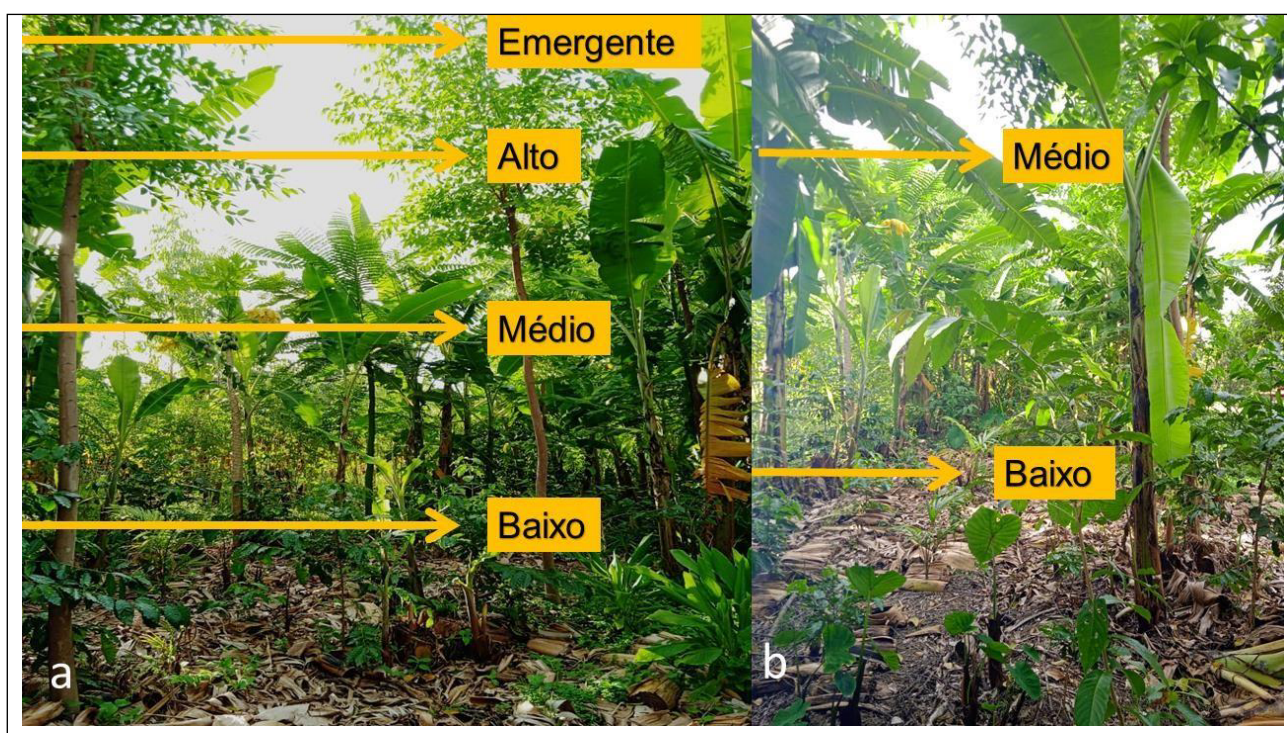


Figura 11. Estratificação vertical de um SAF multiestrata (agrofloresta biodiversa) com dois anos no Cisco da Felicidade em Piracanjuba, Goiás. a – vista externa da agrofloresta, com estrato baixo por culturas agrícolas herbáceas e gramíneas (açafraão), café, citrus. Estrato médio ocupado por culturas como a banana, mamão e amora. Estrato e emergente alto ocupado pela mangueira, goiaba, guapuruvu e Eucalipto. b – vista interna do SAF, com culturas agrícolas ocupando o estrato baixo (inhamé), café e açai. Estrato médio: banana e mamão.

Vários são fatores que influenciam o desenvolvimento de um agroecossistema, adubação, calagem, manejo, as classes de solos, certamente são exemplos, porém, neste estudo observamos que as agroflorestas mais antigas, com idades superiores aos 3 anos, estão correlacionadas com maiores teores de fósforo (P^-), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH e MO (matéria orgânica). Com o aumento da quantidade e qualidade da serrapilheira nas agroflorestas, os resíduos orgânicos são transformados pela ação da microbiota até a matéria orgânica coloidal e amorfa, que compreende as substâncias húmicas, que apresentam de 100 a 1000 vezes mais carga

negativa que a parte mineral do solo, e assim está carga líquida é influenciada pelo pH do solo, que, por sua vez, é influenciado pelo tampão exercido pela matéria orgânica (KERBAUY, 2008).

As substâncias húmicas, representam a maior fonte de cargas negativas, devido ao grau elevado de decomposição dos minerais, os metais alcalinos terrosos são lixiviados, restando como remanescentes os óxidos de ferro e o alumínio quase sem cargas, é assim que a matéria orgânica condiciona a CTC (capacidade de troca de cátions) através da dissociação dos grupos COOH e OH (KERBAUY, 2008).

Estes efeitos positivos nos teores de nutrientes, elevação do pH, como decréscimo nos teores de alumínio (Al^{3+}) e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) nos SAFs, estão ligados a mineralização da matéria orgânica no solo. Esta auxilia no incremento da capacidade de troca catiônica (CTC) e soma de bases, causando assim, maior liberação de cátions e ânions trocáveis que são adsorvidos pelos colóides do solo. Tal explicação deste comportamento foi abordada por Da Ros *et al.* (2017), ao mencionarem que os minerais secundários e as frações da matéria orgânica apresentam-se, normalmente, como colóides, e são os principais responsáveis pela atividade química dos solos.

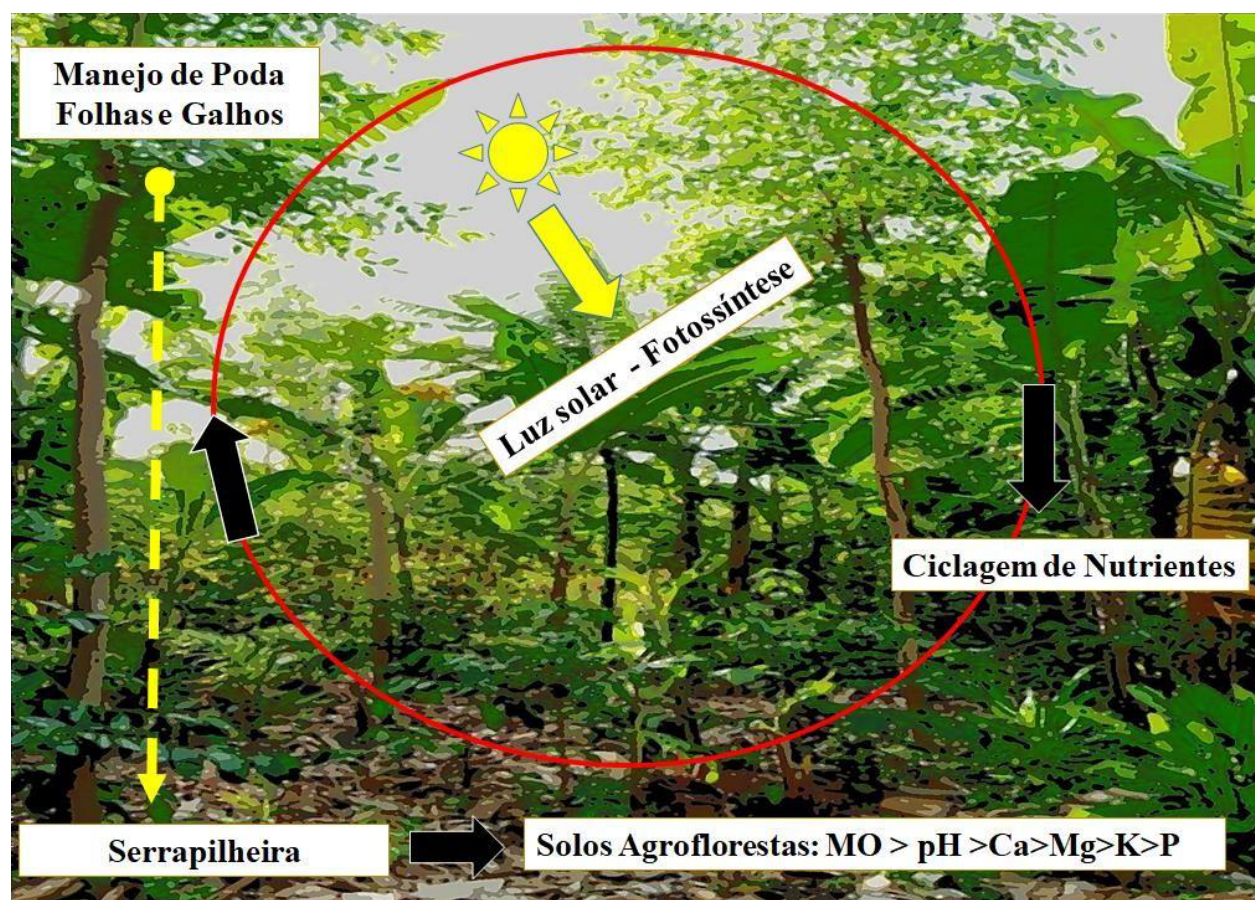


Figura 12. A contínua manutenção da cobertura do solo com matéria orgânica promove a intensificação da ciclagem de nutrientes. Fonte: Autor, 2022.

A ausência de perturbação do solo, cobertura com de material orgânico e o tempo relativamente curto (3 anos) de implantação de agrofloresta resulta no acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo e o acúmulo de nutrientes em superfície, é também, em decorrência da deposição de grande quantidade, de resíduos provenientes da parte aérea das frutíferas, e outras espécies vegetais que são manejadas na poda, nos sistemas agroflorestais (DA SILVA *et al.*, 2011). Por isso é necessária a manutenção da matéria orgânica no solo (Figura 12), pois, além dos benefícios para a estrutura, ela atua na ciclagem dos nutrientes do solo (DA SILVA; PAULETTO; SILVA *et al.*, 2020).

Avaliando os teores dos elementos físico-químicos para a camada superficial dos solos (0-20cm) amostradas nas agroflorestas, ecossistemas naturais e pastagens, pode ser observado que os SAFs apresentaram maiores níveis de fertilidade das áreas avaliadas. Em sistemas agroflorestais de Rondônia, Menezes *et al.* (2008) observaram maiores valores de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} , quando comparados aos solos das vegetações nativas remanescentes adjacentes, atribuídos ao aporte de nutrientes que restaram da queima anterior da floresta.

As condições edáficas são fortemente influenciadas pelo manejo dos SAFs e pela composição e arranjo das espécies inseridas. Os teores de P^- foram considerados altos para os SAF's, sendo que, este mineral é adicionado na solução da adubação orgânica, via rochas fosfatadas moídas (termofosfato). Nas vegetações nativas e nas pastagens apresentaram teores adequados, em função da sua baixa mobilidade no solo (DALCHIAVON *et al.*, 2017).

Em plantio com *Acacia mangium*, em solos degradados Schiavo, Martins & Rodrigues (2009), também encontrou o aumento do P^- disponível em um período de tempo relativamente curto (3 anos), devido a um efeito combinado de ciclagem de nutrientes e fixação reduzido de P resultante de um maior incremento de matéria orgânica.

Os maiores teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) das agroflorestas e da vegetação nativa (ecossistemas naturais), são influenciados diretamente pela deposição da matéria orgânica (MO) na camada superficial do solo (0-20cm), devido a liberação desses nutrientes pela ação de organismos decompositores que usam os restos orgânicos como alimento, também pelo fato da MO aumentar a capacidade de troca catiônica, e conseqüentemente, uma maior adsorção desses nutrientes quando disponíveis no solo (SANTOS, 2018).

Conforme Martins *et al.* (2021) em estudo com estoque de nutrientes na biomassa e no solo em formações florestais no Cerrado, a quantidade e qualidade da serrapilheira é a principal fonte de transferência de nitrogênio (N), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) para o solo, assim como o fósforo (P^-), já que mais de 90% da transferência desse elemento tem origem da mesma fonte.

Os altos teores de nutrientes (as bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) verificados nos solos sob os SAF's e ecossistemas naturais, em relação as pastagens (Figura 9), estão associados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo que este ambiente proporciona, conforme Lima (2008). Além disso, a presença do componente arbóreo nesses sistemas promove maior deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas) que é mineralizado, influenciando as reações químicas no solo e contribuindo para a melhoria dos parâmetros de fertilidade do solo sob SAF e vegetação nativa (CAMPANHA *et al.*, 2007).

Em estudo sobre o estoque de nutrientes na serrapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, De Sousa Carvalho *et al.* (2019) encontrou maiores estoques de nutrientes de cálcio ($176.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), magnésio ($28.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), potássio ($11.9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e fósforo ($3.9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em Área de Preservação Permanente em comparação com Cerrado Sentido Restrito, povoamentos de *Eucalyptus* e *Pinus* *li*. Tais resultados, corroboram os resultados obtidos neste estudo, onde em usos do solo com maior quantidade e qualidade (SAFs e Ecossistemas naturais) de material orgânico sobre o solo apresentam maiores teores de macronutrientes (MO, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P) em relação a formações abertas.

As formações mais abertas, como pastagens, por exemplo, podem sofrer também o processo de fotodecomposição, a partir da queima da matéria orgânica pela luz solar, reduzindo assim os componentes estocados, ou pelo menos modificando o perfil dos componentes a serem estocado (CAMPOS *et al.*, 2008). De acordo com Cavalcante *et al.* (2007), as áreas com maiores teores de matéria orgânica, fósforo, potássio e capacidade de troca de cátions, foram áreas sob diferentes manejos (agroecossistemas), ecossistemas naturais (Cerrado), em relação à áreas cultivadas (pastagens e monoculturas).

Isso se deve ao acúmulo de serrapilheira que ocorre em quantidade mais elevadas nas áreas mais conservadas quando comparado aos outros sistemas. No referido estudo, quando realizado o plantio direto e convencional, os valores de P, K^+ e capacidade de troca catiônica eram maiores, onde os teores de fósforo e potássio aumentam na superfície e diminuem em camadas mais profundas, conforme De Sousa Carvalho *et al.* (2019), e também observado nesse estudo, onde as agroflorestas acumulam maiores teores de nutrientes no solo, em relação aos ecossistemas naturais e pastagens.

O entendimento de como a matéria orgânica (MO) influencia positivamente agroecossistemas agrícolas é chave para modificação da forma de produção agrícola atual. O aumento da MO está diretamente ligado ao estoque nutricional que será disponibilizado para o solo. Os agroecossistemas que se baseiam nessa orientação como pomares, sistemas agroflorestais,

assim como sistemas agrícolas tradicionais como de populações indígenas brasileiras, são agroecossistemas que persistem por muitos anos e melhoram suas características de fertilidade de solo, conciliado a produção agrícola (DE SOUSA CARVALHO *et al.*, 2019).

Em relação à vegetação nativa (ecossistemas naturais), apresentarem teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ inferiores (Tabela 8) comparados aos SAFs, uma vez que o ecossistema natural, um ambiente em equilíbrio, o que está disponível no solo é provável que esteja sendo absorvido pela vegetação sem promover maior disponibilização desses nutrientes para a solução do solo, corroborado por Barreto *et al.* (2006).

A análise de regressão linear (Figura 10) confirmou os resultados apontados pela PCA, mostrando que a matéria orgânica dos SAFs se correlacionam com maiores teores de cálcio (Ca^{2+}), (Mg^{2+}), capacidade de troca de cátions potencial (CTC) e soma de bases (SB). Na prática, significa que os nutrientes inorgânicos uma vez não absorvidos pelas espécies agroflorestais cultivadas, são então devolvidos na forma orgânica através da poda e deposição de biomassa fresca ao redor das espécies agroflorestais (SANTOS *et al.*, 2021).

A maximização da matéria orgânica também pode reduzir as necessidades externas de fósforo. A intensificação das atividades microbianas e da fauna pode aumentar a imobilização do P^- na massa microbiana e, subsequentemente, as taxas de mineralização do P orgânico (GOMES *et al.*, 2000).

Conforme observado por Vieira *et al.* (2006), o fornecimento contínuo da matéria orgânica no solo pelos sistemas agroflorestais, corrobora os resultados obtidos na regressão linear, onde observou-se uma correlação com o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC). Além disso, os autores ainda acrescentam, que esse aporte implica também em melhorias das qualidade físicas (densidade, formação de agregados, macro e microporosidade, retenção de água, proteção contra erosão, etc.), químicas (liberação e ciclagem de nutrientes, redução da lixiviação) e biológicas do solo.

5. CONCLUSÃO

Relacionando a natureza dos componentes, todos os SAFs estudados estão inseridos na categoria de sistemas agrosilviculturais (Agroflorestas biodiversas), todos são combinações do componente arbóreo com culturas agrícolas, sem a criação de animais na mesma área. Quanto as funções dos SAFs, todos foram classificados como multifuncionais, suplementando, além de múltiplos produtos, proteção ao solo e auxiliando na ciclagem de nutrientes com deposição

constante de matéria orgânica.

As agroflorestas com idade superior aos 3 anos apresentando estrutura florestal, com sombreamento da área e também maior quantidade de matéria orgânica com a diversificação da serralhapilheira contribuem com a melhoria da qualidade do solo, garantindo maior proteção à superfície do solo e criando diferentes nichos a serem ocupados pelos organismos edáficos influenciando positivamente na ciclagem de nutrientes. As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P^-), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH e MO.

As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P^-), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH e MO. A vegetação nativa NAT5 (Goianira) apresentou forte correlação com a capacidade de troca de cátions potencial (CTC), porém, os demais ecossistemas nativos apresentaram maior correlação com a acidez potencial. As pastagens demonstraram maior acúmulo de alumínio (Al^{3+}), demonstrada no componente 2, porém, as pastagens PAS2 (Ceres), PAS1 (Ceres) se correlacionam com maiores teores de soma de bases e pH. Os SAFs que se correlacionaram com uma maior acidez potencial, SAF19 (Piracanjuba 1) estabelecido sobre Cambissolo Háptico distrófico e SAF20 (Piracanjuba 2) sobre Neossolo Litólico distrófico.

Os principais atributos que se diferenciaram foram o pH, Ca^{2+} , $H+Al$, K^+ , P^- , MO, Zn e V%. No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs (agroflorestas) para as áreas de ecossistema naturais e pastagens, porém, apresenta bastante variação entre os locais.

Com base nos resultados dos indicadores químicos, pode-se inferir que a elevação da fertilidade do solo nos sistemas agroflorestais em relação ao sistema nativo foi significativa. O fósforo (P^-) foi o nutriente que mais teve variação nos diferentes tipos de cobertura. No caso de um sistema agroflorestal, em que todas as espécies foram plantadas simultaneamente, a estratificação pode representar uma aproximação com o sistema natural, uma vez que a heterogeneidade ambiental é uma característica desejável quando esses sistemas são aplicados para a recuperação de áreas degradadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A. Agroecologia: a ciência do manejo de recursos naturais para agricultores pobres em ambientes marginais. **Agricultura, ecossistemas e meio ambiente**, v. 93, n. 1-3, p. 1-24, 2002.

APOLINÁRIO, V. X. *et al.* Decomposição de frações de leguminosas arbóreas em um sistema silvipastoril. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1356-1363, 2016.

BARRETO, A. C. *et al.* Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, 2006.

CAMPANHA, M. M. *et al.* Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, v. 31, p. 805-812, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1329-1339, 2007.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública - ENAP, 2019.

CRIPPA, M. *et al.* Os sistemas alimentares são responsáveis por um terço das emissões antropogênicas globais de GEE. **Nature Food**, v. 2, n. 3, p. 198-209, 2021.

CROWTHER, T. W. *et al.* A comunidade global do solo e sua influência na biogeoquímica. **Ciência**, v. 365, n. 6455, p. 550, 2019.

DA ROS, C. O. *et al.* Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

DA SILVA, D. C. *et al.* Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

DA SILVA, G. R.; PAULETTO, D.; SILVA, A. R. Dinâmica sazonal de nutrientes e atributos físicos do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 63, 2020.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 756-769, 2017.

DE SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

DE SOUSA CARVALHO, H. C. *et al.* Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil, 2019.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

DOLLINGER, J.; JOSÉ, S. Agrofloresta para a saúde do solo. **Sistemas agroflorestais**, v. 92, n. 2, p. 213-219, 2018.

DONAGEMA, G. K. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

EWERT, M. *et al.* Sistemas agroflorestais multiestrata e legislação ambiental brasileira: desafios e soluções. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, p. 95-114, 2016.

HAMMER, Ø; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HONGYU, K. *et al.* Comparação entre os modelos AMMI e GGE-Biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KUMAR, S.; ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P. Influências agroflorestais e gramíneas nos macroporos medidos por tomografia computadorizada sob sistemas de pastagem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, p. 203-212, 2010.

LEITE, E. M. *et al.* Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.

MARTINS, T. O. *et al.* Estoque acumulado de serrapilheira e nutrientes na biomassa e no solo em formações florestais do Cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 1-8, 2021.

MENEZES, J. M. T. *et al.* Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 893-898, 2008.

MICCOLIS, A. *et al.* Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. **Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza**, 2016.

MINASNY, B. *et al.* Carbono do solo 4 por mil. **Geoderma**, v. 292, p. 59-86, 2017.

MORALES M. 2020. *sciplot*: Scientific Graphing Functions for Factorial Designs. <https://cran.r-project.org/web/packages/sciplot/index.html>. Accessed in 2022.

Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D., 2021. An Introduction to Agroforestry: Four Decades of Scientific Developments, second ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands (in press).

NETO, N. E. C. *et al.* Agroflorestando o mundo de facão a trator. **Petrobrás Ambiental. Barra do Turvo**, 2016.

OKSANEN J, BLANCHET FG, FRIENDLY M, KINDT R, LEGENDRE P, MCGLINN D,

MINCHIN PR, O'HARA RB, SIMPSON GL, SOLYMOS P, STEVENS MHH, SZOECS E, WAGNER H. 2020. *vegan*: Community Ecology Package. <https://github.com/vegandevs/vegan>. Accessed in 2022.

PEREIRA, O., FERREIRA, L., PINTO, F., BAUMGARTEN, L. Assessing pasture degradation in the Brazilian Cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. *Rem. Sens.* 10, 1761. 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10111761>.

PINHEIRO, F. M. *et al.* Estoque e estabilidade de carbono do solo sob silvopastagem de eucalipto e outros sistemas de uso da terra no hotspot de biodiversidade do Cerrado. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 299, p. 113676, 2021.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. **NBL Editora**, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Accessed in 2022.

SANTOS, L. A. C. *et al.* Indicadores socioambientais em sistemas agroflorestais no Cerrado goiano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 54-65, 2021.

SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUES, L. A. Avaliação nutricional de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava de extração de argila. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 701-707, 2009.

SOLOS, E. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.

CAPÍTULO 3

Microbiota micorrízica em solos de sistemas agroflorestais no bioma Cerrado

Resumo

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas agrícola que buscam o equilíbrio entre práticas agrícolas e a conservação da natureza. Os fungos desempenham papel único na natureza, de contribuir nos processos de decomposição da matéria orgânica e facilitar seus componentes nos ciclos biológicos. Para o Cerrado, esses processos ocorrem em maior ou menor intensidade, dependendo da fisionomia da vegetação e grau de conservação da área. Com base nisto, o presente trabalho objetivou analisar a estrutura das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em solos sob sistemas agroflorestais em comparação com ecossistemas naturais e pastagens de modo a contribuir com o conhecimento da estrutura de comunidade destes grupos na restauração ecológica do bioma Cerrado. Foram avaliados a densidade de esporos de FMA em amostras de solo coletadas nestas áreas e suas relações com características físicas e químicas destes solos. O estudo da estrutura de comunidade de fungos micorrízicos arbusculares com base na densidade de esporos permitiu concluir que o total de esporos de FMA foi de 30.087 esporos. Desse total, 11.115 em ecossistemas naturais, em pastagem 9.531 e 9.441 em sistemas agroflorestais. Ainda, características edáficas são importantes direcionadores da densidade de FMA nestas áreas e características químicas (Al^{3+} trocável, $H^+ + Al^{3+}$ e V%) do solo são fatores que afetam a densidade de FMA em solos sob sistemas agroflorestais, ecossistemas naturais e pastagens.

Abstract

Agroforestry systems (AFS) are agricultural systems that seek a balance between agricultural practices and nature conservation. Fungi play a unique role in nature, contributing to the decomposition of organic matter and facilitating biological cycles. For the Cerrado, these processes occur in greater or greater intensity, in the area of vegetation preservation and degree of conservation of the area. Based on the present work, the present work analyzes the structure of communities of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in parallel agroforestry systems with natural and past ecological objectives in order to contribute to the knowledge of the community structure of these two in the Cerrado biome. A density of AMF collection and soil collection in these areas and their characteristics of soil collection characteristics and characteristics were obtained. The study of the structure of mycorrhizal base structures was designed based on spore density with emphasis on fungi and on the spore base of 30.087 spores. Of this total, 1.115 in natural ecosystems, 9.531 in pasture and 9.441 in agroforestry systems. The characteristics, important characteristics, are important, are those that are important for agroforestry systems and natural characteristics, but they are also important for agroforestry systems.

1. INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos no solo associam-se as raízes de plantas vivas de forma simbiótica realizando transferências de água e nutrientes entre os simbioses (BRUNDRETT *et al.*, 2017). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) facilitam o desenvolvimento de espécies vegetais, aumentando a absorção de nutrientes, especialmente nutrientes limitantes como o fósforo (P) e a absorção de água (SMITH & READ, 2008; CALAÇA & BUSTAMANTE, 2022 in press). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são biotróficos obrigatórios, ou seja, dependem do seu hospedeiro vivo (HARLEY & SMITH, 1983).

Os FMA auxiliam nos processos de absorção de nutrientes das plantas, principalmente nutrientes que estão em baixos níveis nos solos (CHEN *et al.*, 2018), e contribuem para a formação e estabilidade dos agregados do solo, através de sua produção de micélio e glomalina, restabelecendo assim o solo estrutura (BARBOSA *et al.*, 2019). Os FMA contribuem para a eficiência no processo de ciclagem de nutrientes, desenvolvimento e sucessão de plantas, melhorando o estabelecimento de espécies vegetais em estágios sucessórios intermediários e avançados e a recuperação da cobertura vegetal no estágio clímax (AKER *et al.*, 2022).

São considerados como o tipo de fungo micorrízico mais comum, podendo ser encontrados em simbiose com aproximadamente 72% de todas as plantas vasculares (BRUNDRETT *et al.*, 2017). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são cosmopolitas, ocorrem em uma variedade de ecossistemas e fornecem uma ampla gama de benefícios aos seus hospedeiros vegetais em troca de produtos fotossintéticos (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015). Os FMAs são classificados taxonomicamente como pertencentes ao filo Glomeromycota, que atualmente possui 3 classes e 5 ordens 16 famílias, 42 gêneros e 305 espécies (TEDERSOO *et al.*, 2018).

Atualmente, na agricultura, os fungos vem sendo redescobertos, com sua utilização para potenciais implicações no aumento da produção agrícola, seja como controle biológico seja como fungos para associações benéficas (especificamente micorrizas). Os efeitos benéficos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no desempenho das plantas e na saúde do solo são essenciais para a gestão sustentável dos recursos agrícolas tendo papel fundamental na agroecologia (BERUDE *et al.*, 2015). Segundo Costa *et al.* (2013) a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) como forma de cultivo favorece o aumento do número de esporos de FMAs no solo.

Os sistemas agroflorestais permitem diversificação de espécies que aumenta a produção agrícola, ao mesmo tempo em que oferece outros benefícios econômicos, sociais e benefícios

ambientais para os agricultores (ALTIERI, 2012; JOSE, 2009). Além disso, poderiam contribuir para a restauração de áreas tropicais degradadas ecossistemas terrestres (MICCOLIS *et al.*, 2016; DOS SANTOS *et al.*, 2019).

Sistemas agroflorestais que combinam a produção de madeira e alimentos juntamente com a regeneração da comunidade, são conhecidos como sistemas agroflorestais sucessionais, uma vez que tentam simular o ambiente florestal, em termos de diversidade, estrutura e dinâmica sucessional (YOUNG, 2017).

Os SAFs no bioma Cerrado, mesmo que inicialmente simulam as vegetações nativas, em especial os ambientes florestais. Nesses ambientes, espécies nativas e exóticas, de diferentes estratos vegetais, se desenvolvem e interagem diferentemente umas com a outra e com o solo (DE CARVALHO *et al.* 2010; VALADARES-PEREIRA *et al.*, 2017).

No entanto, poucos estudos investigaram comunidades de fungos micorrízicos em ambientes naturais do Cerrado e sua variação ao longo do gradiente de vegetação. Devido à sua alta riqueza de espécies, alto nível de endemismo e rápida perda de habitats devido às mudanças de uso da terra, especialmente a conversão para uso agrícola, o Cerrado é considerado um hotspot para conservação da biodiversidade (Strassburg *et al.*, 2017).

Os microorganismos no solo estão em constante interação com as raízes das plantas, em uma região denominada rizosfera. Está atividade microbiana em solos tropicais possui duas características apresentadas como os maiores benefícios dos microorganismos no desenvolvimento vegetal, a fixação biológica de nitrogênio e a formação de micorrizas são elas (CHAGNON *et al.*, 2013).

Nesta dinâmica, grande quantidade de resíduo vegetal é depositado naturalmente (queda) e artificialmente (poda) no sistema, visando o incremento nutricional via ciclagem de nutrientes. Pensando nesta ciclagem, os fungos têm papel de destaque, sendo os principais cicladores na natureza. Porém, até o presente momento não são conhecidos os fungos presentes em SAFs do Cerrado (SANTOS *et al.*, 2021).

Em um trabalho com decomposição de tocos antigos de eucaliptos, Manzato *et al.*, (2020) na região de Lençóis Paulistas situado parcialmente no Cerrado, encontraram os gêneros *Coprinus*, *Ganoderma*. *Coprinus* e *Galerina* em abundância atuando como decompositor nessas plantações. Já os fungos micorrízicos são encontrados em abundância em sistemas agroflorestais, porém a maioria dos estudos são realizados em outros biomas como Amazônia e Mata Atlântica (SILVA JUNIOR & CARDOSO, 2006; NUNES *et al.*, 2019). É necessário entender os recursos do solo

como um sistema vivo dinâmico que emerge do equilíbrio e interação entre componentes biológicos, químicos e físicos do solo (PAZ-FERREIRO & FU, 2016).

Com base nisto, o presente trabalho objetivou analisar a estrutura das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em solos sob sistemas agroflorestais em comparação com ecossistemas florestais e pastagens, de modo a contribuir com o conhecimento da estrutura de comunidade destes grupos como indicadores para a restauração ecológica do bioma Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas de estudo

As áreas de estudo compreenderam quatro sistemas agroflorestais biodiversos (agroflorestas) no bioma Cerrado no Brasil Central. Sendo a primeira agrofloresta situada em uma propriedade de produção de alimentos orgânicos, denominada por Sítio Dirindele (Floresta orgânicos), situado na Rodovia GO-219, km 07, Zona rural, no município de Hidrolândia (GO), entre as coordenadas geográficas (Latitude - 695072.00 m E / Longitude - 8118970.00 m S).

A segunda agrofloresta localiza-se no IF Goiano – Campus Avançado Hidrolândia, situado na Estrada São Brás, km 04, Zona Rural, no município de Hidrolândia (GO), entre as coordenadas geográficas (Latitude - 691598.00 m E / Longitude - 8117980.00 m S).

Os outros dois sistemas agroflorestais biodiversos (agroflorestas) localizam-se no sítio Cisco da Felicidade, situado na Rodovia BR-153/GO, Km 547, Zona Rural, no município de Piracanjuba (GO), entre as coordenadas geográficas (Latitude - 690271.00 m E / Longitude - 8107134.00 m S) (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima de Hidrolândia (GO) caracteriza-se como tropical Aw (quente e semi-úmido, com estação seca bem definida nos meses de maio a outubro). A altitude média é de 814 m, sendo a temperatura média anual de 22,8°C e pluviosidade média de 1.411 mm.ano⁻¹ (SEMENSATO *et al.*, 2020).

O clima do município de Piracanjuba (GO) é considerado tropical de altitude, com regime de chuvas de aproximadamente 1.360 milímetros por ano, sendo o período de maio a setembro o da estação seca, e o chuvoso entre outubro e abril. nos meses de maio a julho são registradas as temperaturas mais baixas do ano (CARDOSO *et al.*, 2011). De modo geral, o clima do Cerrado é fortemente sazonal e a estação seca ocorre entre maio a setembro e a chuvosa de outubro a abril (FELFILI *et al.*, 1994). De acordo com Ribeiro & Walter (1998), a pluviosidade média anual no Cerrado é de cerca de 1300 a 1600 mm.

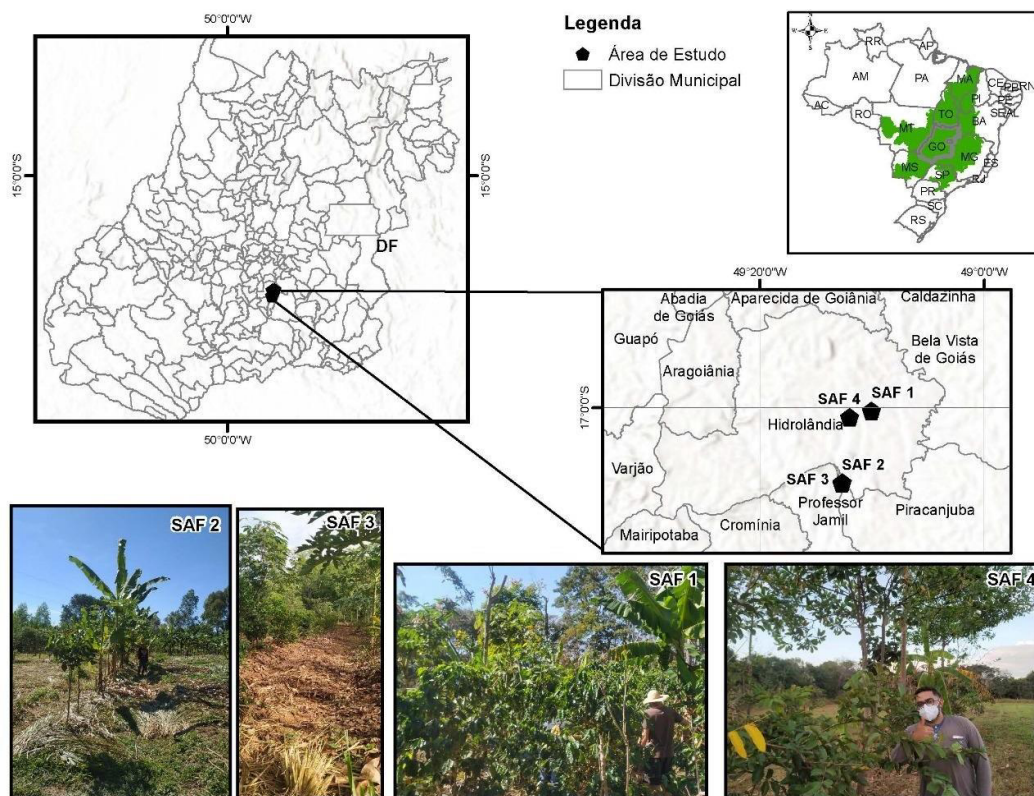


Figura 13. Localização das áreas de estudo no Bioma Cerrado (em verde no mapa), no Estado de Goiás, Brasil. Os destaques mostram os sistemas agroflorestais biodiversos em estudo (SAF), onde SAF 1 e SAF 4 localizam-se no município de Hidrolândia (GO) e o SAF 2 e SAF 3 em Piracanjuba (GO).

As áreas de estudo localizadas em Hidrolândia (GO), ocorrem em solos ácidos e álicos classificados como Latossolos, que correspondem a cerca de 45% dos solos do bioma (REATTO; CORREIA; SPERA, 1998). A fitofisionomia do bioma Cerrado que compõem o entorno dessas áreas, compreende uma formação com estrutura florestal (cerradão), a qual apresenta cobertura vegetal maior que no cerrado típico, entre 50 a 90%, com altura média entre oito a 15 m, apresentando estrato herbáceo arbustivo pouco expressivo e indivíduos arbóreos eretos (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Nas agroflorestas estudadas em Piracanjuba (GO), os solos são distintos, sendo que, a primeira agrofloresta está estabelecida sobre um Neossolo litólico e a segunda está em desenvolvimento sobre um Cambissolo háplico, de acordo com a classificação brasileira de solos (SOLOS, 2013). A fitofisionomia predominante no entorno dessas duas agroflorestas, é classificada como mata ciliar, que diferencia-se pela estrutura, em geral, mais densa e mais alta, devido principalmente à associação com cursos d'água (RIBEIRO & WALTER, 1998). As matas ciliares, em geral, ocorrem em terrenos acidentados, não havendo uma transição evidente para

outras fisionomias florestais como as matas decíduas, semidecíduas e o cerradão (BARBOSA, 2000).

As principais práticas de manejo que foram realizadas nesses SAFs foram: roçagem, capina seletiva, desbaste e poda. Onde, a roçagem é o corte de plantas adubadeiras como capins e margaridão. Sendo realizada por máquinas ou manualmente. A capina seletiva é a prática do arranquio ou corte de plantas herbáceas como capins e outras que se desenvolvem próximas às mudas de árvores, de maneira seletiva, deixando as plantas que permanecerão na área. O desbaste foi realizado quando as copas das árvores que ocupam o mesmo estrato estão sobrepostas e há concorrência por luz. Por fim, a principal prática de manejo realizada nos quatro diferentes sistemas agroflorestais biodiversos foi a poda. As podas desempenharam papel importante nos SAF's mantendo a entrada de luz e o desenvolvimento de plantas em diferentes estratos. Como também, a ciclagem de nutrientes e melhoria na estrutura do solo.

Os sistemas de irrigação utilizados pelos os agricultores nos pesquisados foram o gotejamento e a microaspersão. A microaspersão foi utilizada nos SAF's 1, 2 e 3 em função da demanda de umidade no solo e nas folhas de espécies de hortaliças, como também pegamento das mudas de espécies arbóreas. O gotejamento foi utilizado no SAF3 em linhas de plantio de espécies arbóreas. No SAF4 não foram utilizadas as práticas de irrigação.

A viabilização de práticas de irrigação eficientes associadas ao manejo da cobertura do solo em Agroflorestas e monitoramento da umidade do solo durante o ciclo das culturas, considerando suas exigências hídricas, são fundamentais para obtenção de maior retenção de umidade do solo e uso eficiente da água das chuvas e de irrigação e, conseqüentemente, uma maior conservação dos recursos hídricos (BUENO *et al.*, 2020). Do ponto de vista econômico, busca-se maximizar o rendimento considerando todos os custos e a resposta da cultura à irrigação aplicada (HAN *et al.*, 2021).

Tabela 9. Informações do sistemas agroflorestais no Estado de Goiás.

SAF'S	Idade	Tipo de solo	Irrigação	Ecossistema Natural
1	5	Latossolo vermelho	Microaspersão	Cerradão
2	2	Cambissolo háplico	Microaspersão	Mata Ciliar
3	3	Neossolo litólico	Microaspersão/Gotejamento	Mata Ciliar
4	3	Latossolo vermelho	Sem irrigação	Cerradão

2.2. Amostragem e análises dos solos

As coletas foram realizadas em toda a área em zigue-zague, a cada 10 metros, totalizando 100 sub amostras por área, as quais foram utilizadas para formar 10 amostra composta por área após o peneiramento do solo, utilizando-se peneiras de malha metálica de 2 mm para remoção de resíduos (raízes, folhas, pedregulhos, etc.). No total, foram obtidas 10 amostras compostas por sistema agrofloresta, 10 para controle (5 – ecossistemas naturais e 5 – pastagem), totalizando 80 amostras. Uma parte destas foi separada para extração dos esporos, enquanto o restante foi reservado para análises físico químicas (pH, textura do solo, matéria orgânica, nutrientes, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e soma de bases).

Será utilizado o método de densidade de esporos para quantificar e categorizar as micorrizas de cada local (Adaptado de ALEIXO; KASCHUK; ALBERTON, 2014). As análises do solo foram conduzidas em Laboratório, utilizando-se métodos padrões para análises de solo (CLAESSEN, 1997).

2.3. Extração de glomerosporos de fungos micorrízicos arbusculares

Amostras compostas de solo foram secas ao ar e utilizadas para a recuperação dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares utilizando-se o método proposto por Gerdemann & Nicolson (1963). Brevemente, 50 g das amostras compostas de solo foram pesadas em béqueres de plástico e, posteriormente, foram submetidas ao processo de peneiramento úmido.

Neste método, uma solução de cada amostra de solo, em 1L de água, é passada sucessivas vezes em um conjunto de peneiras com tamanhos de 250 mm, 100 mm, 0.42 mm e 0.053 mm. O material retido na peneira de menor malha, foi submetido a duas etapas de centrifugação com água (3000 rpm, 4 minutos) e solução de sacarose (3000 rpm, 1 minuto) a 50 % (g/L⁻¹), conforme método proposto por Jenkins (1964). Os esporos extraídos foram contados, com auxílio de microscópio estereoscópico e placa canaletada.

Após a contagem, os esporos foram acondicionados em tubos com água destilada para posterior identificação, sendo que uma alíquota (10 mL) da solução de esporos foi utilizada para a identificação taxonômica das espécies. Amostras de esporos de cada área foram montadas em lâminas permanentes, utilizando-se PVLG (*polyvinyl alcohol lactoglycerol*) e PVLG + reagente de Melzer (1:1 v/v). As lâminas foram observadas em microscópio óptico e os esporos identificados seguindo-se Oehl *et al.* (2011). Os esporos foram apenas morfotipados para uma avaliação geral, mas não foi comparado entre as áreas.

2.3. Análise estatística

A normalidade dos dados foi checada por meio do teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0.05$). Como o conjunto de dados não apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, mesmo após a realização das transformações disponíveis, não sendo possível a aplicação de análises paramétricas.

Dessa forma, empregaram-se modelos lineares generalizados (função glm) da família Poisson e teste Tukey, para a comparação da densidade de esporos entre os diferentes uso do solo (SAF, Pastagem, Ecossistema naturais). A influência dos parâmetros do solo sobre a densidade de esporos, foi avaliada por meio de análises de componentes principais (PCA), de forma a sumarizar a variância dos parâmetros edáficos e ordenar os dados que direcionam cada uso do solo (SAF, Pastagem, Ecossistemas naturais) (PALIY & SHANKAR, 2016).

Para a construção do diagrama, foram utilizadas as densidades de esporos (em 50g^{-1} de solo) de cada área, para verificar a correspondência com parâmetros químicos e de textura do solo (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $\text{H}^{+}+\text{Al}^{3+}$, CTC, P^{-} , K^{+} , Na, S, B, Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), matéria orgânica (MO), Saturação por alumínio (M), soma de bases, argila, silte e areia com os padrões emergentes da PCA. Para estas análises, utilizou-se o ambiente estatístico PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

Análises de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) foram executadas entre os parâmetros do solo, vegetação e a densidade de esporos, com o objetivo de verificar possíveis relações entre estas variáveis e a ocorrência de AMF.

3. RESULTADOS

3.1. Densidade de esporos de FMA

A densidade total de esporos de FMA foi de 30.087 esporos. Desse total, 11.115 em ecossistemas naturais, em pastagem 9.531 e 9.441 em sistemas agroflorestais (Material Suplementar, Tabela S1). A densidade de esporos (em 50g^{-1} de solo) diferiu entre os usos do solo (Material Suplementar, Tabela S2 e S3), exibindo um aumento ao longo do gradiente vegetacional (Cerradão e Mata Ciliar) em relação, a pastagem e aos Sistemas Agroflorestais biodiversos – SAF's ($p < 0.001$) (Figura 13).

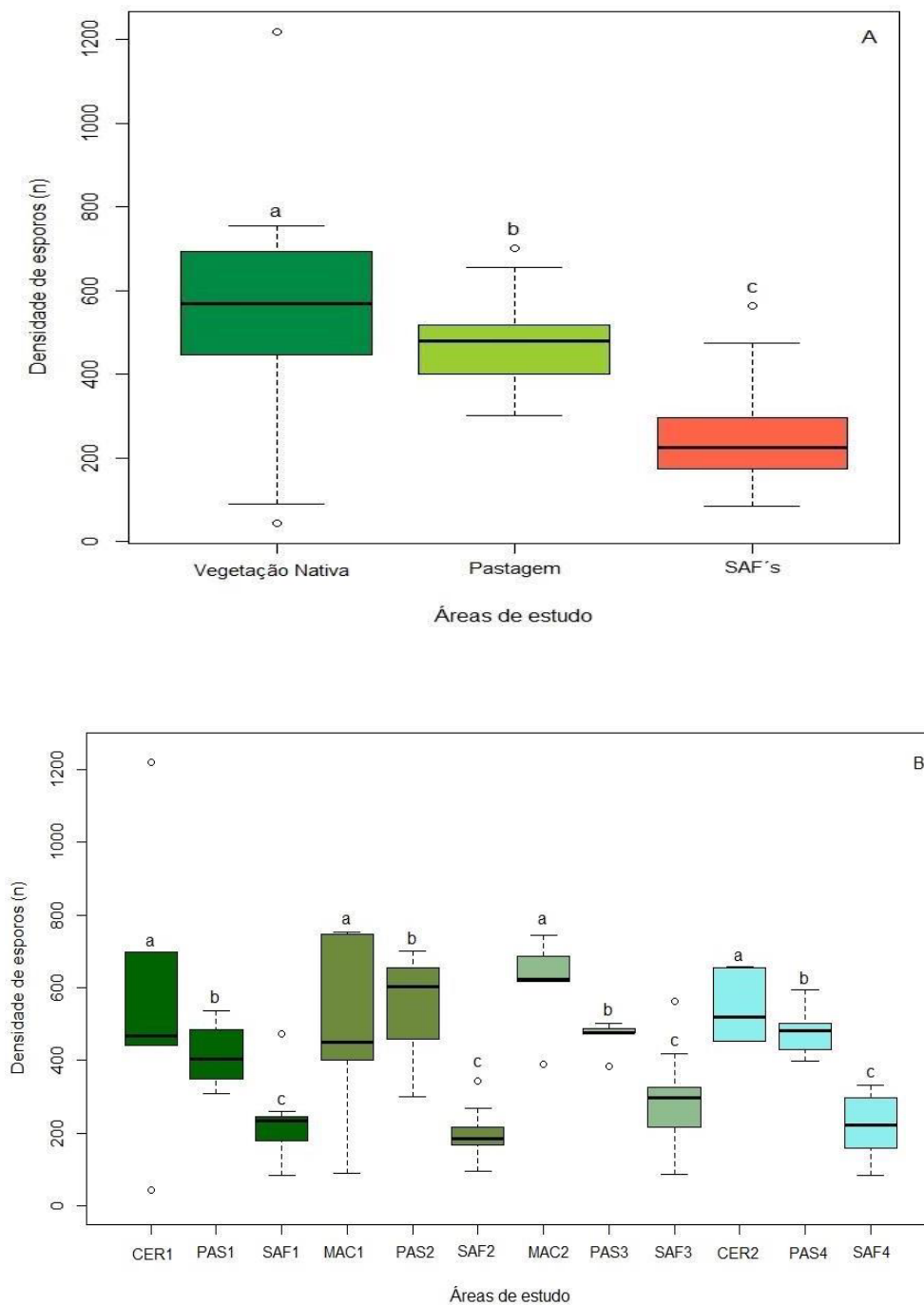


Tabela 10. Variação na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA, 50g⁻¹ solo) ao longo dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (Agroflorestas), Pastagens e Ecossistema naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no Estado de Goiás. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0.05) após o teste pairwise t-test após ANOVA. (CER – Cerradão; PAS – Pastagem; MAC – Mata Ciliar; SAF – Sistema Agroflorestal Biodiverso).

A mata ciliar 2 apresentou diferença na densidade entre todas as áreas, com maior densidade média (613 esporos em 50g de solo) ($p < 0.0019$). O cerradão 1 apresentou diferença entre a densidade média (574 esporos em 50g de solo) ($p < 0.0083$), seguido por cerradão 2 com densidade média (548 esporos em 50g de solo) ($p < 0.0209$). A pastagem 2 apresentou diferença significativa com densidade média (548 esporos em 50g de solo) ($p < 0.0239$) (Figura 1b). Tabela com as densidade média de esporos de FMA, pode ser observada no material suplementar – Tabela S5.

3.2. Relação entre a densidade de esporos de FMA com parâmetros edáficos

A ordenação dos parâmetros físico químicos do solo por meio da análise de componentes principais mostrou um separação em função dos diferentes usos do solo (AFS – sistemas agroflorestais; ecossistemas naturais – Cerradão e Mata Ciliar; Pastagem). Os dois primeiros componentes da ordenação explicaram, juntos, 54,5% da variância dos dados, sendo 32,4% no eixo I e 22,4% no eixo II (Figura 2).

A densidade de esporos se agrupou com o ferro (Fe^{2+}), saturação por alumínio (M%), acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), com a ordenação da Mata Ciliar 1, Cerradão 1 e 2 direcionados no PC2. Pastagem 1 e 4 com SAF 4 foram fortemente pela porcentagem de silte e argila. Mata Ciliar 2 foi direcionada pela CTC, porcentagem de areia, Boro, Matéria Orgânica, Mn^{2+} e Cu^{2+} . As pastagens 2 e 3 foram direcionadas para o P^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ . Finalmente, os sistemas agroflorestais SAF1, SAF2 e SAF3 foram direcionados pelo, pH, soma de bases e Na. A correlação entre cada variável analisada para cada componente está relacionada na Tabela S6 (Material Suplementar).

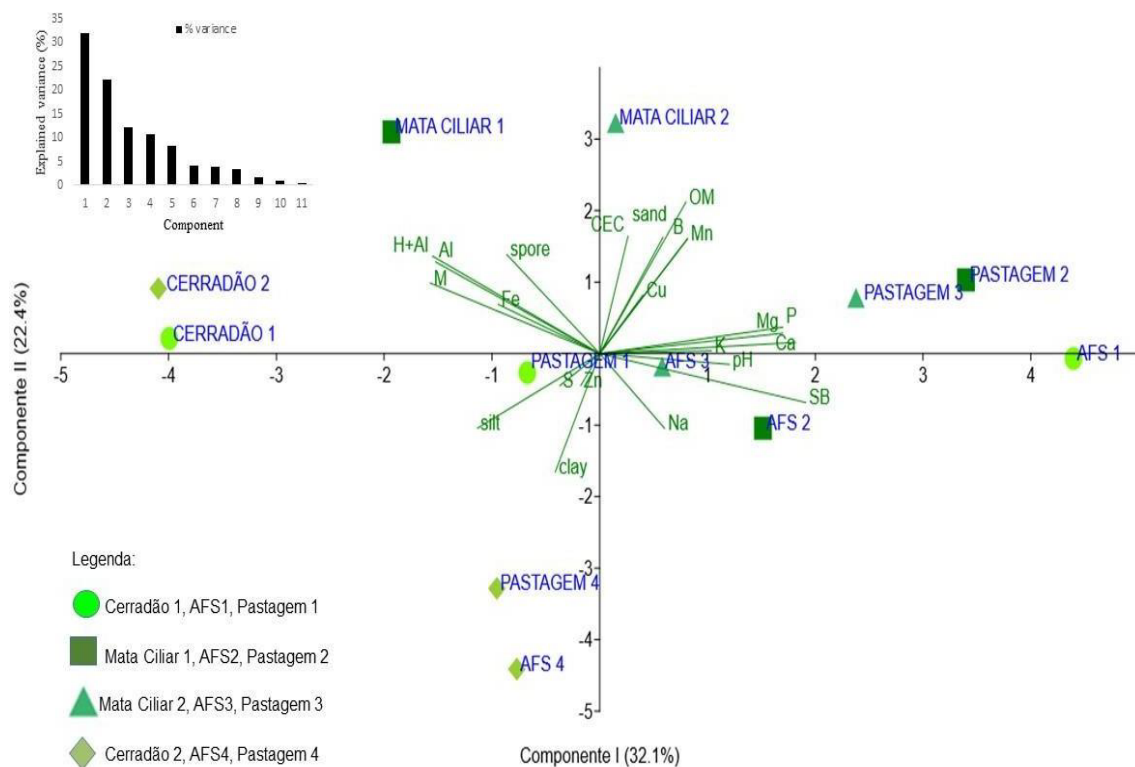


Tabela 11. Análise de componente principais (PCA) realizada entre a densidade de esporos e os parâmetros físico-químico do solo, após o teste de autocorrelação entre os parâmetros, em diferentes usos do solo (AFS – sistemas agroflorestais; ecossistemas naturais – Cerradão e Mata Ciliar; Pastagem). O histograma mostra as porcentagens da variância explicada por cada componente principal.

3.3. Correlação entre a densidade de esporos de FMA com parâmetros edáficos e da vegetação

A densidade média total de esporos de FMA para as diferentes usos do solo, mostrou uma correlação positiva ($r = 0.590$, $p < 0.05$ e $r = 0.700$, $p < 0.001$), para a concentração de Al^{3+} e com a $H^+ + Al^{3+}$ no solo. A saturação de bases por bases, mostrou uma correlação negativa ($-0,570$, $p < 0.05$) com a densidade média total. A saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e areia mostrou também correlação positiva com a densidade média total de esporos de FMA. Porém, não apresentaram valores p -valor superior a 0.05.

Tabela 2. Relação entre parâmetros do solo e a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (agroflorestas), pastagem e ecossistemas naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no estado de Goiás.

	r (Pearson)	p-valor
Al ³⁺	0.590	<0.001
H ⁺ +Al ³⁺	0.700	<0.001
Saturação por alumínio (M%)	0.540	0.060
Capacidade de troca catiônica	0.400	0.196
Matéria Orgânica	0.320	0.305
Areia	0.260	0.418
Saturação por bases	-0.570	0.052
Ph	-0,540	0.069
Mg ²⁺	-0.370	0.241
Ca ²⁺	-0.340	0.272
Argila	-0.330	0.298
S (enxofre)	-0.230	0.474
P (fósforo)	-0.200	0.525

3.4. Espécies esporos de FMA

Foram identificadas algumas espécies/gêneros de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) recuperados por meio de peneiramento úmido de amostras compostas dos solos dos sistemas agroflorestais, dos ecossistemas naturais e pastagens. Foram identificadas as espécies/gêneros *Acaulospora mellea* (SAF3 – Cisco da Felicidade 2), *Acaulospora* cf. *scrobiculata* (SAF4 – SAFex/Ifgoiano), *Scutellospora* sp. 1 (SAF1 – Sítio Dirindele), *Glomus* sp.1 (PAST1 – Sítio Dirindele), *Acaulospora* sp. 1(SAF3 – Cisco da Felicidade 2), *Rhizoglomus* sp. (PAST 4 – SAFex/Ifgoiano), *Gigaspora* sp. (PAST 2 – Cisco da Felicidade 1), *Glomus* sp. 2 (NAT2 – Cisco da Felicidade 1), *Acaulospora* sp. 2 (NAT4 – SAFex/Ifgoiano), *Glomus macrocarpum* (NAT4 – SAFex/Ifgoiano), Indeterminado 1 (NAT3 - Cisco da Felicidade 2) e Indeterminado 2 (PAST1 – Sítio Dirindele) (Figura 14).

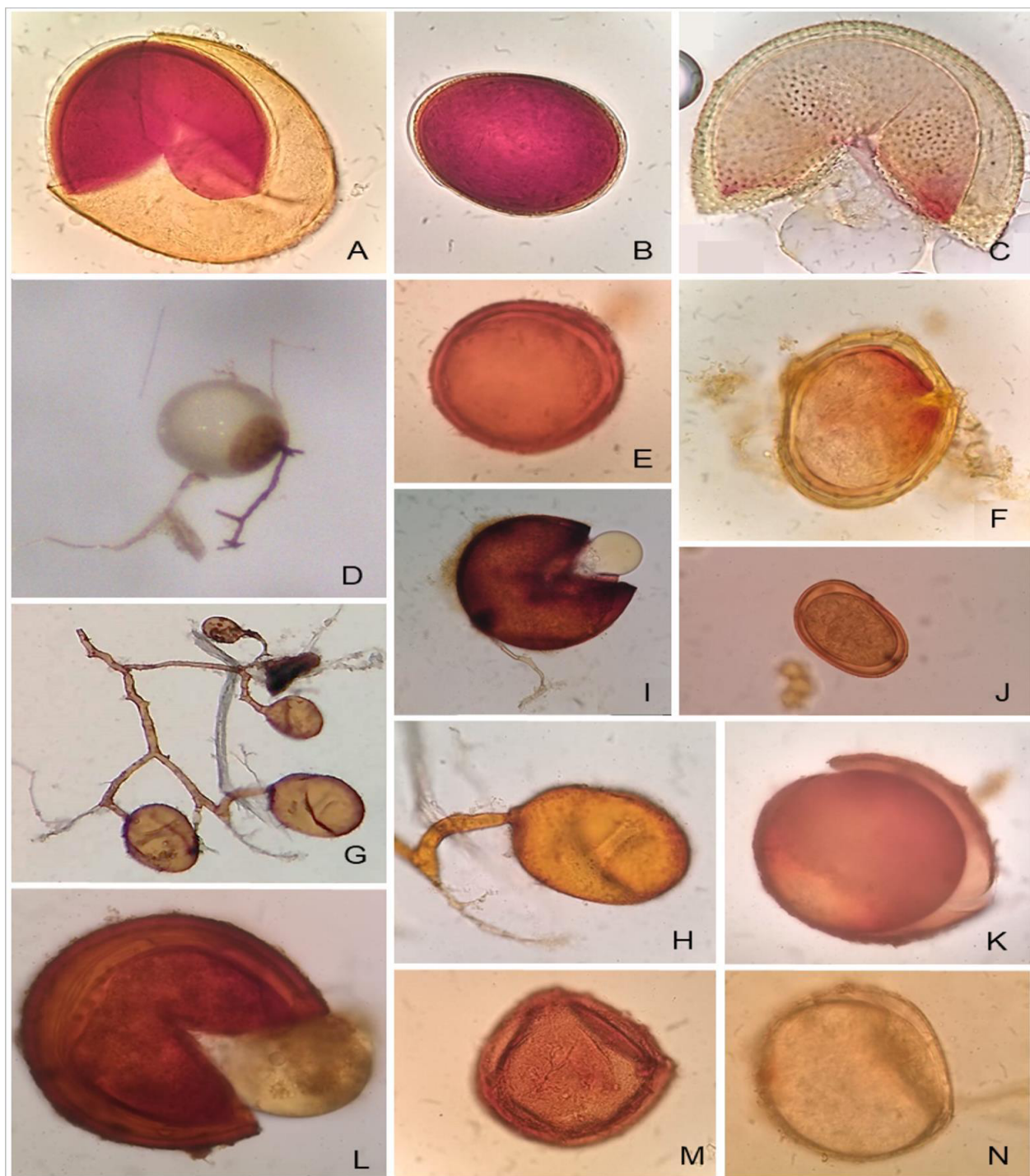


Figura 14. Esporos de algumas espécies/gêneros de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) recuperados por meio de peneiramento úmido de amostras compostas de solos dos sistemas agroflorestais, ecossistemas naturais (florestais) e pastagens. A-B: *Acaulospora mellea* (SAF3 - Cisco da Felicidade 2). C: *Acaulospora* cf. *scrobiculata* (SAF4 - SAFex/Ifgoiano). D: *Scutellospora* sp. 1 (SAF1 - Sítio Dirindele). E: *Glomus* sp.1 (PAST1 - Sítio Dirindele). F: *Acaulospora* sp. 1(SAF3 - Cisco da Felicidade 2) G-H: *Rhizoglomus* sp. (PAST 4 - SAFex/Ifgoiano). I: *Gigaspora* sp. (PAST 2 - Cisco da Felicidade 1). J: *Glomus* sp. 2(NAT2 - Cisco da Felicidade 1). K: *Acaulospora* sp. 2 (NAT4 - SAFex/Ifgoiano). L: *Glomus macrocarpum* (NAT4 - SAFex/Ifgoiano). M: Indeterminado 1 (NAT3 - Cisco da Felicidade 2). N: Indeterminado 2 (PAST1 - Sítio Dirindele).

4. DISCUSSÃO

Neste estudo, o principal objetivo foi a avaliar as densidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no solos de sistemas agroflorestais biodiversos, ecossistemas naturais (Cerradão e Mata Ciliar) e pastagem e a relações entre parâmetros físico-químicos do solo. A densidade total de esporos de FMA foi de 30.087 esporos. Desse total, 11.115 em ecossistemas naturais, em pastagem 9.531 e 9.441 em sistemas agroflorestais.

Referindo-se aos FMA, utilizou-se análise direta das amostras do solo, sem utilização de culturas armadilhas, mostrando a real diferença entre as áreas quanto à composição de microbiota. Estudo prévios sobre a ocorrência de fungos micorrízicos em solos de Cerrado, estão concentrados principalmente nos efeitos destas interações simbiótica entre os sistemas agrícolas, visando o efeito destes fungos na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, no crescimento vegetal (MIRANDA, 2008; SIQUEIRA *et al.*, 2010).

Em estudo sobre FMAs em um latossolo vermelho sob manejos e usos no Cerrado, Ferreira *et al.* (2012), encontrou maior densidade e ocorrência de espécies nas pastagens, com 414 esporos (indivíduos) e 11 espécies, valores abaixo dos observados para pastagem nesse estudo, que apresentou 9.531 esporos.

Conforme Sieverding (1991) as diferenças observadas na quantidade e riqueza de espécies das comunidades de FMA, quando se comparam ecossistemas naturais com agrossistemas, são principalmente em decorrência da diminuição na diversidade de plantas e de alterações promovidas pelo manejo no ambiente edáfico. Segundo Sieverding (1990), em agroecossistemas com manejo intensivo ocorre redução da esporulação dos FMAs, quando comparados com ecossistemas naturais. Esse fato já foi observado por Carneiro *et al.* (2009) e Miranda (2008) em estudos realizados no bioma Cerrado submetido a diferentes intensidades de manejo e uso do solo. Práticas intensivas, como monocultura, mudança de uso do solo e desmatamento, impactam as comunidades de FMAs (DOUDS & MILLNER, 1999).

Ainda conforme é explicado por Miranda *et al.* (2005) a eficiência simbiótica é a capacidade do fungo promover crescimento, ou outro benefício à planta. Muitas vezes esta eficiência está relacionada com a capacidade de infecção e disseminação da associação micorrízica, bem com com o potencial de inóculo natural do solo. O potencial de inóculo natural no solo. O potencial de inóculo natural depende da quantidade de esporos, micélio e raízes colonizadas presentes no solo. Os constantes ciclos de preparo, plantio e colheita nos solos cultivados os mantêm em permanente desequilíbrio, o que induz os FMA a produção frequente de

propágulos como garantia de sobrevivência, de modo geral, observa-se maior número de esporos e colonização radicular em áreas cultivadas quando comparadas com solos sob vegetação natural.

Avaliando resultados obtidos em 28 estudos de ocorrência de FMA em ecossistemas brasileiros, Stumer & Siqueira (2006) constataram a ocorrência de 79 espécies em agroecossistemas e 49 nos solos sob floresta. Entretanto, quando foi avaliado o número de espécies por estudo, os agrossistemas apresentaram de 9 a 25 espécies, enquanto a floresta apresentou de 13 a 22 espécies. Vários estudos mostram que ocorre mudança no padrão de ocorrência dos FMA com a alteração dos ecossistemas naturais. Sieverding (1991) reportou a ocorrência média de 25 espécies em ecossistemas não alterados e de 5 a 15 espécies naqueles alterados pela agricultura.

Conforme o estudo de Jobim *et al.* (2016) eram conhecidas 92 espécies de FMA no bioma Cerrado, distribuídas em 65 famílias e 23 gêneros. No entanto, esses registros estão restritos a campos rupestres e agroecossistemas. Além disso, os registros para áreas naturais não são claros quanto às fitofisionomias, dificultando a compreensão da distribuição desse grupo de acordo com o mosaico de vegetação que caracteriza o bioma. Estudos recentes de solos do Cerrado têm contribuído para nossa compreensão Glomeromycota neste bioma, incluindo a descrição de uma nova espécie, *Acaulospora spinulifera* Oehl, V.M. Santos, J. S. Pontes & G.A. Silva (por exemplo, SOUZA DE PONTES *et al.*, 2017; VIEIRA *et al.*, 2018). De acordo com Smith & Read (2008) e Van Der Heijden *et al.* (2015) a preservação de formações campestres, savanica e florestais do gradiente fitofisionômico do Cerrado também protege espécies de fungos envolvidas em serviços ecossistêmicos vitais.

Em agrossistemas por exemplo o estudo de Mello *et al.* (2009) avaliou a sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis*, micorrizadas fungo ectomicorrízico *Pisolithus microcarpus* (UFSC Pt 116), após o transplante para uma área sujeita à arenização no município de São Francisco de Assis, RS, aos 90 dias após o plantio encontrou a percentagem de mudas vivas no campo variaram entre 89 e 100% de sobrevivência, demonstrando o efeito e a importância dos FMAs para os agrossistemas como um todo.

Em condições de solos de cerrado, a densidade de esporos aumentou com o cultivo de diferentes culturas anuais e pastagem bem como com o tempo de cultivo (MIRANDA *et al.*, 2005). Após o pico inicial de esporulação, em decorrência do tempo de cultivo, ocorre, inicialmente, redução e posteriormente estabilização no número de esporos no solo, enquanto que a colonização radicular decresceu a partir do terceiro ano de cultivo. Estes resultados indicam que a disseminação da associação e dos propágulos micorrízicos é mais afetada nas fases iniciais da ocupação e uso do solo, com posterior estabilização. Esse aumento na densidade de propágulos

pode indicar estratégias diferentes na seleção de espécies, com espécies que possuem rápido desenvolvimento e esporulação no início do cultivo da área, que após o período inicial de perturbação, tendem a ser substituídas por espécies de crescimento mais lento. Neste sentido, é importante associar avaliações quantitativas, como número de esporos, com avaliações da riqueza (número de espécies) e equitabilidade (abundância relativa).

Ao investigar o comportamento de mudas de cafeeiro micorrizadas com *Gigaspora margarita* transplantada em campo, estes autores verificaram que a espécie exótica influenciou as espécies nativas e a aplicação de aplicação de fosfato de rocha reduziu a colonização radicular e aumentou o número de esporos. A cultura do mamoeiro, em solos de rigões tropicais, pode aumentar.

5. Conclusão

A densidade total de esporos de FMA foi de 30.087 esporos. Desse total, 11.115 em ecossistemas naturais, em pastagem 9.531 e 9.441 em sistemas agroflorestais. A densidade de esporos (em 50g^{-1} de solo) diferiu entre os usos do solo, exibindo um aumento ao longo do gradiente vegetacional (Cerradão e Mata Ciliar) em relação, as pastagens e aos Sistemas Agroflorestais biodiversos – SAF's.

A densidade de esporos se agrupou com o ferro (Fe^{2+}), saturação por alumínio (M%), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), com a ordenação da Mata Ciliar 1, Cerradão 1 e 2 direcionados no PC2. Pastagem 1 e 4 com SAF 4 foram fortemente pela porcentagem de silte e argila. Mata Ciliar 2 foi direcionada pela CTC, porcentagem de areia, Boro, Matéria Orgânica, Mn^{2+} e Cu^{2+} . As pastagens 2 e 3 foram direcionadas para o P^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ . Finalmente, os sistemas agroflorestais SAF1, SAF2 e SAF3 foram direcionados pelo, pH, soma de bases e Na.

As comunidades de FMA das áreas estudadas são estruturadas em função de características dos solos (Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, saturação de bases) e pode-se afirmar que a formação fitofisionômica (Cerradão e Mata ciliar) influencia a a densidade de esporos de FMA. A ocorrência de FMA é favorecida em formações florestais (Cerradão e Mata Ciliar), onde a maior presença de alumínio disponível e acidez potencial, indicaria uma maior retenção de fósforo no sistema, sendo a micorriza arbuscular uma estratégia requerida pelas plantas para aumentar a captura deste nutriente limitante.

Considerando a composição exclusiva das comunidades de FMA, é considerado que a recolonização de áreas degradadas com com sistemas agroflorestais, recuperando a microbiota

nativa das áreas de Cerrado com o propósito de reestabelecer o potencial destas áreas para fins de manejo do solo.

Em áreas agrícolas, o uso de fertilizantes interfere nos processos de colonização, crescimento, reprodução e eficiência simbiótica das espécies de FMA, podendo modificar os padrões populacionais das mesmas. Os FMA assumem maior importância para o desenvolvimento de plantas sob condições naturais de fertilidade do solo, em ambientes tropicais, por causa da baixa disponibilidade de nutrientes na solução do solo (CARDOSO & KUYPER, 2006). Nestas condições, o incremento no crescimento da planta, advindo da associação dos fungos micorrízicos, é significativo, principalmente nas espécies com maior dependência micorrízica e dependendo da disponibilidade de P do solo.

4. REFERÊNCIAS

ALEIXO, A. P.; KASCHUK, G.; ALBERTON, O. Biomassa fúngica e bacteriana do solo determinada por microscopia de epifluorescência e densidade de esporos micorrízicos em diferentes manejos de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 44, n. 4, p. 588-594, 2014.

ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista nera**, n. 16, p. 22-32, 2012.

AKER, A. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares no cerrado: influência do sistema de uso, textura do solo e sazonalidade. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 1, p. 170-180, 2022.

BARBOSA, M. V. *et al.* Diferentes fungos micorrízicos arbusculares afetam a formação e estabilidade de agregados do solo?. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, 2019.

BERUDE, M. *et al.* Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p.132-146, 2015.

BUENO, E. A. *et al.* Efeito da cobertura do solo na retenção de umidade e produtividade olerícola em sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CIIC 2020, Campinas, São Paulo. p. 1-12. 2020.

BŁASZKOWSKI, J. *et al.* **Glomeromycota**. Instituto de Botânica W. Szafer, Academia Polonesa de Ciências, 2012.

BRUNDRETT, M. C. Diversidade global e importância de plantas micorrízicas e não micorrízicas. In: TEDERSOO, L. **Biogeografia da simbiose micorrízica**. Cham: Springer, 2017. p.533-556.

CALAÇA, F. J. S.; BUSTAMANTE, M. Riqueza de fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) ao longo de um gradiente de vegetação do Cerrado brasileiro: respostas à sazonalidade, tipos de solo e comunidades vegetais. **Progresso Micológico**, v. 21, n. 2, p. 1-15, 2022.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Micorrizas e fertilidade do solo tropical. **Agricultura, ecossistemas e meio ambiente**, v. 116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.

CARNEIRO, M. A. C. *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CLAESSEN, M. E. C. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.

CHAGNON, P. L. *et al.* Uma estrutura baseada em traços para entender a história de vida de fungos micorrízicos. **Tendências na ciência das plantas**, v. 18, n. 9, p. 484-491, 2013.

CHEN, M. *et al.* Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi – from ecology to application. **Frontiers in Plant Science**, 9: 1270, 2018.

DE CARVALHO, A. M. X. *et al.* Associações micorrízicas em sistemas agroflorestais. *In: Biologia do solo e agricultura nos trópicos*. Heidelberg: Springer, 2010. p. 185-208.

DOUDS JR, D. D.; MILLNER, P. D. Biodiversidade de fungos micorrízicos arbusculares em agroecossistemas. **Agricultura, ecossistemas e meio ambiente**, v. 74, n. 1-3, p. 77-93, 1999.

DOS SANTOS, F. A. M. *et al.* Consórcio de espécies arbóreas com leguminosas herbáceas como estratégia para restauração florestal. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 589-593, 2019.

FELFILI, J.A. *et al.* Projeto biogeografia do bioma Cerrado: vegetação & solos. **Cadernos de Geociências**, v.12, p.1-166. 1994.

FERREIRA, D. A., *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares em um Latossolo Vermelho sob manejos e usos no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T. H. Esporos de espécies micorrízicas de endogon extraídos do solo por peneiramento úmido e decantação. **Transactions of the British Mycological society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

HAMMER, Ø; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HARLEY, J. L.; S. E. SMITH. **Mycorrhizal Symbiosis**. London, UK: Academic Press Inc.,1983.

HAN, D. *et al.* Diagnóstico de sistemas e manejo de irrigação em agroflorestas. *In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica*, 15., 2021, Campinas. Anais do 15º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, Campinas: Instituto de Zootecnia, 2021.p.1-12.

JENKINS, W. R. Uma técnica de flotação centrífuga rápida para separar nematóides do solo. **Repórter de doenças de plantas**, v. 48, n. 9, 1964.

JOBIM, K.; OLIVEIRA.; B. I. S.; GOTO, B. T. Checklist of the Glomeromycota in the Brazilian Savanna. **Mycotaxon**, 511 131:255, 2016.

MANZATO, B. L. *et al.* Diversidade de basidiomicetos macroscópicos em áreas de reflorestamento de *Eucalyptus spp.* **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, p. 1-9, 2020.

MELLO, J. M. D. *et al.* Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fusos e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, p. 185-194, 2009.

MICCOLIS, A. *et al.* Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. **Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza**, 2016.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.10, p.1005-1014, out. 2005.

MIRANDA, J. C. C. Cerrado – Micorriza arbuscular: ocorrência e manejo. Embrapa Cerrados, Planaltina DF, 537, p.169, 2008.

NUNES, H. B. *et al.* A comunidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares é afetada por sistemas de manejo do algodoeiro no Cerrado brasileiro?. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, 2019.

OEHL, F. *et al.* Avanços na taxonomia e classificação de Glomeromycota. *Fungo IMA*, v.2, n.2, pág. 191-199, 2011.

PALIY, O.; SHANKAR, V. Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas em ecologia microbiana. *Ecologia molecular*, v. 25, n. 5, p. 1032-1057, 2016.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 1, p. 14-25, 2016.

SOUZA DE PONTES, J. *et al.* *Acaulospora spinulifera*, uma nova espécie de fungo micorrízico arbuscular do Cerrado brasileiro e da Mata Atlântica. *Nova Edwigia*, p. 219-229, 2017.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. **Cerrado: ambiente e flora**, 1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 1998.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In Cerrado: ecologia e flora (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Planaltina. p.151-212, 2008.

SANTOS, L. A. C. *et al.* Indicadores socioambientais em sistemas agroflorestais no Cerrado goiano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 54-65, 2021.

SEMENSATO, L. R. *et al.* Fenologia, produtividade e qualidade de frutos de jaboticabeiras de diferentes idades das plantas. *Iheringia, Série Botânica.*, v. 75, 2020.

SIEVERDING, E. Ecologia de fungos VAM em agrossistemas tropicais. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, v. 29, n. 1-4, p. 369-390, 1990.

SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation. Eschborn, Federal Republic of Germany. 1991.

SILVA JUNIOR, J. P. D; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza in cupuaçu and peach palm cultivated in agroforestry and monoculture systems in the Central Amazon region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 819-825, 2006.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. Histórico e evolução da micorrizologia no Brasil: avanço em três décadas. In: Siqueira JO, Souza FA, Cardoso EJB, N,

Tsai SM (2010) Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Editora da Universidade Federal de Lavras, Lavras MG. pp 1–14. 2010.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008.

SOLOS, E. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Momento da verdade para o hotspot do Cerrado. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

TEDERSOO, L. *et al.* Classificação de alto nível dos Fungos e uma ferramenta para análises ecológicas evolutivas. **Diversidade fúngica**, v. 90, n. 1, p. 135-159, 2018.

VALADARES-PEREIRA, A. D. A. *et al.* Estrutura da comunidade fúngica como indicador dos efeitos do manejo agrícola do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p.1-12, 2017.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A. *et al.* Ecologia e evolução micorrízicas: o passado, o presente e o futuro. **Novo fitólogo**, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.

VIEIRA, L. C. *et al.* Mudanças em uma comunidade de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente ambiental. **Plantas**, v. 9, n. 1, p. 52, 2020.

YOUNG, K. Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty, Volume 12. 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi evidenciado nesse estudo que os Sistemas agroflorestais são ferramentas necessárias para a recuperação de áreas degradadas no bioma Cerrado. Com o manejo adequado, o efeito sobre a qualidade dos solos são positivos, e as micorrizas colaboram de forma efetiva para o ganho em produtividade e qualidade dos agroecossistemas. Os resultados deste estudo ressaltam a complexidade dos sistemas agroflorestais e apontam para a eficiência do manejo de poda e canteiros sempre com cobertura de material vegetal, para a sobrevivência e incremento em diâmetro e altura das espécies. Embora o plantio seja adensado em sistemas agroflorestais não comprometeu o desenvolvimento dos indivíduos. Com base nesses resultados, pode-se sugerir que as diferenças observadas entre os plantios de espécies nativas e exóticas ao Cerrado, advém das características ecológicas das espécies e do tipo de consórcio realizado, além de sua interação com o próprio sistema de plantio em diferentes manejos de matéria orgânica. Nos resultados dos indicadores químicos, pode-se inferir que a elevação da fertilidade do solo nos sistemas agroflorestais em relação ao sistema nativo e a pastagens foi significativa. O fósforo (P^-) foi o nutriente que mais teve variação nos diferentes tipos de cobertura. No caso de um sistema agroflorestal, em que todas as espécies foram plantadas simultaneamente, a estratificação pode representar uma aproximação com o sistema natural, uma vez que a heterogeneidade ambiental é uma característica desejável quando esses sistemas são aplicados para a recuperação de áreas degradadas. As comunidades de FMA das áreas estudadas são estruturadas em função de características dos solos (Al^{3+} , $H^+ + Al^{3+}$, saturação de bases) e pode-se afirmar que a formação fitofisionômica (Cerradão e Mata ciliar) influencia a a densidade de esporos de FMA. A ocorrência de FMA é favorecida em formações florestais (Cerradão e Mata Ciliar), onde a maior presença de alumínio disponível e acidez potencial, indicaria uma maior retenção de fósforo no sistema, sendo a micorriza arbuscular uma estratégia requerida pelas plantas para aumentar a captura deste nutriente limitante. Considerando a composição exclusiva das comunidades de FMA, é considerado que a recolonização de áreas degradadas com com sistemas agroflorestais, recupera a microbiota nativa das áreas de Cerrado com o propósito de reestabelecer o potencial destas áreas para fins de manejo do solo. É necessário a continuação e aumento nas pesquisas e plantios agroflorestais, de forma a recuperar o imenso passivo ambiental existente no Brasil atual.

Apêndice I: Material Suplementar – Capítulo 2

Valores de *loadings* para todos os componentes principais (PC) obtidos após análise de componentes principais dos parâmetros do solo (após teste de autocorrelação) em Sistemas Agroflorestais Biodiversas (agroflorestas) no estado de Goiás e no Distrito Federal. Valores em negrito (destacados em vermelho) representam *loadings* ≥ 0.5 .

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14	PC 15
Idade	0.144	0.175	0.404	0.307	0.595	-0.309	-0.104	0.428	-0.116	-0.063	-0.097	-0.143	0.017	-0.015	-0.010
CA	0.372	-0.086	-0.018	-0.033	-0.056	0.204	-0.109	-0.033	-0.572	0.064	-0.015	-0.113	0.281	0.020	0.609
MG	0.356	-0.049	-0.183	0.003	-0.049	0.113	-0.184	0.293	0.440	-0.604	0.179	0.123	-0.102	-0.127	0.266
AL	-0.168	0.388	-0.010	-0.394	0.107	0.215	0.232	0.462	-0.123	0.164	0.251	0.476	0.038	0.012	0.084
HAL	-0.044	-0.389	-0.010	0.623	-0.028	-0.060	0.093	0.040	0.036	0.254	0.384	0.460	0.100	-0.004	0.098
K	0.294	-0.057	-0.163	-0.009	-0.264	-0.448	0.660	0.233	-0.018	0.060	-0.258	-0.040	-0.193	0.013	0.115
P	0.206	0.094	0.576	0.040	-0.286	0.211	0.092	-0.036	0.326	0.045	-0.386	0.243	0.403	0.022	-0.027
MO	0.235	-0.068	-0.333	-0.021	0.653	0.274	0.323	-0.299	0.221	0.094	-0.212	0.102	0.140	-0.006	-0.008
ZN	0.291	0.062	0.439	0.000	0.026	0.301	0.245	-0.219	0.041	0.120	0.403	-0.192	-0.550	0.019	0.031
CTC	0.370	-0.095	-0.096	0.070	-0.101	0.221	0.089	0.149	-0.393	-0.234	0.116	0.029	0.160	-0.006	-0.708
SB	0.351	-0.111	-0.036	-0.171	0.021	-0.121	-0.471	-0.021	-0.074	0.302	-0.294	0.455	-0.440	0.052	-0.106
PH	0.338	-0.046	-0.019	-0.347	0.013	-0.356	-0.138	0.008	0.290	0.369	0.437	-0.208	0.388	0.001	-0.110
ARG	0.120	0.428	-0.282	0.335	-0.131	0.145	-0.115	0.105	0.142	0.173	-0.010	-0.150	-0.016	0.689	-0.006
LIM	0.109	0.464	-0.221	0.300	-0.145	0.095	-0.089	-0.001	0.038	0.283	-0.049	-0.099	-0.024	-0.708	-0.033
AREIA	0.120	0.464	0.031	0.047	0.017	-0.411	0.049	-0.538	-0.163	-0.338	0.181	0.349	0.081	0.060	0.027

Tabela S. Comparação múltipla de Tukey com p valores das comparações par a par.

Idade	CA	MG	AL	HAL	K	P	MO	ZN	CTC	SB	PH	ARG	LIM	AREIA
Idade	0.3416	0.4745	0.9282	0.8415	0.7625	0.0228	0.6612	0.0200	0.4263	0.3564	0.3941	0.3763	0.3030	0.0741
CA	0.3416	0.0001	0.0259	0.8785	0.0012	0.0216	0.0101	0.0004	0.0001	0.0001	0.0002	0.4653	0.5479	0.6057
MG	0.4745	0.0001	0.0582	0.8509	0.0019	0.1466	0.0062	0.0307	0.0001	0.0001	0.0003	0.1578	0.2913	0.6088
AL	0.9282	0.0259	0.0582	0.0006	0.1131	0.1859	0.2711	0.2665	0.0203	0.0254	0.1991	0.2799	0.1773	0.1760
HAL	0.8415	0.8785	0.8509	0.0006	0.8871	0.4620	0.9952	0.5042	0.7769	0.6736	0.2564	0.1700	0.0942	0.0075
K	0.7625	0.0012	0.0019	0.1131	0.8871	0.1288	0.0445	0.0924	0.0002	0.0103	0.0002	0.4483	0.5137	0.4246
P	0.0228	0.0216	0.1466	0.1859	0.1288	0.7188	0.0022	0.0519	0.0489	0.0489	0.0553	0.8988	0.8227	0.2319
MO	0.6612	0.0101	0.0062	0.2711	0.9952	0.0445	0.7188	0.1846	0.0059	0.0261	0.0351	0.4597	0.6308	0.8252
ZN	0.0200	0.0004	0.0307	0.2665	0.5042	0.0924	0.0022	0.1846	0.0004	0.0217	0.0054	0.7224	0.6317	0.1875
CTC	0.4263	0.0001	0.0001	0.0203	0.7769	0.0002	0.0519	0.0059	0.0001	0.0001	0.0006	0.3180	0.4332	0.7210
SB	0.3564	0.0001	0.0001	0.0254	0.6736	0.0103	0.0489	0.0261	0.0001		0.0001	0.7383	0.8330	0.6767
PH	0.3941	0.0002	0.0003	0.1991	0.2564	0.0002	0.0553	0.0351	0.0006	0.0001		0.8058	0.8450	0.3410
ARG	0.3763	0.4653	0.1578	0.2799	0.1700	0.4483	0.8988	0.4597	0.3180	0.7383	0.8058		0.0001	0.0020
LIM	0.3030	0.5479	0.2913	0.1773	0.0942	0.5137	0.8227	0.6308	0.4332	0.8330	0.8450	0.0001		0.0005
AREIA	0.0741	0.6057	0.6088	0.1760	0.0075	0.4246	0.2319	0.8252	0.7210	0.6767	0.3410	0.0020	0.0005	

Tabela S5. Valores de correlação (r de Pearson) obtidos entre os parâmetros do solo após um teste de autocorrelação. Valores destacados em azul representam autocorrelações positivas e valores destacados em vermelho, representam autocorrelações negativas. Assim, os valores que apresentaram eventos de autocorrelação foram retirados das análises estatísticas.

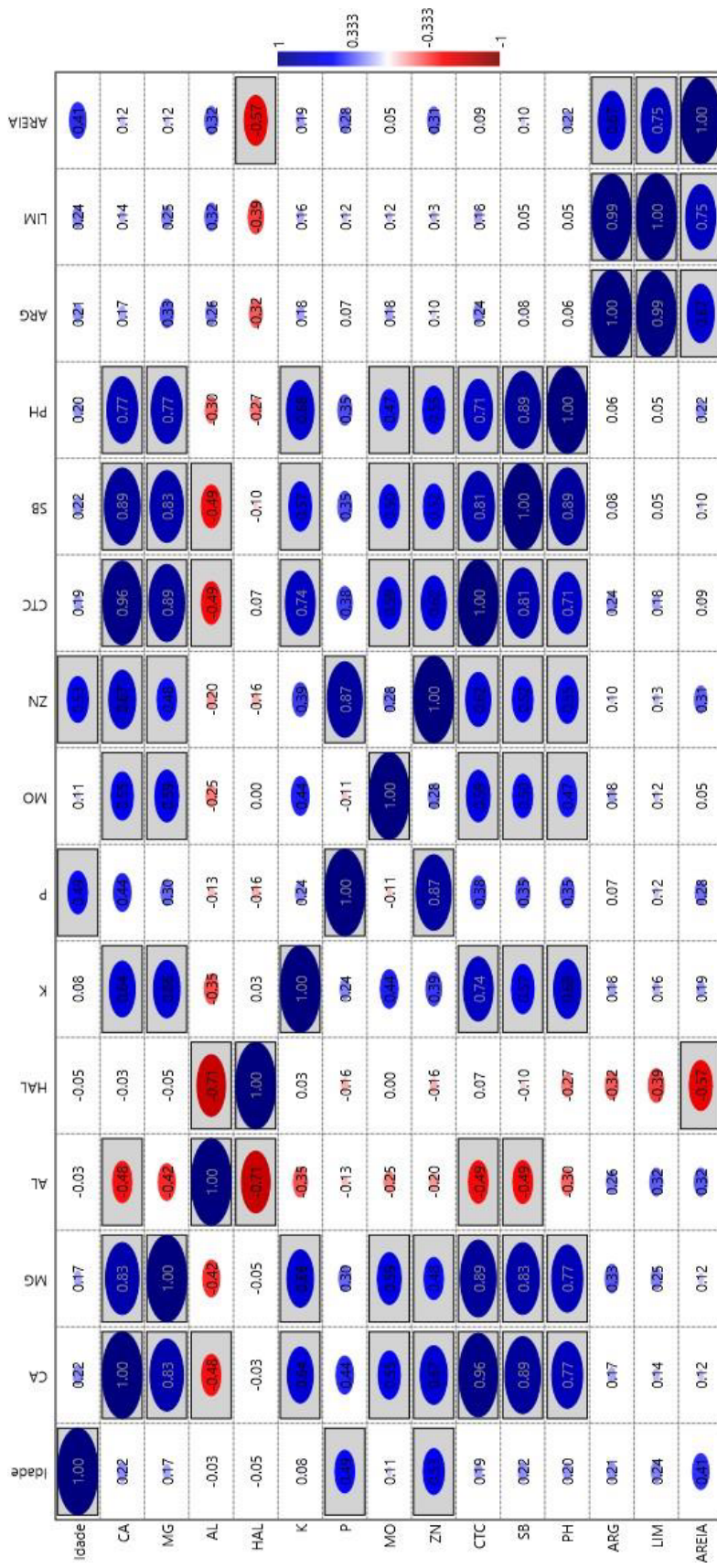


Tabela. Valores de correlação (r de Pearson) obtidos entre os parâmetros do solo após um teste de autocorrelação. Valores destacados em azul representam autocorrelações positivas e valores destacados em vermelho, representam autocorrelações negativas. Assim, os valores que apresentaram eventos de autocorrelação foram retirados das análises estatísticas.

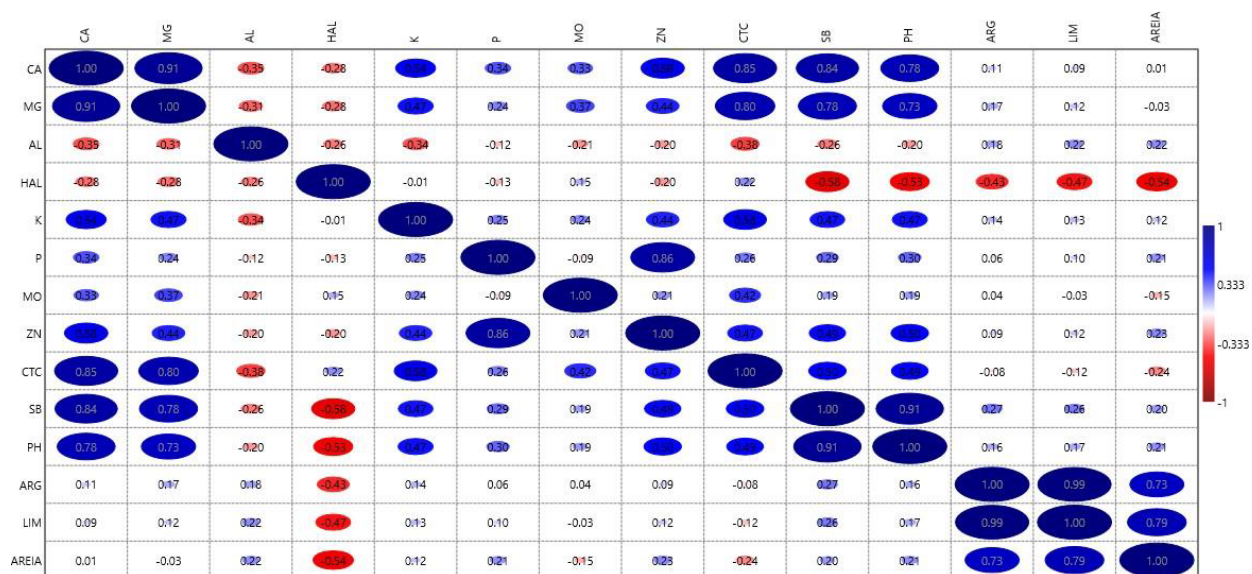


Tabela S4. Comparação múltipla de Tukey com p valores das comparações par a par.

	CA	MG	AL	HAL	K	P	MO	ZN	CTC	SB	PH	ARG	LIM	AREIA
CA	0.9076	0.0000	0.0280	0.0789	0.0003	0.0300	0.0367	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.5165	0.5890	0.9347
MG	-0.3476	-0.3118	0.0501	0.0758	0.0020	0.1281	0.0180	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.3034	0.4671	0.8479
AL	-0.2811	-0.2839	-0.2583	0.1075	0.0321	0.4634	0.1910	0.2224	0.0152	0.1054	0.2232	0.2554	0.1690	0.1665
HAL	0.5383	0.4735	-0.3395	-0.0127	0.9378	0.4168	0.3438	0.2112	0.1768	0.0001	0.0005	0.0057	0.0023	0.0003
K	0.3436	0.2447	-0.1193	-0.1320	0.2473	0.1239	0.1405	0.0048	0.0001	0.0025	0.0021	0.3723	0.4066	0.4591
P	0.3314	0.3723	-0.2111	0.1537	0.2372	-0.0874	0.5918	0.0000	0.1032	0.0647	0.0558	0.7196	0.5456	0.1917
MO	0.5847	0.4398	-0.1973	-0.2020	0.4375	0.8622		0.1946	0.0072	0.2421	0.2285	0.8079	0.8701	0.3569
ZN	0.8521	0.8029	-0.3813	0.2179	0.5761	0.2615	0.2095		0.0023	0.0013	0.0009	0.5935	0.4796	0.1478
CTC	0.8407	0.7842	-0.2598	-0.5821	0.4657	0.2949	0.4185	0.4683	0.5050	0.0009	0.0012	0.6326	0.4654	0.1443
SB	0.7819	0.7328	-0.1969	-0.5268	0.4719	0.3048	0.1893	0.4898	0.4948	0.9082	0.0000	0.0953	0.1082	0.2227
PH	0.1057	0.1669	0.1841	-0.4296	0.1449	0.0586	0.0397	0.5044	-0.0779	0.2674	0.1610	0.3209	0.3084	0.1837
ARG	0.0881	0.1183	0.2218	-0.4689	0.1349	0.0985	-0.0267	0.0870	-0.1188	0.2579	0.1652	0.9890	0.0000	0.0000
LIM	0.0134	-0.0313	0.2231	-0.5439	0.1204	0.2108	-0.1496	0.2331	-0.2350	0.1972	0.2145	0.7291	0.7924	
AREIA														

Tabela. Valores de loadings para todos os componentes principais (PC) obtidos após análise de componentes principais dos parâmetros do solo (após teste de autocorrelação) em 20 Sistemas Agroflorestais Biodiversos no estado de Goiás. Valores em negrito (destacados em vermelho) representam $loadings \geq 0.5$.

Parâmetro do solo	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14
CA	0.3983	-0.1147	-0.0843	-0.0951	0.0438	0.1262	-0.1843	0.1517	-0.1863	-0.4200	0.1108	-0.3504	0.4638	0.4195
MG	0.3743	-0.1026	-0.2045	-0.0988	0.0869	0.1285	-0.2942	-0.0846	-0.2860	0.6133	-0.1181	0.4031	0.2121	0.0271
AL	-0.1426	0.2700	0.0218	-0.2094	0.6720	0.5722	0.2282	-0.0133	0.1070	-0.0139	0.0816	0.0854	0.0557	0.0507
HAL	-0.1708	-0.3619	0.0173	0.4905	-0.0347	0.2191	-0.1528	0.2234	0.5397	0.0252	0.0858	0.2861	0.2698	0.1506
K	0.2767	-0.0773	-0.0212	0.3031	-0.3381	0.3415	0.7014	-0.2697	-0.1319	0.0704	0.0427	-0.0158	0.0591	0.0408
P	0.2082	0.0266	0.6867	0.1234	0.1171	-0.0437	-0.1640	-0.2149	0.0950	0.3334	0.4153	-0.2955	-0.0153	0.0184
MO	0.1447	-0.1686	-0.3485	0.3462	0.5699	-0.5229	0.2624	-0.0302	-0.0078	0.0660	0.1626	-0.1000	0.0054	-0.0208
ZN	0.3034	-0.0117	0.5110	0.1549	0.2242	-0.1479	0.0724	0.0057	-0.0719	-0.3408	-0.5291	0.3789	0.0005	-0.0201
CTC	0.3128	-0.2828	-0.1000	0.1819	0.0989	0.3851	-0.2142	0.2721	-0.0914	-0.1090	0.0111	-0.1886	-0.5599	-0.3629
SB	0.3815	0.0523	-0.1031	-0.2938	-0.1020	-0.1057	0.0056	-0.1566	0.3040	-0.3103	0.5183	0.4718	-0.1182	-0.1216
PH	0.3669	0.0292	-0.0523	-0.3195	-0.0433	-0.0772	0.2028	0.2279	0.6133	0.2677	-0.3607	-0.2839	-0.0065	0.0169
ARG	0.1265	0.4503	-0.2085	0.3257	-0.0212	0.0437	-0.2440	-0.2747	0.1511	-0.0184	-0.1326	-0.0028	-0.4010	0.5410
LIM	0.1214	0.4766	-0.1477	0.2992	-0.0360	0.0589	-0.2004	-0.1580	0.1257	-0.1022	-0.0874	-0.1427	0.4144	-0.5924
AREIA	0.1005	0.4730	0.0846	0.1695	-0.1041	-0.0867	0.1564	0.7410	-0.1835	0.1393	0.2347	0.1594	-0.0114	0.0689

Apêndice I: Material Suplementar – Capítulo 3

Tabela S2. Densidade total de esporos de FMA dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (Agroflorestas), Pastagens e Ecossistema Naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no Estado de Goiás.

Ecossistema Naturais	11.115
Cerradão 1	2.870
Mata Ciliar 1	2.443
Mata Ciliar 2	3.063
Cerradão 2	2.739
Pastagem	9.531
Pastagem 1 (Sítio Dirindele)	2.081
Pastagem 2 (Orgânicos Felicidade 1)	2.719
Pastagem 3 (Orgânicos Felicidade 2)	2.327
Pastagem 4 (IFgoiano – Hidrolândia)	2.404
Sistemas Agroflorestais Biodiversos	9.441
Sítio Dirindele	2.282
Orgânicos Felicidade 1	1.943
Orgânicos Felicidade 2	3.020
IFgoiano Hidrolândia	2.196
Total Geral	30.087

Tabela S3. Quadro de variâncias.

Variáveis	GL	Esporos SS	Esporos MS	Esporos F	Esporos p
Intercept	1	12869186.4450	12869186.4450	515.4798	0.0000*
Uso	2	1632126.7125	816063.3562	32.6877	0.0000*
Local	3	34202.9350	11400.9783	0.4567	0.7135
Uso*Local	6	92496.6375	15416.1063	0.6175	0.7156
Error	68	1697650.9000	24965.4544		
Total	79	3476246.3875			

Tabela S5. Média de esporos de FMA dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (Agroflorestas), Pastagens e Ecossistemas Naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no Estado de Goiás. Valor de *p* entre parênteses.

Áreas	Média de Esporos
Cerradão 1 - Sítio Dirindele	574.0 (0.0083)
Pastagem 1	416.2 (0.5746)
SAF 1	228.2 (1.000)
Mata Ciliar 1 - Orgânicos Felicidade	488.6 (0.1286)
Pastagem 2	543.8 (0.0239)
SAF2	194.3 (0.9999)
Mata Ciliar 1 - Orgânicos Felicidade	612.6 (0.0019)
Pastagem 3	465.4 (0.2296)
SAF3	302.0 (0.9959)
Cerradão 2 - Ifgoiano	547.8 (0.0209)
Pastagem 4	480.8 (0.1577)
SAF4	219.6 (1.000)

Tabela S5. Valores de correlação (r de Pearson) obtidos entre os parâmetros do solo após um teste de autocorrelação. Valores destacados em azul representam autocorrelações positivas e valores destacados em vermelho, representam autocorrelações negativas. Assim, os valores que apresentaram eventos de autocorrelação foram retirados das análises estatísticas.

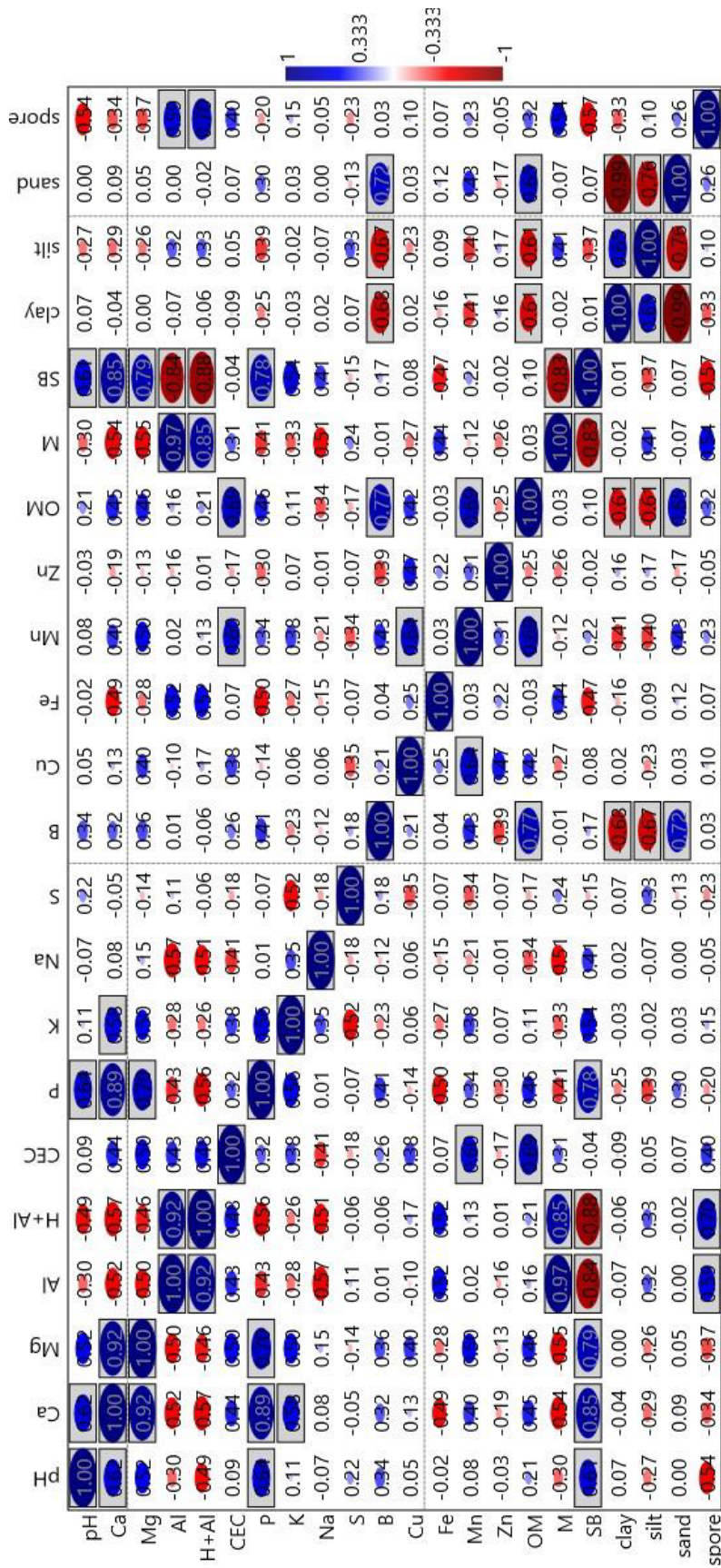


Tabela S6. Valores de *loadings* para todos os componentes principais (PC) obtidos após análise de componentes principais dos parâmetros do solo (após teste de autocorrelação) em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (agroflorestas), pastagem e Ecossistemas Naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no estado de Goiás. Valores em negrito (destacados em vermelho) representam *loadings* ≥ 0.5 .

Parâmetro do solo	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11
pH	0.2250	-0.0280	-0.0430	0.2749	0.3223	0.3381	0.1844	0.0246	0.5829	-0.0516	-0.0470
Ca	0.3393	0.0292	0.1388	0.2269	-0.0343	-0.0236	0.0097	0.0561	-0.0788	-0.1173	-0.1087
Mg	0.3174	0.0535	0.2089	0.1319	0.0906	0.0551	-0.2343	0.1286	-0.3183	-0.0236	-0.0049
Al	-0.2848	0.2399	0.0674	0.1938	-0.0226	0.1626	0.0683	-0.0078	0.0758	0.1891	-0.2564
H+Al	-0.2901	0.2549	0.1683	0.0381	-0.3049	0.0172	-0.0652	-0.0148	0.0016	-0.1377	0.0066
CEC	0.0491	0.3071	0.3601	0.2438	-0.0432	0.0219	-0.0959	0.0622	-0.1154	-0.2543	-0.1014
P	0.3176	0.0689	-0.0122	0.2388	-0.1680	0.0422	0.2427	-0.0365	0.1596	0.0404	0.3827
K	0.1938	0.0075	0.3312	-0.0728	-0.3951	0.2437	0.2802	0.1267	-0.0206	0.0206	-0.3185
Na	0.1124	-0.1951	-0.0438	-0.3126	-0.2392	0.2260	-0.3506	0.5360	0.1818	0.1475	-0.1607
S	-0.0691	-0.0838	-0.2427	0.3567	0.2350	-0.3228	0.1128	0.5860	-0.0583	-0.0823	-0.3432
B	0.1516	0.2997	-0.2945	0.0798	0.1631	-0.0439	-0.2360	0.1676	0.0600	0.3115	0.3079
Cu	0.0747	0.1529	0.3080	-0.2934	0.3765	-0.0997	-0.3488	0.0860	0.1756	-0.0625	0.0138
Fe	-0.1760	0.1287	0.0087	-0.1362	0.3342	0.6784	0.0551	0.1478	-0.2027	-0.1172	0.1519
Mn	0.1528	0.3009	0.2375	-0.1573	0.1234	-0.1903	0.1991	0.0439	-0.1633	0.6234	-0.0306
Zn	-0.0328	-0.0834	0.2416	-0.3448	0.3459	-0.2134	0.5275	0.1475	0.1384	-0.0819	0.0145
OM	0.1498	0.3969	-0.0032	0.0586	0.0434	-0.1420	-0.1220	-0.0780	0.1192	-0.2763	-0.0822
M	-0.2938	0.1844	0.0046	0.2586	-0.0733	0.1476	0.0551	0.0676	0.0632	0.3940	-0.0638
SB	0.3576	-0.1278	0.0296	0.0120	-0.0077	0.0914	0.0505	0.0261	-0.0310	0.1133	0.1382
clay	-0.0770	-0.3093	0.3196	0.1896	0.1185	-0.0425	-0.2422	-0.1873	0.2179	0.1942	-0.0817
silt	-0.2121	-0.1949	0.2809	0.2267	-0.0519	-0.0398	0.0752	0.3695	-0.2090	-0.0704	0.5489
sand	0.1098	0.3042	-0.3308	-0.2088	-0.0901	0.0445	0.1906	0.0825	-0.1421	-0.1508	-0.0448
spore	-0.1611	0.2590	0.1175	-0.1162	-0.3743	-0.1688	-0.0121	0.2375	0.4681	-0.1133	0.2428

Tabela S7. Valores dos parâmetros físico-químicos dos solos em Sistemas Agroflorestais Biodiversos (Agroflorestas), Pastagem e Ecossistemas naturais (Cerradão e Mata Ciliar) em Hidrolândia e Piracanjuba no Estado de Goiás.

Tratamento	Local	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	etc	p	k	Na	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	m	SB	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
AFS 1	Sítio Dirindele	5,6	7,0	1,5	0,0	2,0	11,0	80,0	180,0	2,0	4,0	0,3	2,8	79,0	74,0	1,9	31,0	0,0	81,0	34,0	8,0	58,0
AFS 1	Sítio Dirindele	5,6	9,1	2,2	0,0	2,1	14,0	70,0	250,0	1,0	5,0	0,3	2,3	56,0	73,0	1,4	31,0	0,0	85,0	29,0	7,0	64,0
AFS 1	Média	5,6	8,1	1,9	0,0	2,1	12,5	75,0	215,0	1,5	4,5	0,3	2,6	67,5	73,5	1,7	31,0	0,0	83,0	31,5	7,5	61,0
PASTAGEM 1	Sítio Dirindele	4,4	1,7	0,5	0,0	3,8	6,2	4,0	60,0	2,0	4,0	0,3	2,3	82,0	38,0	1,8	27,0	0,0	38,0	25,0	6,0	69,0
CERRADÃO 1	Sítio Dirindele	4,9	1,2	0,4	0,2	7,2	9,0	4,0	78,0	2,0	5,0	0,3	1,7	139,0	35,0	1,4	23,0	10,0	20,0	31,0	9,0	60,0
AFS 2	Orgânicos Felicidade 1	5,3	3,7	1,4	0,0	2,3	7,8	33,0	144,0	3,0	3,0	0,3	2,9	212,0	39,0	2,3	23,0	0,0	70,0	25,0	6,0	69,0
AFS 2	Orgânicos Felicidade 1	5,6	3,0	0,8	0,0	2,2	6,4	23,0	140,0	2,0	4,0	0,3	2,7	189,0	45,0	1,8	23,0	0,0	65,0	29,0	7,0	64,0
AFS 2	Média	5,5	3,4	1,1	0,0	2,3	7,1	28,0	142,0	2,5	3,5	0,3	2,8	200,5	42,0	2,1	23,0	0,0	67,5	27,0	6,5	66,5
PASTAGEM 2	Orgânicos Felicidade 1	5,4	5,3	1,0	0,0	2,5	9,4	80,0	240,0	2,0	3,0	0,3	2,2	70,0	73,0	2,3	31,0	0,0	74,0	25,0	6,0	69,0
MATA CILJAR 1	Orgânicos Felicidade 1	5,2	1,8	0,4	0,2	7,2	9,7	14,0	130,0	1,0	4,0	0,3	2,8	177,0	77,0	3,3	31,0	7,0	26,0	23,0	6,0	71,0
AFS 3	Orgânicos Felicidade 2	5,4	2,8	0,8	0,0	4,0	7,8	14,0	94,0	1,0	5,0	0,3	4,2	150,0	90,0	3,7	27,0	0,0	49,0	31,0	9,0	60,0
AFS 3	Orgânicos Felicidade 2	4,7	3,2	1,0	0,0	2,7	7,2	28,0	110,0	2,0	4,0	0,3	4,0	123,0	90,0	6,3	23,0	0,0	62,0	23,0	6,0	71,0
AFS 3	Média	5,1	3,0	0,9	0,0	3,4	7,5	21,0	102,0	1,5	4,5	0,3	4,1	136,5	90,0	5,0	25,0	0,0	55,5	27,0	7,5	65,5
PASTAGEM 3	Orgânicos Felicidade 2	4,6	4,0	1,2	0,0	2,9	8,7	31,0	240,0	3,0	3,0	0,3	3,7	104,0	95,0	2,5	27,0	0,0	67,0	25,0	6,0	69,0
MATA CILJAR 2	Orgânicos Felicidade 2	4,9	3,6	1,3	0,1	7,8	13,2	9,0	176,0	2,0	3,0	0,3	7,0	163,0	97,0	3,6	35,0	2,0	41,0	29,0	7,0	64,0
AFS 4	IFGOIANO -SAF'ex	5,2	2,5	0,7	0,0	2,8	6,3	3,0	120,0	2,0	4,0	0,3	4,0	108,0	44,0	3,8	16,0	0,0	56,0	39,0	8,0	53,0
AFS 4	IFGOIANO -SAF'ex	5,2	2,4	0,7	0,0	2,9	6,4	2,0	140,0	2,0	3,0	0,3	2,9	95,0	35,0	3,6	16,0	0,0	54,0	45,0	8,0	47,0
AFS 4	Média	5,2	2,45	0,7	0	2,85	6,34	2,5	130	2	3,5	0,27	3,45	102	39,5	3,7	16	0	55	42	8	50
PASTAGEM 4	IFGOIANO -SAF'ex	4,7	2,5	0,6	0	3,4	7,11	9	240	3	4	0,26	2,2	119	39	4,2	16	0	52	31	9	60
CERRADÃO 2	IFGOIANO -SAF'ex	4,2	1,3	0,5	0,2	8,8	11,1	1,2	180	1	3	0,27	2,1	154	64	2,6	23	8	20	31	9	60

Em que: pH = potencial hidrogeniônico (em H₂O); Ca²⁺ = Cálcio (cmolc.dm⁻³); Mg²⁺ = Magnésio (cmolc.dm⁻³); Al³⁺ = Alumínio (cmolc.dm⁻³); H⁺ = Hidrogênio; ctc(t) = Capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc.dm⁻³); P = Fósforo (mg.dm⁻³); K⁺ = Potássio (mg.dm⁻³); Na = Sódio (mg.dm⁻³); S = Enxofre (mg.dm⁻³); B = Boro (mg.dm⁻³); Cu = Cobre (mg.dm⁻³); Fe = Ferro (mg.dm⁻³); Zn = Zinco (mg.dm⁻³); Mn = Manganês(mg.dm⁻³); MO = Matéria orgânica (g/kg); m(%) = Saturação por alumínio; SB = Soma de bases (cmolc.dm⁻³); Argila (%), Silte (%) e Areia (%).

