UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
(AGROECOLOGIA)

QUALIDADE DO AMBIENTE EDÁFICO EM SISTEMAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

JOÃO HENRIQUE CONSTANTINO SALES SILVA

BANANEIRAS – PB
2021

JOÃO HENRIQUE CONSTANTINO SALES SILVA

QUALIDADE DO AMBIENTE EDÁFICO EM SISTEMAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia).

Área de Concentração: Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável

Linha de Pesquisa: Ciências agrárias, indicadores e sistemas de produção sustentáveis.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa (Orientador)

Prof. Dr. Thiago de Sousa Melo (Coorientador)

Profa. Dra. Vênia Camelo de Souza (Coorientadora)

Bananeiras – PB

2021

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586q Silva, João Henrique Constantino Sales.
Qualidade do ambiente edáfico em sistemas de uso e cobertura do solo / João Henrique Constantino Sales Silva. - Bananeiras, 2021.
57 f.

Orientação: Alex da Silva Barbosa.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCHSA.

1. Agroecossistemas. 2. Decomposição vegetal. 3. Respiração edáfica. 4. Serviços ecossistêmicos. I. Barbosa, Alex da Silva. II. Título.

UFPB/CCHSA-BANANEIRAS CDU 63

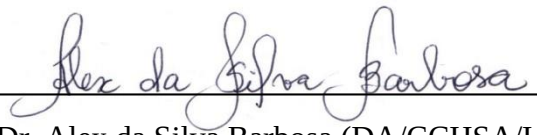
Elaborado por LAIS EMANUELY ALBUQUERQUE DOS SANTOS - CRB-785

JOÃO HENRIQUE CONSTANTINO SALES SILVA

QUALIDADE DO AMBIENTE EDÁFICO EM SISTEMAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

Aprovado em: 30 de Agosto de 2021

BANCA EXAMINADORA

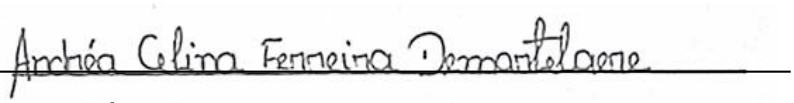


Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa (DA/CCHSA/UFPB)

Orientador

Prof. Italo de Souza Aquino, Ph.D. (DCA/CCHSA/UFPB)

1º Examinador



Profa. Dra. Andréa Celina Ferreira Demartelaere (PPGA/CCA/UFPB)

2º Examinador

Bananeiras – PB

2021

À minha mãe, Jeane Constatino da Silva, por me apoiar e me fortalecer em momentos difíceis.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Criador, por sua bondade e grandeza.

Aos meus pais, Diogens Sales e Jeane Constantino, que sempre me incentivam a seguir estudando mesmo sem compreender muito bem a complexidade do universo da pesquisa.

Aos meus familiares, em especial, meus avós paternos, João Cassimiro e Maria Vicente (*in memoriam*), e maternos, Henrique Severino e Maria do Socorro.

Ao professor Dr. Alex da Silva Barbosa, pela orientação, amizade e confiança que depositou em mim.

À professora Dra. Gilvaneide Alves de Azerêdo, por me incentivar a evoluir como profissional e como ser humano, dentro e fora da Universidade.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas contribuições na melhoria deste trabalho.

Aos amigos Vitor Targino, Janaína Ribeiro, Liliane Santos, Paulo Marks e Arthur Kevlemn, pelo auxílio na instalação dos experimentos e a Daniel Gomes e Moisés Araújo pelo suporte nas análises e interpratação dos dados.

À Oziel Cruz pelo apoio laboratorial no desenvolvimento de parte desta pesquisa.

A minha turma do PPGCAG, com quem dividi esta jornada.

Aos amigos que fiz na cidade de Solânea, Hidalgo Valentim, Kaio Alberto, Ana Heloíza e Tatiane Deise, pelo acolhimento e companheirismo ao longo dos anos.

Aos amigos que fiz na graduação e mantenho vínculos até os dias atuais, Damiana Justino, Cosma Justino, Ivane Pontes, Kênia Lira, Natacia Nogueira, Daiane Gonçalves, William Novaes, Maria da Guia, Monaliza Rayany e Andreza Marinho.

Ao Grupo de Pesquisa em Ecologia da Produção Vegetal no Semiárido (ECOVAR – CNPq), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) (PPGCAG/UFPB) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa e concessão de bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma conspiraram e contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O conceito de sustentabilidade tem levado a pesquisa agropecuária a uma crescente busca de modelos alternativos e sustentáveis para a agricultura, sendo a compreensão da dinâmica do ambiente edáfico, sobretudo, da interação solo-serapilheira, o ponto de partida determinante para entender o funcionamento dos agroecossistemas. O presente trabalho visou avaliar a qualidade do ambiente edáfico em diferentes sistemas de uso e cobertura do solo. O estudo foi conduzido em quatro sistemas de ocupação da terra, sendo eles: remanescente florestal, sistema agroflorestal (SAF), mandala agrícola e pastagem. Assim, esta dissertação foi dividida em três capítulos em formato de artigo científico. O primeiro avaliou os efeitos da intensificação da paisagem agrícola sobre a decomposição da fitomassa de *Azadirachta indica* e *Gliricidia sepium*. Neste capítulo a taxa de decomposição foi estimada com o uso de sacolas de *nylon* (*litter bags*), contendo 20 g de folhas de cada espécie, que foram dispostas na superfície do solo de cada sistema por um período de 108 dias. Ambas as espécies apresentaram rápida taxa de decomposição no período avaliado, considerando todos os sistemas. Os sistemas de uso e cobertura da terra influenciaram a decomposição da fitomassa foliar de *A. indica* e *G. sepium*. O segundo capítulo objetivou avaliar a respiração edáfica em cada sistema nos períodos noturno e diurno. A atividade microbiana foi estimada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) desprendido no processo de respiração edáfica, a partir da superfície do solo, e capturado por solução de KOH. A produção de CO_2 foi maior no período noturno em relação ao diurno, independente dos sistemas analisados. Dentre as áreas avaliadas, a floresta foi a que apresentou menores emissões de CO_2, sendo considerada como um receptor de CO_2 em contraposição a área de pastagem que funcionou como um emissor de CO_2. O terceiro capítulo objetivou avaliar a qualidade do ambiente edáfico e os serviços ecossitêmicos a partir de indicadores sustentáveis de diagnóstico participativo. O sistema agroflorestal apresentou semelhanças na qualidade do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos quando comparado à área de mata nativa. A temperatura edáfica, o conteúdo de água do solo e a qualidade dos resíduos vegetais são fatores que influenciam fortemente a decomposição e a liberação de CO_2 pelos organismos edáficos. Recomenda-se que práticas de manejo de conservação do solo sejam adotadas nos sistemas com maior intervenção antrópica, a exemplo da pastagem e mandala agrícola.

Palavras-chave: Agroecossistemas. Decomposição vegetal. Respiração edáfica. Serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

The concept of sustainability has led agricultural research to a growing search for alternative and sustainable models for agriculture, with the understanding of the dynamics of the edaphic environment, above all, the soil-litter interaction, the decisive starting point for understanding the functioning of agroecosystems. The present work aimed to evaluate the quality of the edaphic environment in different land use and cover systems. The study was conducted in four land occupation systems, namely: forest remnant, agroforestry system (SAF), agricultural mandala and pasture. Thus, this dissertation was divided into three chapters in a scientific article format. The first evaluated the effects of agricultural landscape intensification on the decomposition of phytomass of *Azadirachta indica* and *Gliricidia sepium*. In this chapter, the decomposition rate was estimated using nylon (litter bags), containing 20 g of leaves of each species, which were placed on the soil surface of each system for a period of 108 days. Both species showed rapid decomposition rate in the period evaluated, considering all systems. Land use and land cover systems influenced the decomposition of *A. indica* and *G. sepium* leaf phytomass. The second chapter aimed to assess the edaphic breathing in each system in the night and day periods. The microbial activity was estimated by quantifying the carbon dioxide (CO_2) given off in the edaphic respiration process, from the soil surface, and captured by a KOH solution. The production of CO_2 was greater at night than during the day, regardless of the systems analyzed. Among the areas evaluated, the forest was the one with the lowest CO_2 emissions, being considered as a CO_2 receiver in contrast to the pasture area that functioned as a CO_2 emitter. The third chapter aimed to assess the quality of the edaphic environment and ecosystem services from sustainable indicators of participatory diagnosis. The agroforestry system showed similarities in the quality of the edaphic environment and ecosystem services when compared to the native forest area. Edaphic temperature, soil water content and quality of plant residues are factors that strongly influence decomposition and release of CO_2 by edaphic organisms. It is recommended that soil conservation management practices be adopted in systems with greater human intervention, such as pasture and agricultural mandala.

Keywords: Agroecosystems. Vegetable decomposition. Edaphic breathing. Ecosystem services.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Localização dos sistemas de ocupação da terra no município de Bananeiras, Paraíba, Brasil. 17
Figura 2. Sistemas de uso e manejo do solo (A) floresta, (B) sistema agroflorestal, (C) mandala agrícola e (D) pastagem. 18
Figura 3. Médias mensais de precipitação (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) no município de Bananeiras, PB (BDMEP, 2021). 21
Figura 4. Resíduo foliar remanescente (g) de *Gliricidia sepium* (A) e *Azadirachta indica* (B) em função do tempo para cada sistema de uso da terra avaliado. 25
Figura 5. Distribuição de frequência da temperatura edáfica (°C) (A) e umidade do solo (%) (B) em sistemas sob diferentes formas de uso e cobertura da terra. 28

CAPÍTULO II

Figura 1. Esquematização do método empregado para captura do CO_2 desprendido do solo. 37
Figura 2. Respiração edáfica diurna e noturna em sistemas de uso e manejo do solo. 39
Figura 3. Distribuição de frequência da temperatura (°C) (A) e umidade do solo (%) (B). 40

CAPÍTULO III

Figura 1. Indicadores qualitativos do ambiente edáfico em sistemas de ocupação da terra no município de Bananeiras, Paraíba. 49
Figura 2. Análise de componentes principais dos indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de ocupação da terra. 52

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Atributos químicos dos solos sob diferentes sistemas de ocupação da terra em um Brejo de Altitude no município de Bananeiras, PB. 22

Tabela 2. Resumo da análise de variância da fitomassa remanescente de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* sob a superfície do solo de diferentes sistemas de ocupação da terra em função do período de coleta. 22

Tabela 3. Caracterização da composição inicial (tempo zero) da fração foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica*. 23

Tabela 4. Massa remanescente (g) e porcentagem final de massa decomposta no processo de decomposição foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* para cada sistema e período de coleta (dias). 24

Tabela 5. Constante de decomposição e tempo de meia-vida da fração foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* ajustados por meio de modelo exponencial simples para cada sistema de uso e cobertura da terra. 26

CAPÍTULO III

Tabela 1. Indicadores qualitativos do solo com características e valores correspondentes (valores entre 1 e 10 podem ser atribuídos a cada indicador). 47

Tabela 2. Coeficientes de ponderação e correlação das características para cada componente principal. 51

Tabela 3. Prestação de serviços ecossistêmicos por sistemas de ocupação da terra através dos indicadores selecionados. 53

SUMÁRIO

CAPÍTULO I 13
DINÂMICA DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL EM DIFERENTES PAISAGENS AGRÍCOLAS 13
RESUMO 13
ABSTRACT 14
INTRODUÇÃO 15
MATERIAL E MÉTODOS 16
Área de estudo 16
Caracterização dos sistemas 17
Decomposição da fração foliar 19
Monitoramento dos parâmetros geoclimáticos 20
Análise química do solo 21
Análise estatística 22
RESULTADOS E DISCUSSÃO 22
CONCLUSÕES 29
REFERÊNCIAS 29
CAPÍTULO II 33
RESPIRAÇÃO BASAL EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO E COBERTURA DA TERRA EM UM BREJO DE ALTITUDE 33
RESUMO 33
ABSTRACT 34
INTRODUÇÃO 35
MATERIAL E MÉTODOS 36
Quantificação do CO_2 edáfico 36
Monitoramento da temperatura e umidade edáficas 37
Análise estatística 38
RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
CONCLUSÕES 41
REFERÊNCIAS 41
CAPÍTULO III 44
INDICADORES QUALITATIVOS DO AMBIENTE EDÁFICO E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM SISTEMAS DE OCUPAÇÃO DA TERRA 44

RESUMO 44
ABSTRACT 45
INTRODUÇÃO 46
MATERIAL E MÉTODOS 47
Análise qualitativa dos sistemas 47
Análise estatística 48
RESULTADOS E DISCUSSÃO 49
Indicadores qualitativos do ambiente edáfico 49
Serviços ecossistêmicos 52
CONCLUSÕES 54
REFERÊNCIAS 54

CAPÍTULO I

DINÂMICA DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL EM DIFERENTES PAISAGENS AGRÍCOLAS

RESUMO

O funcionamento dos ecossistemas ou agroecossistemas depende, sobretudo, da interação solo-serapilheira. Assim, objetivou-se avaliar a influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais de *Azadirachta indica* e *Gliricidia sepium*. O estudo foi conduzido em quatro sistemas de ocupação da terra, sendo eles: remanescente florestal, sistema agroflorestal (SAF), mandala agrícola e pastagem. A taxa de decomposição foi estimada com o uso de sacolas de *nylon* (*litter bags*), contendo 20 g de folhas de *A. indica* e *G. sepium*, que foram dispostas na superfície do solo de cada área por um período de 18, 36, 54, 72, 90 e 108 dias. O material foliar remanescente foi coletado a cada dezoito dias, seco em estufa a 65 °C e pesado para avaliar a perda de massa em relação à massa inicial. Calculou-se, ainda, a constante de decomposição (*k*) e tempo de meia-vida (T½) do material vegetal. Paralelamente à coleta do material vegetal foram mensuradas a temperatura e umidade edáfica na profundidade de 0-10 cm na superfície. Adotou-se um DIC, considerando cada área como um tratamento e quatro repetições a cada coleta, para ambas as espécies. Os dados foram submetidos a uma análise de regressão e as médias foram compadas pelo teste Tukey ($p<0,05$). Os sistemas de uso e cobertura da terra influenciam a decomposição da fitomassa foliar de *A. indica* e *G. sepium*. Ambas as espécies apresentaram rápida taxa de decomposição. A temperatura edáfica, o conteúdo de água do solo e as características físico-químicas da fração foliar são fatores que influenciam fortemente a perda de massa das espécies estudadas.

Palavras-chave: Agroecossistemas; *Azadirachta indica*; Fitomassa foliar; *Gliricidia sepium*.

DYNAMICS OF ORGANIC PLANT MATTER DECOMPOSITION IN DIFFERENT AGRICULTURAL LANDSCAPES

ABSTRACT

The functioning of ecosystems or agroecosystems depends, above all, on the soil-litter interaction. Thus, the objective was to evaluate the influence of different land use and management systems on the dynamics of decomposition of plant residues of *Azadirachta indica* and *Gliricidia sepium*. The study was conducted in four land occupation systems, namely: forest remnant, agroforestry system (SAF), agricultural mandala and pasture. The decomposition rate was estimated using litter bags, containing 20 g of *A. indica* and *G. sepium* leaves, which were placed on the soil surface of each area for a period of 18, 36, 54, 72, 90 and 108 days. The remaining leaf material was collected every eighteen days, dried in an oven at 65 °C and weighed to assess the loss of mass in relation to the initial mass. The decomposition constant (*k*) and half-life time (T½) of the plant material were also calculated. Parallel to the collection of plant material, the temperature and soil moisture were measured at a depth of 0-10 cm on the surface. A DIC was adopted, considering each area as a treatment and four repetitions for each collection, for both species. Data were submitted to a regression analysis and means were compared by the Tukey test ($p<0.05$). Land use and land cover systems influence the decomposition kinetics of *A. indica* and *G. sepium* leaf phytomass. Both species showed a rapid rate of decomposition. Edaphic temperature, soil water content and physicochemical characteristics of the leaf fraction are factors that strongly influence the loss of mass of the studied species.

Keywords: Agroecosystems; *Azadirachta indica*; Leaf phytomass; *Gliricidia sepium*.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos agroecossistemas se dá por meio de interações energéticas, ciclagem de nutrientes e biodiversidade. As modificações das paisagens naturais e dos ecossistemas em função do uso intensivo do solo, bem como das práticas inadequadas de produção, ocasionam inúmeras alterações na biomassa microbiana e na composição e diversidade da macro e mesofauna edáfica, que são atores importantes no processo de fragmentação dos resíduos vegetais e sua redistribuição, mineralização e humificação da matéria orgânica do solo (ARAUJO et al., 2016; HOFFMANN et al., 2018).

O processo de decomposição da serapilheira regula o acúmulo de matéria orgânica no solo e a ciclagem de nutrientes, desempenhando importante papel na manutenção de ecossistemas florestais (OLIVEIRA et al., 2020). Em ecossistemas terrestres, a devolução de nutrientes por meio da decomposição da serapilheira constitui importante via do ciclo biogeoquímico (ALMEIDA et al., 2019). O mecanismo de decomposição se dá através da mineralização da biomassa que é resultado da ação de organismos decompositores, das características bioquímicas do material orgânico e das condições ambientais, como a umidade e a temperatura, que desempenham papel importante no processo de decomposição (BAUER et al., 2016; CUNHA et al., 2018).

Estudos recentes apontam que os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, a nível local, são influenciados pela qualidade do ambiente edáfico e do microambiente; ou seja, da interação entre a biota decompositora e os fatores do solo tais como temperatura e umidade, cuja combinação de seus efeitos depende do tempo de exposição da biomassa (SOUTO et al., 2013; PINTO et al., 2016; SOUZA et al., 2019; ASSIS et al., 2020). Compreender os processos envolvidos na decomposição e ciclagem de nutrientes, bem como os fatores que podem influenciar na dinâmica dessa ciclagem é de fundamental importância para a tomada de decisões relacionadas ao manejo adequado e a escolha de espécies que irão compor determinado sistema (SOUSA et al., 2020).

A gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth) é uma espécie arbórea nativa do México e América Central, pertencente à família Fabaceae, que tem sido amplamente introduzida nos trópicos nos últimos 200 anos, podendo ser facilmente encontrada em pastagens naturais degradadas, áreas de sucessão ecológica secundária e áreas antrópicas (MARIN et al., 2012). O nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) é uma árvore indiana pertencente à família Meliaceae que foi introduzida no Brasil na década de 1980 e se difundiu em várias regiões do país, sobretudo, no Nordeste, onde se adaptou bem ao clima local (SANTOS e FABRICANTE,

2020). Segundo esses autores, a despeito de suas múltiplas utilidades, essa espécie é uma exótica invasora que ainda carece de estudos. Embora diversos trabalhos já tenham sido realizados avaliando a decomposição de uma ampla variedade de espécies florestais no Brasil, dentre estas a gliricídia (ALVES et al., 2006; PAULA et al., 2015; SOUSA et al., 2020), estudos sobre a decomposição foliar do nim indiano, são escassos no país, apesar do grande potencial de utilização dessa espécie para diferentes finalidades (OLIVEIRA et al., 2020).

Mensurar a importância do processo de decomposição em diferentes sistemas de uso e manejo do solo pode fornecer, por sua vez, importantes informações que viabilizem práticas de manejo florestal e projetos de reabilitação em áreas degradadas. Nesse contexto, ainda há pouco interesse quanto a estudos acerca dos efeitos da intensificação da paisagem agrícola sobre a decomposição da fitomassa foliar de espécies exóticas em áreas de Brejos de Altitude nordestinos. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais de *A. indica* e *G. sepium*.

MATERIAL E MÉTODOS

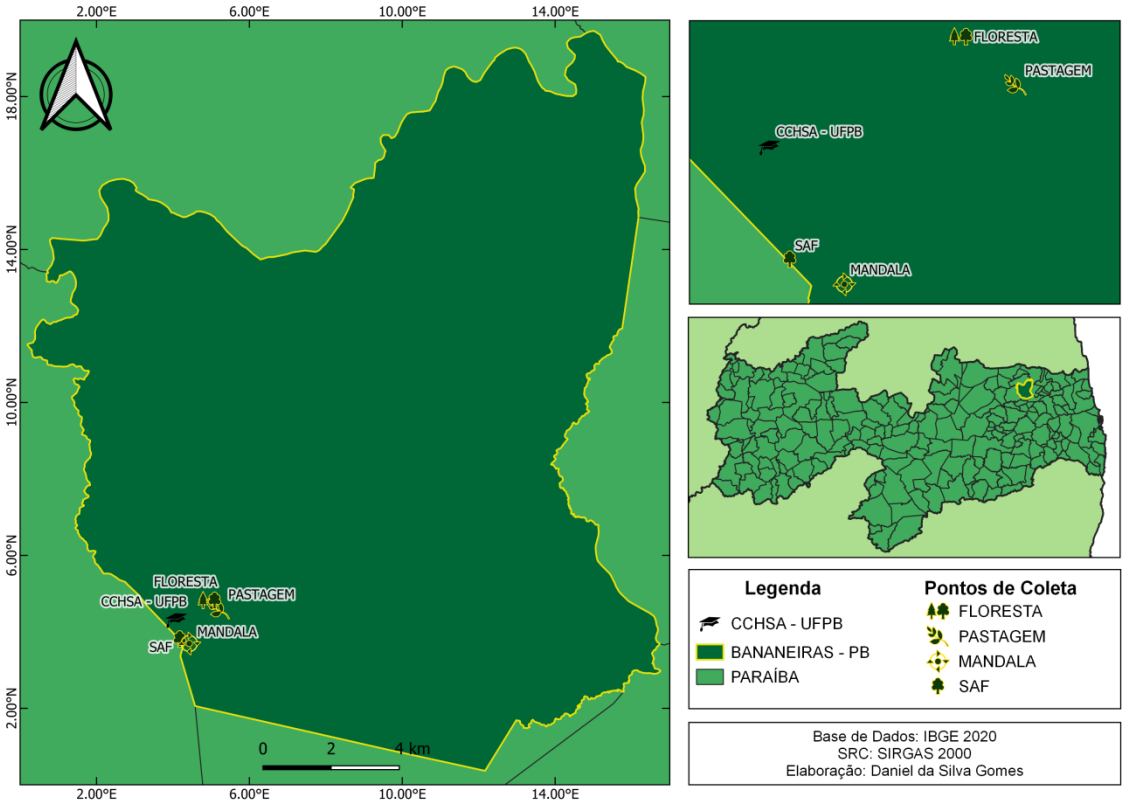
Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em quatro sistemas de ocupação da terra situados no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus III, Bananeiras, Paraíba (Figura 1). O município de Bananeiras ocupa uma área territorial de 258 km² e está localizado na Mesorregião do Agreste, mais especificamente na Microrregião do Brejo, a uma altitude de aproximadamente de 526 metros, distante 141 km da capital João Pessoa – PB (IBGE, 2021). O clima da região é classificado como As', (tropical chuvoso) quente e úmido (Classificação de Köppen) e se caracteriza por apresentar temperaturas de 18 a 27 °C e precipitação média anual de 1.200 a 1.500 mm, com chuvas de outono a inverno (concentradas nos meses de março a agosto).

O solo da região é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (SANTOS et al., 2018). A fitofisionomia da região é típica de Brejos de Altitude nordestinos, que segundo Barbosa et al. (2004), são áreas que apresentam microclimas dissociantes do contexto onde estão inseridos (semiárido). A umidade característica dessa região está associada ao efeito orográfico que aumenta os níveis de pluviosidade e diminuem as temperaturas, o que forma “ilhas” de microclima diferenciado; e suas formações florestais são disjunções de floresta atlântica, ilhadas pela vegetação da Caatinga, condição que torna essa região em uma área de elevada

biodiversidade.

Figura 1. Localização dos sistemas de ocupação da terra no município de Bananeiras, Paraíba, Brasil.



Caracterização dos sistemas

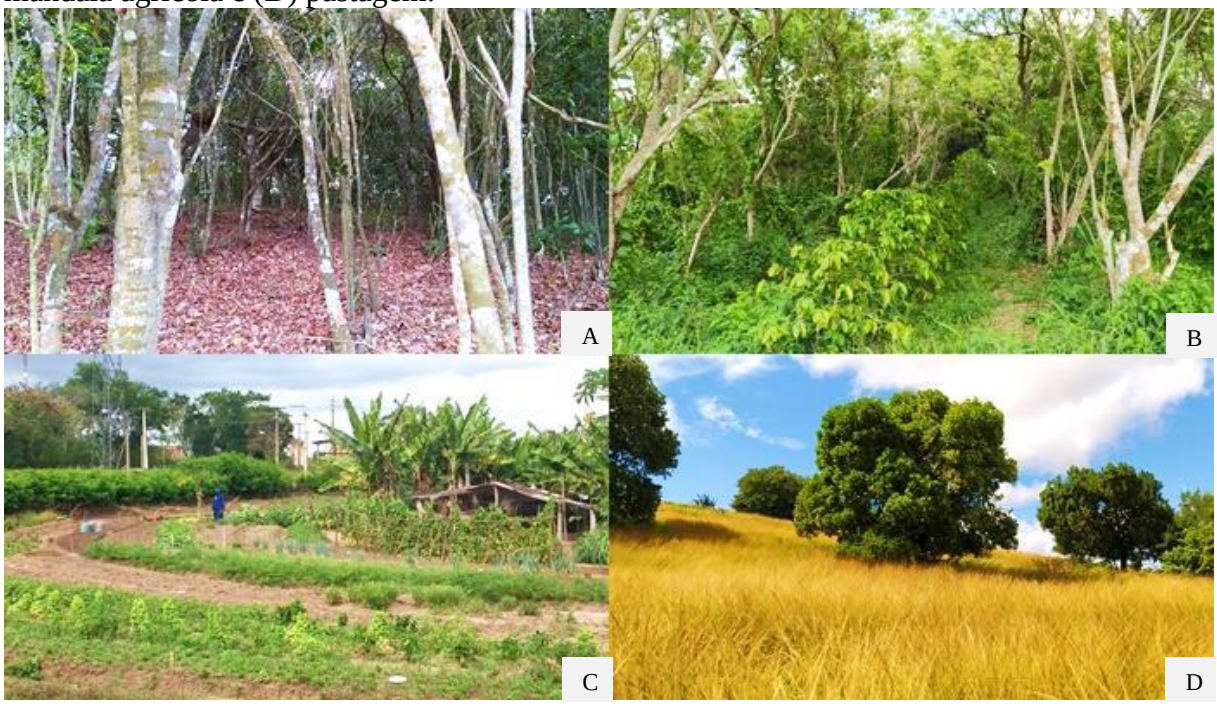
Os sistemas de ocupação da terra são descritos a seguir:

Floresta – O remanescente de Floresta Ombrófila Aberta, possui aproximadamente 35,5 ha^{-1} e é considerado um importante fragmento florestal ecotonal de Brejo de Altitude que abriga importantes espécimes autóctones representantes da tipologia vegetal de grande relevância fitogenética e ecológica para o resguardo da fauna e flora local. Dentre as espécies que ocorrem na área destacam-se o jatobazeiro (*Hymenaea courbaril* L.), pitombeiras (*Talisia esculenta* (Cambess.) Radlk.), biribas (*Eschweilera ovata* (Cambess.) Mart. ex Miers) e oiticicas (*Licania* sp.). O solo da área é coberto por uma espessa camada de serapilheira (Figura 2A). Não há sinais de intervenção antrópica no local, sugerindo, portanto, que a área encontra-se em bom estado de conservação.

Sistema Agroflorestal – O sistema agroflorestal (SAF) corresponde a uma área com cerca de 0,68 ha^{-1}. Implantado há aproximadamente 16 anos, possui a gliricídia (*Gliricídia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) como planta principal e o café (*Coffea* sp.), como planta

secundária nas entrelinhas, visto que trata-se de uma cultura que apresenta exigência de sombra, característica de espécies de sub-bosque (Figura 2B). O solo da área tem uma fina camada (3-5 cm) de serapilheira proveniente, sobretudo, da fitomassa da glicicídia e de algumas jaqueiras isoladas. No plantio do café a adubação do solo foi feita com esterco caprino/ovino e superfosfato simples como adubação de cobertura. Inicialmente o sistema era irrigado por gotejamento até a primeira frutificação do cafezal. Os tratos culturais que ocorrem na área são: capina seletiva, poda da gliricídia e a colheita do café.

Figura 2. Sistemas de uso e manejo do solo (A) floresta, (B) sistema agroflorestal, (C) mandala agrícola e (D) pastagem.



Mandala Agrícola – O sistema orgânico de produção em formato circular (Figura 2C) é uma área de aproximadamente 0,38 ha^{-1} que foi implantada há cerca de 17 anos, na qual é composta por frutíferas, a exemplo do mamoeiro e bananeira; culturas anuais – milho, macaxeira, feijão e abóbora; hortaliças – alface, cebolinha, cenoura, beterraba, couve, coentro, pimentão; plantas medicinais e aromáticas – manjericão, hortelã; e plantas alimentícias não convencionais (Panc), como a taioba. Há, frequentemente, um aporte considerável de matéria orgânica, proveniente de restos de cultura do próprio sistema e esterco de pequenos ruminantes. Por outro lado, a área é manejada sem muitos critérios técnicos. O sistema é capinado com frequência e irrigado, diariamente, com mangueiras e aspersores, não há o uso sistemático de cobertura morta nos canteiros, sendo que boa parte do solo fica exposto e/ou

dominado por plantas invasoras, como a tiririca (*Cyperus* sp.).

Pastagem – Área composta por gramíneas exóticas e nativas não identificadas, algumas herbáceas dominantes, a exemplo da salsa-roxa (*Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult.), algumas arbóreas esparsas, em sua maioria jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) e pequenos arbustos (Figura 2D). A área possui aproximadamente 1,15 ha^{-1} e não recebe muitos tratos culturais, exceto pela entrada de máquinas para arar e gradear o solo uma vez ao ano. Houve uma tentativa para recuperar a área com o capim *Panicum maximum*. No entanto, a área foi rapidamente infestada por plantas invasoras espontâneas. Periodicamente, ovinos da raça Santa Inês forrageiam na área.

Decomposição da fração foliar

Foram escolhidas duas espécies arbóreas para realizar a estimativa da decomposição foliar, sendo elas a *Azadirachta indica* e *Gliricidia sepium*. A escolha das espécies se deu pelo fato destas apresentarem diversas utilidades e terem sido introduzidas em várias regiões do Nordeste brasileiro, sobretudo, no semiárido, podendo adaptar-se facilmente a diversos sistemas de uso e manejo do solo (MARIN et al., 2012; SANTOS e FABRICANTE, 2020). O material foliar de cada espécie foi coletado diretamente dos indivíduos de *A. indica* e *G. Sepium*, estabelecendo como critério de coleta apenas folhas maduras presentes no comprimento do ramo, considerando que estas seriam as próximas a entrarem em processo de senescência.

A matéria fresca foi secada individualmente, em estufa a ±65 °C por 72 horas, até atingir peso constante. Da matéria seca inicial de cada espécie, foram obtidas amostras de 20,0 g, que foram acondicionadas em sacolas de *nylon* (*litter bags*), com malha de 2 mm^2 e dimensões de 20 × 30 cm. A malha utilizada teve o propósito de permitir o acesso da mesofauna, bem como microrganismos do solo que estão inseridos no processo de decomposição natural de folhas. Para estimar a taxa de decomposição, utilizou-se 96 bolsas de *nylon*, para cada espécie, devidamente identificadas e distribuídas ao acaso na superfície do solo de cada área, a fim de simular a queda natural das folhas ao solo, que formam a serapilheira. Foram recolhidas, de forma aleatória, quatro sacolas de cada sistema aos 18, 36, 54, 72, 90 e 108 dias, totalizando, ao fim do estudo, seis coletas. Esse intervalo de coleta foi escolhido tendo por base testes preliminares. Após cada coleta, os resíduos do material foliar foram encaminhados ao Laboratório de Fitossanidade do CCHSA/UFPB para a realização das etapas de limpeza de impurezas, em que foram removidas partículas de solo e de possíveis organismos presos às folhas, secagem em estufa e pesagem em balança analítica com precisão

de três casas decimais.

A constante de decomposição (*k*) da fração foliar de cada espécie foi calculado a partir dos valores de massa remanescente obtidos a cada coleta, os quais foram ajustados ao modelo exponencial recomendado por Thomas e Asakawa (1993), utilizando-se a seguinte equação:

$$Pt = P_0 \cdot e^{-k.t} \quad (1)$$

Em que: Pt = peso seco remanescente da amostra após t dias; P_0 = peso seco inicial, colocado nos sacos no tempo zero (t = 0); t = tempo em dias e *k* = constante de decomposição.

A fim de determinar a velocidade da decomposição em dias, calculou-se ainda, a partir da constante de decomposição (*k*), o tempo de meia-vida das folhas. Este valor é obtido por meio da linearização do modelo anterior, e seu resultado corresponde ao tempo requerido para que ocorra a decomposição de metade da quantidade inicial do material foliar analisado. Desse modo, adotou-se a seguinte equação:

$$T_{½} = \ln\frac{2}{k} \quad (2)$$

Em que: T½ = tempo de meia-vida das folhas e *k* = constante de decomposição obtida a partir do ajuste do modelo não linear.

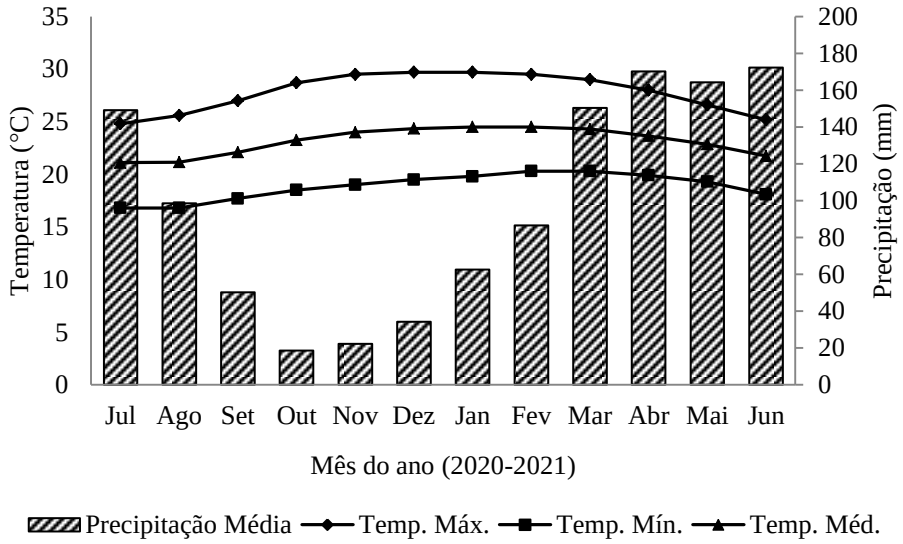
Os resíduos da matéria seca inicial de cada espécie, ou seja, aqueles que não foram utilizados nas *litter bags*, foram triturados em moinho e determinados os teores de carbono (C) via digestão nítrico-perclórica, através da queima em mufla à temperatura de 550 °C, de nitrogênio (N) pelo método Kjeldahl, celulose, hemicelulose e lignina, através do método da fibra em detergente ácido, conforme as metodologias descritas pela Embrapa (2009) e Silva & Queiroz (2002) para, então, calcular a relação C/N, Cel/N e Lig/N, cujos resultados, juntamente com os dos nutrientes supracitados, foram utilizados como preditores da perda de massa dos tratamentos.

Monitoramento dos parâmetros geoclimáticos

Paralelamente à coleta do material vegetal, que ocorreu de 01 de março a 16 de junho de 2021, durante o período chuvoso na região (Figura 3), foram mensuradas ao acaso a temperatura e umidade na superfície do solo sempre na mesma hora (13h00) no período diurno, utilizando um termômetro digital do tipo espeto Instrutherm® - TE-500. A escolha do período de avaliação se deu pelo fato de que neste horário ocorre a maior incidência da radiação ultravioleta sobre a superfície terrestre, podendo ser verificada, portanto, a influência da cobertura da terra (proporcionada pelo dossel das plantas) sobre a temperatura média e

amplitude térmica do solo nos sistemas avaliados.

Figura 3. Médias mensais de precipitação (mm), temperatura máxima, mínima e média (°C) no município de Bananeiras, PB (BDMEP, 2021).



A umidade do solo foi aferida mediante a coleta de amostras simples de solo na profundidade de 0-10 cm em cada área, com duas repetições para cada determinação. As amostras de solo foram levadas até o laboratório para serem pesadas em balanças de precisão de 0,001g, depois inseridas em cápsulas de alumínio e acomodadas em estufa a 105 ± 1 °C por um período de 24h. O teor de umidade do solo foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$U\% = \left(\frac{Pu - Ps}{Ps}\right).100 \quad (3)$$

Em que: U% – percentual de umidade do solo; Pu – peso úmido (g) e Ps – peso seco (g).

Análise química do solo

Amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-20 cm, sendo recolhidas quatro amostras simples em cada sistema. As amostras foram postas para secar a sombra em temperatura ambiente sob a bancada do Laboratório de Análise Físico Química do Solo no CCHSA/UFPB. Em seguida, as amostras foram destorroadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta. As análises foram realizadas seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2009). De acordo com a análise, a área de pastagem possui um solo com textura franco arenosa, enquanto que as áreas de remanescente florestal, sistema agroflorestal e mandala possuem uma textura de solo classificada como franco argilo arenosa. Além disso, os

solos dos quatro sistemas são relativamente ácidos e os maiores valores de matéria orgânica e carbono orgânico foram encontrados nos sistemas de ocupação floresta, SAF e mandala, respectivamente, enquanto que os menores valores foram observados no solo da pastagem (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos dos solos sob diferentes sistemas de ocupação da terra em um Brejo de Altitude no município de Bananeiras, PB.

Sistemas	pH H_2O (1:2,5)	P	K^+	Na^+	$H^+ + Al^{+3}$	Al^{+3}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SB	CTC	V	M.O	C.O
		---mg dm^{-3}---		----------cmol$_c$ dm^{-3}----------							%	----g kg^{-1}----	
Floresta	4,99	8,59	56,82	0,83	5,19	0,10	1,83	1,80	3,85	8,06	41,26	31,36	28,09
SAF	5,55	41,87	116,91	0,04	4,41	0,05	2,70	2,78	5,84	9,56	55,94	30,27	26,07
Mandala	5,84	85,86	113,30	0,23	1,49	0,35	3,45	1,88	5,73	7,54	84,34	27,22	22,87
Pastagem	5,61	15,75	96,30	0,01	1,64	0,10	0,98	1,75	3,00	4,14	69,59	14,39	8,65

Legenda: pH, potencial hidrogeniônico; P, fósforo assimilável; K^+, potássio trocável; Na^+, sódio trocável; $H^+ + Al^{+3}$, acidez trocável; Al^{+3}, alumínio trocável; Ca^{+2}, cálcio trocável; Mg^{+2}, magnésio trocável; SB, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V%, percentual de saturação por bases; M.O, matéria orgânica; C.O, carbônico orgânico.

Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, considerando cada área como um tratamento e quatro repetições a cada coleta, para ambas as espécies. Utilizaram-se os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, respectivamente. Os dados foram submetidos a uma análise de regressão em função do tempo de coleta e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p<0,05$) *a posteriori*. As análises estatísticas foram realizadas no *software* R, versão 4.1.0 (R CORE TEAM, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), houve efeito significativo entre os tratamentos a partir da quarta coleta das *litter bags*, considerando a espécie *G. sepium*, enquanto que para a espécie *A. indica* o efeito só foi significativo ($p<0,01$) para a primeira, segunda, terceira e sexta coleta, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da análise de variância da fitomassa remanescente de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* sob a superfície do solo de diferentes sistemas de ocupação da terra em função do período de coleta.

FV	GL	Quadrados Médios

		1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	5 ª coleta	6ª coleta
				Gliricidia sepium			
Tratamentos	3	13,12	4,71	2,16	2,61	4,31	1,73
Resíduo	12	3,73	3,02	0,66	0,45	0,09	0,33
Média		8,88	5,28	3,78	2,17	1,64	0,89
CV (%)		18,8	28,7	18,6	26,9	16,3	56,3
>F		$0,05^{ns}$	$0,25^{ns}$	$0,06^{ns}$	$0,01^{*}$	$7,87e^{-7**}$	$0,01^{*}$
				Azadirachta indica			
Tratamentos	3	39,00	52,21	38,97	2,56	2,34	3,35
Resíduo	12	1,86	2,33	5,11	1,52	1,15	0,23
Média		10,45	9,40	7,58	5,07	3,78	2,03
CV (%)		11,3	14,1	25,8	21,1	24,6	20,5
>F		$4,60e^{-5**}$	$3,29e^{5**}$	$0,004^{**}$	$0,22^{ns}$	$0,16^{ns}$	$0,000^{**}$

FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ^{ns}: Não significativo; *: Significativo (p<0,05); **: Significativo (p<0,01).

As médias dos teores iniciais ($g.kg^{-1}$) de carbono (C), nitrogênio (N), celulose, hemicelulose, lignina e a relação C/N, Cel/N e Lig/N, na fração foliar de *G. sepium* e *A. indica*, encontram-se na Tabela 3. As maiores relações C/N, Cel/N e Lig/N foram observadas para as folhas de *A. indica*.

Tabela 3. Caracterização da composição inicial (tempo zero) da fração foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica*.

Espécie	C	N	Celulose	Hemicelulose	Lignina	C/N	Cel/N	Lig/N
	.....g.kg^{-1}.....							
G. sepium	347,25	28,36	190,16	185,70	163,08	12,24	6,70	5,75
A. indica	448,08	18,78	215,10	213,38	207,04	23,85	11,45	11,02

Em que: C = Carbono orgânico; N = Nitrogênio total; Cel = Celulose; Lig = Lignina; C:N = Relação carbono/nitrogênio; Cel:N = Relação celulose/N; Lig:N = Relação lignina/N.

A diminuição efetiva do material foliar remanescente das espécies, ao longo dos 108 dias do estudo, nas condições edafoclimáticas da área experimental, resultou em diferenças significativas entre os valores médios dos tratamentos avaliados (p<0,05). A Tabela 4 apresenta as médias de massa remanescente por sistema de uso da terra para cada tempo de coleta, para ambas as espécies. Os sistemas foram agrupados de forma decrescente, para cada espécie, a partir da porcentagem total de massa decomposta ao término do experimento. Observa-se que a massa remanescente da *G. sepium* foi estatisticamente igual entre os sistemas até os 54 dias. Para a espécie *A. indica* a massa remanescente só foi estatisticamente semelhante entre os sistemas aos 72 e 90 dias. Deve-se destacar que estas duas espécies apresentaram uma taxa de decomposição relativamente rápida, visto que aos 108 dias, mais de

85% da fração foliar da *A. indica* havia sido decomposta, independente do sistema avaliado. Esse percentual foi ainda maior no caso da *G. sepium*, cuja porcentagem de massa decomposta foi superior a 90%, independente do sistema de cobertura da terra avaliado.

Tabela 4. Massa remanescente (g) e porcentagem final de massa decomposta no processo de decomposição foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* para cada sistema e período de coleta (dias).

Sistema	Tempo (dias)						Massa decomposta (%)
	18	36	54	72	90	108	
	Gliricidia sepium						
Pastagem	8,01 a	3,87 a	3,18 a	1,18 b	0,45 c	0,23 b	98,85
Mandala	11,51 a	6,34 a	3,92 a	2,23 ab	1,66 b	0,64 ab	96,80
Floresta	7,43 a	4,92 a	3,26 a	2,10 ab	1,46 b	0,89 ab	95,55
SAF	8,57 a	5,82 a	4,77 a	3,16 a	2,98 a	1,79 a	91,05
	Azadirachta indica						
Pastagem	14,69 a	14,53 a	12,23a	6,11 a	2,94 a	0,68 b	96,60
Mandala	10,89 b	9,35 b	5,65 b	4,24 a	3,34 a	2,33 a	88,35
Floresta	8,41 bc	6,88 b	6,53 b	5,22 a	4,49 a	2,43 a	87,85
SAF	7,82 c	6,85 b	5,90 b	4,73 a	4,37 a	2,70 a	86,50

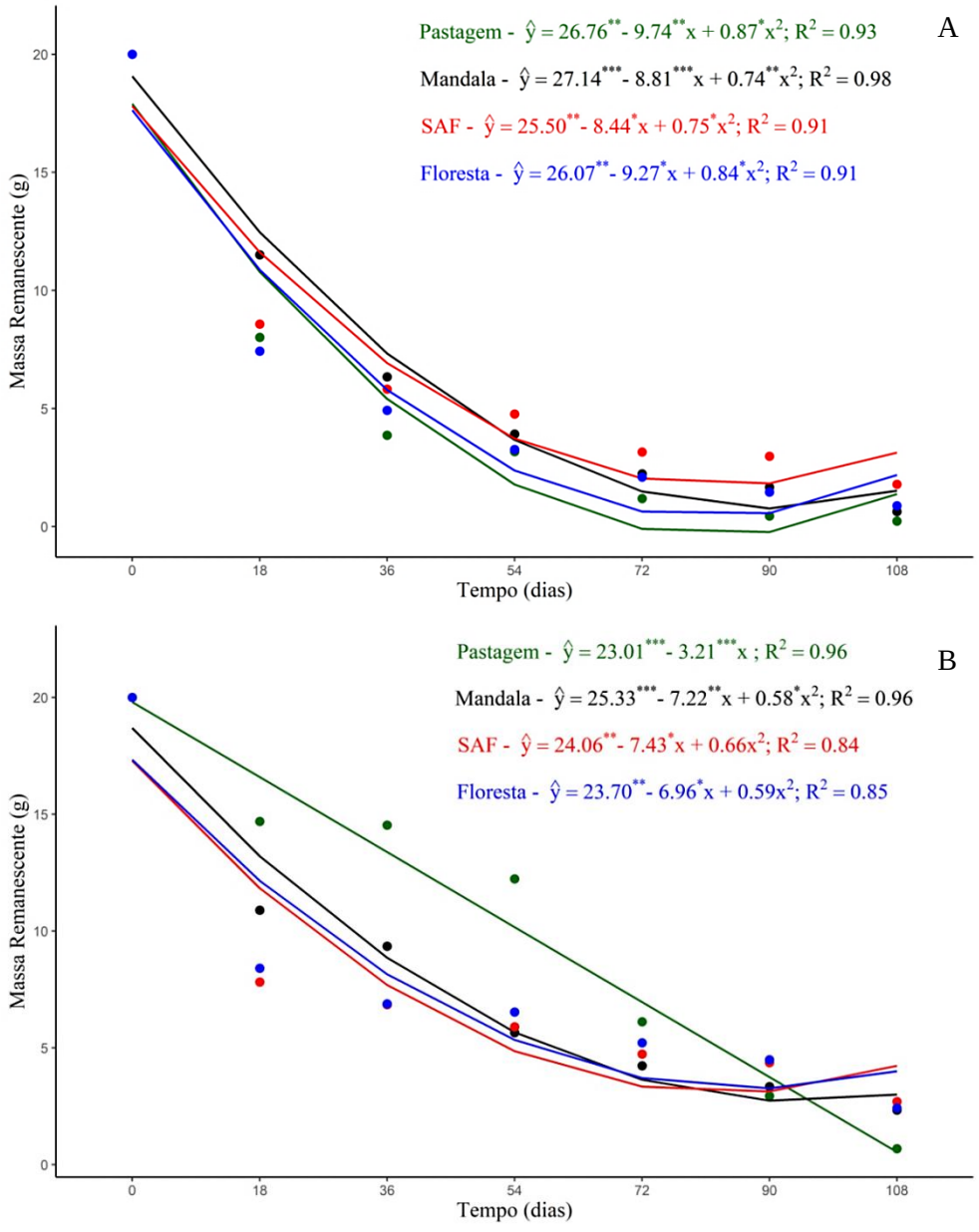
Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A Figura 4 evidencia que a perda de massa foliar foi contínua tanto para a *G. sepium* (Figura 4A) quanto para a *A. indica* (Figura 4B) em todos os sistemas de uso do solo em que as sacolas de *nylon* foram distribuídas. A partir da projeção gráfica das curvas de decomposição da *G. sepium* (Figura 4A), nota-se que o comportamento foi semelhante entre os sistemas, cujos dados ajustaram-se ao modelo polinomial quadrático. Faz-se válido destacar que na primeira coleta das *litter bags*, aos 18 dias, mais de 50% do material foliar havia sido decomposto, exceto para as bolsas de *nylon* que foram distribuídas na mandala agrícola, uma vez que a massa remanescente neste sistema foi de 11,5 g, ou seja, apenas 42,5% do material vegetal foi decomposto. Por outro lado, aos 108 dias os valores médios da massa remanescente de *G. sepium* foram próximos a 1 g, considerando todos os sistemas avaliados (Figura 4A).

Quanto à massa remanescente da *A. indica* (Figura 4B), observou-se uma decomposição mais lenta do resíduo vegetal na área de pastagem, quando comparado aos demais sistemas de uso da terra, visto que aos 54 dias a massa remanescente foi de 12,2 g, ou seja, apenas 38,85% do material foliar haviam sido decomposto. Por outro lado, neste mesmo sistema, a partir dos 54 dias percebeu-se uma redução acentuada da massa remanescente da *A. indica*, culminando em 0,68 g aos 108 dias, cujos dados ajustaram-se ao modelo linear. Isto se deve,

provavelmente, a uma maior exposição das bolsas de *nylon* às intempéries ambientais, fazendo com que o resíduo foliar passasse pelo umedecimento e desidratação de forma mais intensa, devido à precipitação e exposição aos raios solares, respectivamente, visto que há pouca cobertura vegetal neste sistema. Os valores médios de massa remanescente de *A. indica* dos demais sistemas de uso da terra ajustaram-se à equação polinomial quadrática, sendo que nos períodos iniciais os menores valores foram observados no sistema agroflorestal e floresta (Figura 4B), sugerindo, portanto, que provavelmente os microorganismos dentritívoros presentes nestes sistemas são mais eficazes na deterioração da matéria orgânica vegetal de espécies florestais.

Figura 4. Resíduo foliar remanescente (g) de *Gliricidia sepium* (A) e *Azadirachta indica* (B) em função do tempo para cada sistema de uso da terra avaliado.



Assis et al. (2020) ao avaliarem a decomposição da serapilheira em dois sistemas agroflorestais, sendo um recém-implantado e outro já estabelecido, com aproximadamente 1 e 10 anos de idade, respectivamente, constataram menor massa foliar remanescente e maior velocidade de decomposição no SAF já estabelecido, em virtude das características inerentes do próprio sistema, que favoreceram a decomposição. Apesar de se tratar de dois sistemas que apresentam semelhanças entre seus componentes, é interessante destacar que o tempo de uso e manejo podem influenciar a disponibilidade e liberação de nutrientes ao solo e o retorno destes para as culturas. Assim, mesmo que duas áreas estejam geograficamente próximas, sob o mesmo regime climático, mas com diferenças quanto à forma de ocupação e cobertura da terra, elas podem apresentar um comportamento de decomposição heterogêneo (BAUER et al., 2016). Gomes et al. (2021) também verificaram influência dos sistemas de uso e manejo do solo sobre a decomposição da biomassa seca de *G. sepium*, sendo o sistema agroflorestal, constituído de gliricídia e café, o sistema que apresentou maiores taxas de decomposição, sugerindo, portanto, que esta leguminosa pode ser indicada para suprir a demanda de biomassa e a oferta de nutrientes em sistemas agroflorestais.

A Tabela 5 expõe a constante de decomposição (*k*) e a projeção do tempo de meia-vida (T½) das espécies para cada sistema de uso e manejo do solo. Observa-se que as equações utilizadas para estimar a decomposição das duas espécies refletem de forma aproximada os dados observados em campo. As espécies *G. sepium* e *A. indica* apresentam valores de *k* variando de 0,0300 a 0,0433 $g.g^{-1}$dia e 0,0182 a 0,0268 $g.g^{-1}$dia, respectivamente.

Tabela 5. Constante de decomposição e tempo de meia-vida da fração foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica* ajustados por meio de modelo exponencial simples para cada sistema de uso e cobertura da terra.

Sistemas	Parâmetros				
	P_0	*k* ($g.g^{-1}$dia)	R^2	EPE	T½ (dias)
		Gliricidia sepium			
Pastagem	20,00	0,0433	0,93	0,0021	16
Mandala	20,00	0,0311	0,98	0,0063	22
SAF	20,00	0,0300	0,91	0,0061	23
Floresta	20,00	0,0364	0,91	0,1838	19
		Azadirachta indica			
Pastagem	20,00	0,0182	0,96	0,0020	37
Mandala	20,00	0,0235	0,96	0,0048	29
SAF	20,00	0,0268	0,84	0,0054	25
Floresta	20,00	0,0258	0,85	0,1665	26

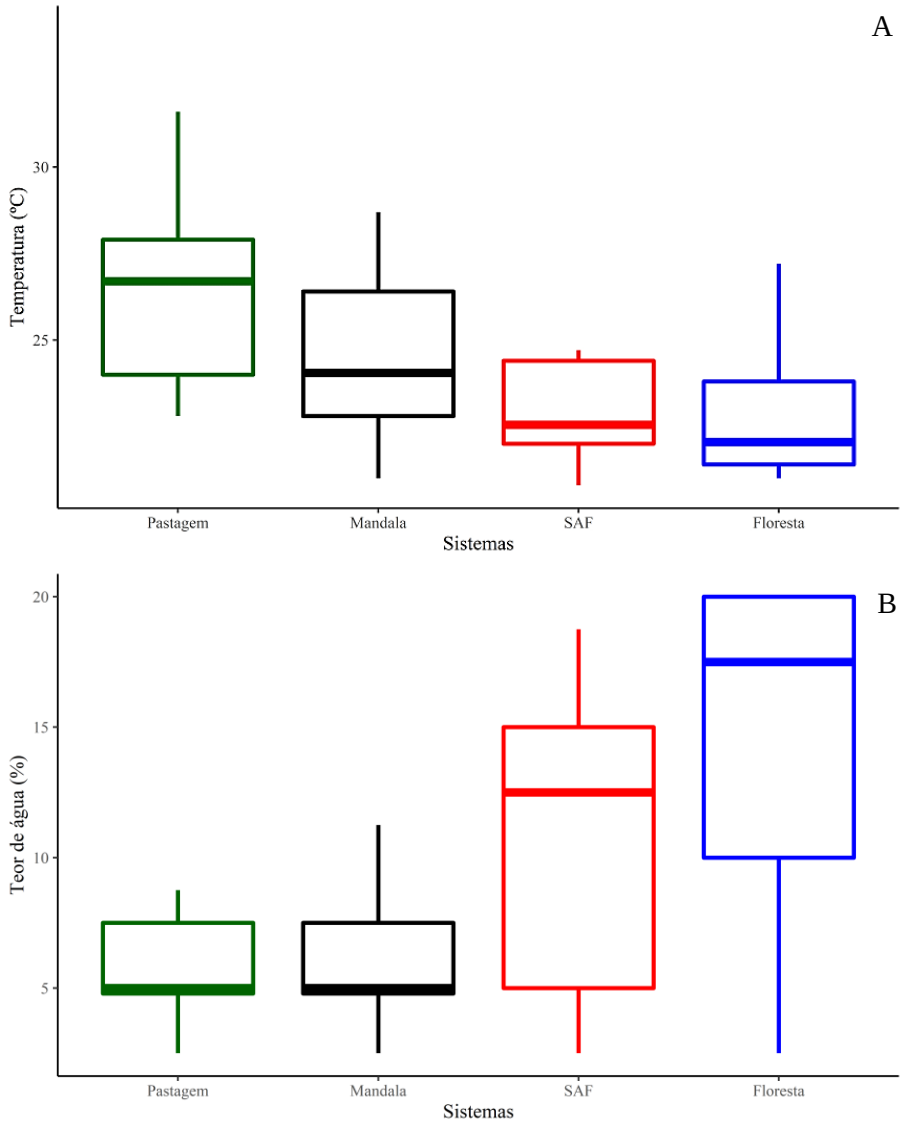
Em que: P_0: massa inicial (g); *k*: constante da decomposição; r^2: coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa de *k*; EPE: Erro-padrão da estimativa de *k*; T½: tempo de meia-vida do material foliar.

Considerando os valores de T½, a *G. sepium* levou cerca de 16 a 23 dias, dependendo do sistema de uso da terra, para decompor 50% de sua massa foliar. No caso da *A. indica* estes valores foram um pouco maiores, variando entre 25 e 37 dias, dependendo do sistema de uso da terra (Tabela 5). Apesar de o T½ da *G. sepium* ter sido menor no sistema pastagem, deve-se destacar que o maior T½ da *A. indica* foi observado neste mesmo sistema de uso da terra. Este fato pode estar relacionado não apenas pela qualidade do microambiente, mas também pelas características físico-químicas do material vegetal (PINTO et al., 2016). Segundo Alves et al. (2006), a gliricídia é uma planta que apresenta baixa resistência a decomposição quando comparada a outras espécies que ocorrem em áreas de Caatinga. Além disso, foi observado nesta pesquisa maior conteúdo de N e menores relações C/N, Cel/N e Lig/N para a *G. sepium* (Tabela 3), que estariam conferindo menor recalcitrância do material vegetal, em relação a *A. indica*.

Paula et al. (2015) e Sousa et al. (2020) também observaram que a *G. sepium* demonstrou os menores tempos de meia-vida quando comparada à outras espécies comumente utilizadas em sistemas agroflorestais. De acordo com esses autores, o aporte da biomassa e a decomposição dos resíduos vegetais pode ser uma importante fonte de carbono e nutrientes para a biota do solo e, posteriormente, para as plantas. Para as espécies arbóreas cujo sistema radicular é profundo, estas são capazes de extrair nutrientes de camadas mais profundas do solo, deixando-os ao alcance para o crescimento das culturas através da ciclagem.

Ao se analisar a temperatura edáfica (Figura 5A) em cada sistema de ocupação da terra, nota-se que as maiores temperaturas foram observadas no sistema pastagem, com mediana igual a 27,45 °C, seguido pelos sistemas mandala agrícola, SAF e floresta, com medianas de 24,05; 22,55 e 22,05 °C, respectivamente. Por outro lado, os maiores valores de conteúdo de água do solo (Figura 5B) foram observados na seguinte ordem crescente: pastagem (5%), mandala agrícola (5%), SAF (12,5%) e floresta (17,5%). Estas são características interessantes, pois evidencia que sistemas de uso da terra que apresentam cobertura vegetal densa apresentam baixas temperaturas edáfica e elevado conteúdo de água no solo, devido à presença de serapilheira. Essas características podem influenciar a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais que são depositados na superfície do solo, sobretudo, pela atividade dos microorganismos edáficos.

Figura 5. Distribuição de frequência da temperatura edáfica (°C) (A) e umidade do solo (%) (B) em sistemas sob diferentes formas de uso e cobertura da terra.



Em que: Porção mais estreita dentro de cada caixa representa a mediana; limites do entalhe da caixa indicam o intervalo de confiança da mediana; limites inferior e superior da caixa mostram os quartis inferior e superior, respectivamente; barras verticais apontam os valores de máximo e mínimo.

A umidade do solo decorrente das chuvas (Figura 5B) pode ter sido um fator determinante para o processo de decomposição das amostras, visto que o estudo foi conduzido durante o período chuvoso na região, resultando em temperaturas e conteúdos de umidade edáfica supostamente favoráveis ao processo de decomposição. Outros autores também constataram uma maior taxa de decomposição da serapilheira foliar de outras espécies arbóreas nos períodos de maior conteúdo de água no solo, refletindo em uma intensa atividade dos microrganismos (SOUTO et al., 2013; ALMEIDA et al., 2019; SOUSA et al., 2020).

A produção de biomassa da *G. sepium* e *A. indica* pode favorecer em longo prazo o

aumento da fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes para culturas intercalares em sistemas agroflorestais ou ILPF, desde que ajustes no manejo de podas e nas densidades de consórcios sejam considerados para evitar possíveis competições com as culturas de interesse agronômico. No entanto, apesar de se tratar de duas espécies que apresentam diversas utilidades, ambas são exóticas e a introdução dessas espécies no setor agrícola e paisagístico deve ser tomada com cautela, sobretudo, a *A. indica,* pois esta é uma agressiva exótica invasora e alguns estudos apontam que essa espécie é capaz de liberar potentes aleloquímicos no ambiente e de causar impactos sobre biota nativa (SANTOS; FABRICANTE, 2020).

Sugere-se que outros estudos sejam conduzidos nessa linha de pesquisa, avaliando a cinética de decomposição de outras espécies arbóreas, preferencialmente, espécies nativas com potencial para recuperação de áreas degradadas, bem como avaliar a interação entre as estações do ano (período chuvoso × período seco) e as espécies ou sistemas de uso e cobertura da terra. Tais estudos podem fornecer, por sua vez, importantes informações que viabilizem práticas de manejo florestal e projetos de reabilitação em áreas historicamente degradadas.

CONCLUSÕES

Os sistemas de uso e cobertura da terra influenciam a decomposição da fitomassa foliar de *Gliricidia sepium* e *Azadirachta indica*.

As espécies *G. sepium* e *A. indica* apresentam rápida taxa de decomposição no período avaliado, considerando todos os sistemas.

A velocidade de decomposição de *G. sepium* é maior no sistema de uso da terra pastagem, seguido pela floresta, mandala agrícola e sistema agroflorestal, nessa ordem.

A velocidade de decomposição de *A. indica* é maior no sistema agroflorestal, seguido pela floresta, mandala agrícola e pastagem, nessa ordem.

A temperatura edáfica, o conteúdo de água do solo e as características físico-químicas do material vegetal são fatores que influenciam fortemente a decomposição foliar.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. X.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; ALMEIDA NETO, J. X. SILVA, J. J. C. Taxas de decomposição foliar e de liberação de N, P e K de espécies da Caatinga. **Ambiência**, v. 15, n. 1, p. 1-18, 2019.

ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; CAMPOS, M. C. Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 57-63, 2006.

ARAUJO, K. D.; SOUZA, M. A.; SANTOS, G. R.; ANDRADE, A. P.; NETO, J. V. F. Atividade microbiana no solo em diferentes ambientes da região semiárida de Alagoas. **Geografia (Londrina)**, v. 25, n. 2, p. 5-18, 2016.

ASSIS, V. P.; COSTA, P. F., SANTOS, M.; FRÓES, C. Q.; SILVA, M. C. O. Decomposição foliar da serapilheira de dois sistemas agroflorestais no Cerrado Sul-Mato-Grossense. **Holos Environment**, v. 20, n. 4, p. 522-538, 2020.

BARBOSA, M. R. V.; AGRA, M. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CUNHA, J. P.; ANDRADE, L. A. Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (Orgs). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, p.111-122, 2004.

BAUER, D.; SANTOS, E. L.; SCHMITT, J. L. Avaliação da decomposição de serapilheira em dois fragmentos de Caatinga no Sertão Paraibano. **Pesquisas Botanica**, n. 69, p. 307-318, 2016.

BDMEP. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. 2021. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 17 maio 2021.

CUNHA, G. M.; TINTORI, J. L.; MOREIRA, G. R.; SILVA, D. M.; PIVATTO, G. L. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em Sistema Agroflorestal com cafeeiro no Sul do Estado do Espírito Santo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n.1, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

GOMES, D. S.; BARBOSA, A. S.; SANTOS, T. M.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; AQUINO, Í. S. Cinética de liberação de CO_2 e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**, v.10, n.1, p.e9810111413, 2021.

HOFFMANN, R. B., LIMA, S. V., HOFFMANN, G. S.S., ARAÚJO, N. S. F. Efeito do uso do solo sobre a macrofauna edáfica. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 125-133, 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/bananeiras/panorama>. Acesso em: 8 março 2021.

MARIN, A. M. P. et al. **Gliricídia**: árvore alternativa para o semiárido brasileiro. Campina Grande: INSA, 2012, 12p.

OLIVEIRA, A. M.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; NOVAES, A. B.; CARVALHO, F. F.; MEIRELES, I. E. S. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 845-855, jul./set., 2020.

PAULA, P. D.; CAMPELLO, E. F. C.; GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; RESENDE, A. S. Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um Sistema Agroflorestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 791-800, jul./set., 2015.

PINTO, H. C. A.; BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; PAULA, A.; AMARAL, A. R. Decomposição da serapilheira foliar de floresta nativa e plantios de *Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* no Sudoeste da Bahia. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 1141-1153, 2016.

R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em 16 jul. 2021.

SANTOS, G.; FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no Nordeste Brasileiro. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 07-12, 2020.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos**: métodos químicos e biológicos.

Viçosa: UFV, 2002. 235 p.

SOUSA, I. R. L.; PAULETTO, D.; LOPES, L. S. S.; RODE, R.; PELEJA, V. L.; FREITAS, B. B. Taxa de decomposição foliar de espécies utilizadas em sistemas agroflorestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 2, p. 118-126, 2020.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; BAKKE, I. A.; SALES, F. C. V.; SOUZA, B. V. Taxa de decomposição da serapilheira e atividade microbiana em área de Caatinga. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 559-565, 2013.

SOUZA, M. A.; CALHEIROS, A. R.; ARAUJO, K. D.; GOMES, D. L.; LIRA, E. S.; SANTOS, É. M. C. Composição química e taxa de decomposição foliar de *Byrsonima gardneriana* A. Juss. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 2, p. 323-331, 2019.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.

CAPÍTULO II

RESPIRAÇÃO BASAL EDÁFICA EM SISTEMAS DE USO E COBERTURA DA TERRA EM UM BREJO DE ALTITUDE

RESUMO

O desmatamento e a exploração desordenada dos recursos naturais visando à expansão agropecuária aconteceram de forma acelerada na Microrregião do Brejo do Estado da Paraíba, o que resultou no desgaste e abandono do solo em grande parte da região. Diante desse contexto, objetivou-se avaliar a respiração edáfica em sistemas sob diferentes formas de uso e cobertura da terra em áreas de Brejo de Altitude. O estudo foi conduzido em quatro sistemas de uso e cobertura da terra, sendo eles: pastagem, mandala agrícola, sistema agroflorestal (SAF) e floresta. A atividade microbiana foi estimada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) desprendido no processo de respiração edáfica, a partir da superfície do solo, e capturado por solução de KOH. Simultaneamente à análise da respiração edáfica, foram monitorados a temperatura (°C) e o conteúdo de água do solo (%). As formas de uso e cobertura da terra têm efeito direto sobre a atividade metabólica dos organismos edáficos e os fatores climáticos, a exemplo da temperatura e umidade do solo, influenciam na dinâmica de decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, na liberação de CO_2. A produção de CO_2 é maior no período noturno em relação ao diurno, independente dos sistemas analisados. Dentre as áreas avaliadas, a floresta foi a que apresentou menores emissões de CO_2, sendo considerada, portanto, como um receptor de CO_2 em contraposição a área de pastagem que funcionou como um emissor de CO_2. Técnicas de manejo que reduzem a temperatura superficial e aumenta o teor de matéria orgânica devem ser priorizadas para a promoção da biota do solo.

Palavras-chave: Bioindicador. Carbono. Manejo. Mudanças climáticas. Organismos edáficos. Temperatura.

BASAL EDAPHIC RESPIRATION IN LAND USE AND COVER SYSTEMS IN AN HIGHLAND BREJO

ABSTRACT

Deforestation and disordered exploitation of natural resources aiming at agricultural expansion occurred in an accelerated way in the Brejo Microregion of the State of Paraíba, which resulted in soil erosion and abandonment in much of the region. In view of this context, the objective was to evaluate edaphic breathing in systems under different forms of land use and coverage in Highland Brejo areas. The study was conducted in four land use and land cover systems, namely: pasture, agricultural mandala, agroforestry system (SAF) and forest. The microbial activity was estimated by the quantification of carbon dioxide (CO_2) released in the process of edaphic respiration, from the soil surface, and captured by KOH solution. Simultaneously with the analysis of the edaphic respiration, the temperature (°C) and the soil water content (%) were monitored. The forms of land use and cover have a direct effect on the metabolic activity of edaphic organisms and climatic factors, such as soil temperature and humidity, influence the decomposition dynamics of organic matter and, consequently, the release of CO_2. CO_2 production is higher at night compared to daytime, regardless of the systems analyzed. Among the evaluated areas, the forest was the one with the lowest CO_2 emissions, being considered, therefore, as a CO_2 receiver in contrast to the pasture area that functioned as a CO_2 emitter. Management techniques that reduce the surface temperature and increase the organic matter content should be prioritized for the promotion of soil biota.

Keywords: Bioindicator. Carbon. Management. Climate changes. Soil organisms. Temperature.

INTRODUÇÃO

A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera aumentou significativamente desde o início da revolução industrial, principalmente associados às emissões antropogênicas, sobretudo, as relacionadas com a alteração do uso do solo (PAIS et al., 2020). Dentre os GEE's o CO_2 é o mais produzido pelo homem e a conversão de áreas de vegetação natural visando à expansão agrícola tem causado mudanças que afetam diretamente a dinâmica e o ciclo do carbono, refletindo em profundas alterações ambientais e climáticas (SIMON et al., 2019). Tendo em vista que os sistemas agrícolas são particularmente vulneráveis às mudanças climáticas, as tentativas de alcançar maior produtividade das culturas com o uso mais eficiente dos recursos e minimizando os impactos ambientais, tornam-se urgentes e necessárias (PAIS et al., 2020).

O crescente nível de degradação dos solos tem promovido à adoção de manejos agrícolas que aliem a produção agropecuária à conservação do ambiente edáfico (KUNDE et al., 2018). Nesse sentido, sistemas que integram vegetação natural e ecossistemas transformados pelo homem são eficientes para produzir bens e serviços, além de atuar como potencial sumidouro de carbono para a atmosfera por estocar maior quantidade de carbono no solo (NOGUEIRA et al., 2020). Esses sistemas que integram diferentes componentes garantem a recuperação de áreas degradadas e a potencialização do uso da terra, e por essa razão têm se tornado cada vez mais frequentes, o que exige conhecimento técnico-científico para assegurar a sua viabilidade socioeconômica e ambiental (STIEVEN et al., 2020).

Na Mesorregião do Agreste da Paraíba há uma carência de estudos sobre a seleção de indicadores de alterações químicas, físicas e biológicas do solo em áreas sob diferentes formas de uso e cobertura, tendo como referência o solo sob vegetação natural. Estudos dessa natureza são importantes, pois fornecem informações relevantes acerca da qualidade do ambiente edáfico e da sustentabilidade dos sistemas de cultivo orgânico (SILVA et al., 2015). Nessa perspectiva, a respiração edáfica, que é a oxidação biológica da matéria orgânica à CO_2 pelos microrganismos, ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres e configura-se como um dos parâmetros mais empregados para quantificar a atividade microbiológica do solo, podendo ser utilizada como biodindicadora de mudanças na dinâmica do carbono do solo em áreas que sofreram alterações na sua cobertura (VALENTINI et al., 2015).

Os Brejos de Altitude nordestinos são áreas que apresentam microclimas distintos em relação a sua região climática de inserção, o semiárido, condição que faz dessa região uma

área de elevada biodiversidade faunística e florística (BARBOSA et al., 2004). No entanto, na Microrregião do Brejo do Estado da Paraíba a exploração desordenada dos recursos naturais e o desmatamento visando à expansão agropecuária aconteceram de forma acelerada, o que resultou no desgaste e abandono do solo em grande parte da região. Diante desse contexto, objetivou-se avaliar a respiração edáfica em sistemas sob diferentes formas de uso e cobertura da terra em áreas de Brejo de Altitude.

MATERIAL E MÉTODOS

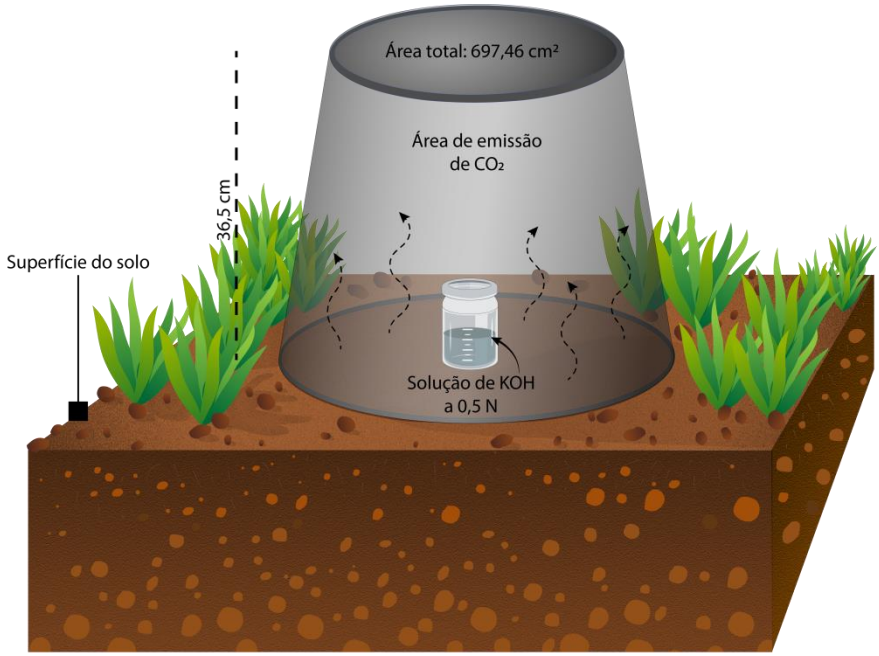
A localização da área de estudo e a caracterização dos sistemas de uso e cobertura da terra podem ser consultados no Capítulo I deste trabalho (ver seção: Material e Métodos).

Quantificação do CO_2 edáfico

O monitoramento da respiração edáfica foi realizado entre o 26-27º dia dos meses de dezembro/2019, janeiro e fevereiro/2020, durante o período seco na região. Para quantificar o dióxido de carbono liberado em cada sistema, utilizou-se a metodologia proposta por Grisi (1978), na qual o CO_2 liberado do solo é capturado por uma solução de hidróxido de potássio (KOH – 0,5N) e em seguida, quantificado através de titulação com ácido clorídrico (HCl – 0,1N), tendo como indicadores, a fenolftaleína e o alaranjado de metila, ambos a 1% de concentração (MORITA & ASSUMPÇÃO, 1972).

Na captura de CO_2, os recipientes contendo 10 mL da solução KOH permaneceram em campo cobertos individualmente por um balde invertido durante 12 horas para cada turno, diurno (05h00 às 17h00) e noturno (17h00 às 05h00). Utilizou-se ainda, duas amostras-controle para cada área, e estas permaneceram fechadas durante todo o processo para evitar as trocas e ao final passaram pelo processo de titulação. Os baldes possuíam um diâmetro de 29,8 cm e altura de 36,5 cm, cobrindo uma área de 697,46 cm^2 (Figura 1). Os baldes tiveram as bordas enterradas no solo para evitar as trocas gasosas.

Figura 1. Esquematização do método empregado para captura do CO_2 desprendido do solo.



Fonte: Autor (2021)

A determinação do CO_2 absorvido foi feita através da seguinte equação:

$$ACO_2 = (A - B) * 2 * 2{,}2 \text{ em mg}$$

$$A'CO_2 = ACO_2 * \left(\frac{4}{3} * \frac{10.000}{h} + S\right) \text{ em mg}$$

Em que: A'CO_2 – absorção de CO_2; A – diferença entre a 1ª e a 2ª etapa da titulação da amostra (mL); B – diferença entre a 1ª e 2ª etapa da titulação da amostra controle (mL); h – período de permanência da amostra no solo (horas); S – área de abrangência do balde (cm^2).

Para cada sistema de uso da terra foram delimitados três transectos com uma área de aproximadamente 2,5 m^2, a uma distância mínima de 25 metros entre um transecto e outro. Cada transecto possuía três pontos amostrais (n = 9 pontos amostrais por sistema). Os parâmetros climáticos como precipitação e temperatura média no município durante todo o período experimental foram averiguadas mediante consulta no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). A precipitação acumulada e a temperatura média foram de aproximadamente 45 mm e 24,7 ± 2 °C, respectivamente.

Monitoramento da temperatura e umidade edáficas

A temperatura do solo foi aferida a 10 cm de profundidade em cada transecto através de

um termômetro do tipo espeto Instrutherm® - TE-400. Partindo do pressuposto de que a temperatura do solo permanece praticamente estável (25 ± 1 °C) entre os sistemas durante todo o período noturno (observação baseada em testes preliminares), optou-se por aferir a temperatura do solo semanalmente ao meio-dia (12h00). A escolha do horário se deu pelo fato de que neste tempo ocorre a maior incidência da radiação ultravioleta sobre a superfície terrestre, podendo ser verificada, portanto, a influência da cobertura da terra (proporcionada pelo dossel das plantas) sobre a temperatura média e amplitude térmica nos sistemas avaliados. A determinação do teor de umidade do solo foi realizada simultaneamente com a análise de temperatura da superfície. A umidade do solo foi aferida mediante a coleta de amostras simples de solo na profundidade de 0-10 cm em cada transecto. As amostras de solo foram levadas até o laboratório para serem pesadas em balanças de precisão de 0,0001g, depois inseridas em cápsulas de alumínio e acomodadas em estufa a 105 ± 1 °C por um período de 24h. O teor de umidade do solo foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$U\% = \left(\frac{Pu - Ps}{Ps}\right).100$$

Em que: U% – percentual de umidade do solo; Pu – peso úmido (g) e Ps – peso seco (g).

Análise estatística

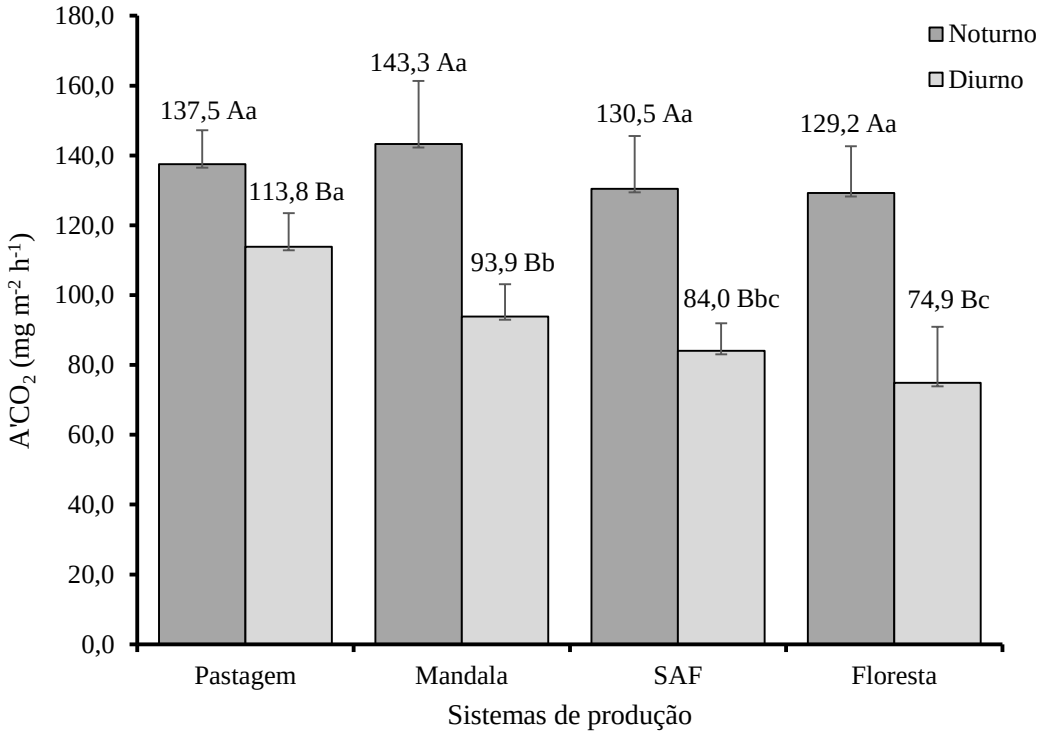
O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 9 repetições por tratamento (áreas), seguindo o arranjo fatorial de 4 × 2 (sistema × turno). Utilizaram-se os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, respectivamente. Refutando a hipótese de igualdade entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0.05$) para analisar a diferença entre as médias. A análise estatística foi realizada mediante o uso do *software* estatístico R, versão 3.4.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ($p<0.01$) para a interação sistema × turno, bem como para os fatores isolados. De acordo com o estudo da respirometria de campo, a liberação de CO_2 emanado do solo é significativamente maior durante o período noturno quando comparado ao período diurno, em todos os sistemas de uso da terra avaliados (Figura 2). Ao observar as médias de CO_2 em cada sistema, nota-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos no período noturno, sendo emanada uma quantidade entre 129,2 e 143,3 mg m^{-2}

h^{-1}. No entanto, ao observar os sistemas no período diurno, constata-se uma maior liberação de CO_2 edáfico no sistema de uso pastagem (113,8 mg m^{-2} h^{-1}), seguido pela mandala agrícola (93,9 mg m^{-2} h^{-1}), SAF (84 mg m^{-2} h^{-1}) e floresta (74,9 mg m^{-2} h^{-1}) (Figura 2). Essa diferença na concentração de CO_2 diurno entre os sistemas pode ser atribuída às características inerentes ao solo de cada área e a forma de uso ou manejo adotado que associados aos estímulos do ambiente, como umidade e temperatura da superfície, exercem influência sobre os processos metabólicos dos organismos edáficos (GOMES et al., 2021).

Figura 2. Respiração edáfica diurna e noturna em diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

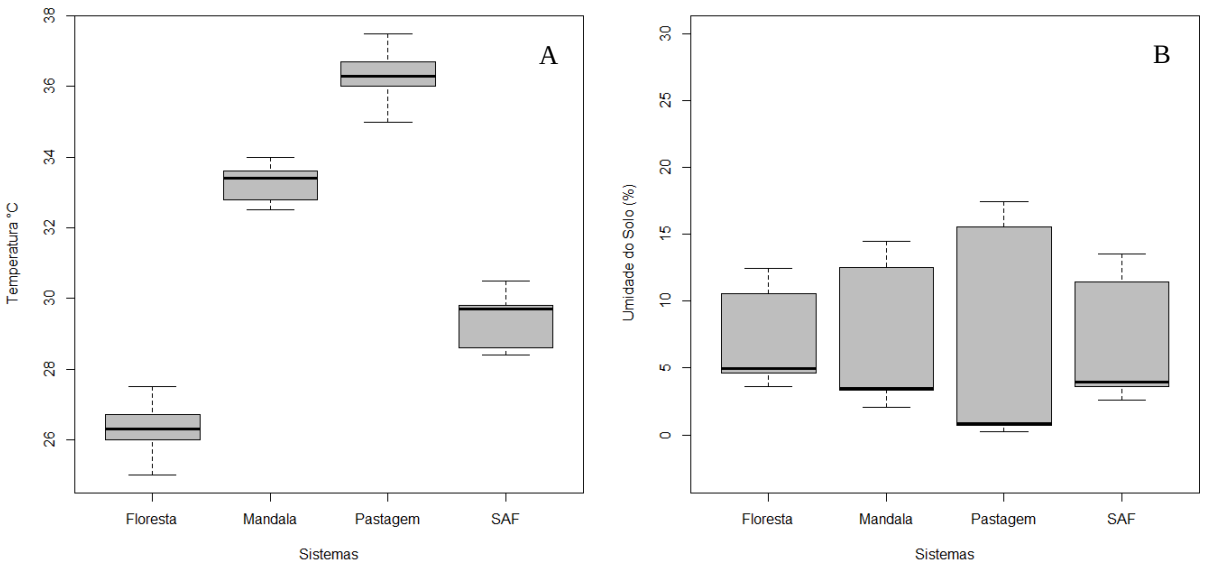


Letras maiúsculas comparam os turnos para cada sistema de uso da terra, letras minúsculas comparam os sistemas de uso da terra para cada turno.

O equilíbrio entre a entrada e saída de carbono do solo tem fortes influências nas concentrações de CO_2 atmosférico e a forma de ocupação e manejo do solo pode afetar esse processo natural modificando o fluxo de CO_2 do solo para a atmosfera (emissão) ou da atmosfera para o solo (sequestro). Assim, é crescente o interesse em promover o sequestro de C em solos agrícolas como uma forma de atenuar o aumento dos níveis de CO_2 na atmosfera (SANTOS, 2019). Quanto mais carbono houver estocado no solo na forma de matéria orgânica, mais vida haverá no solo, maior será retenção de umidade e mais nutrientes estarão disponíveis para as plantas.

As distribuições de frequência da temperatura da superfície foram significativamente diferentes entre os sistemas de uso e cobertura da terra (Figura 3A). Observa-se no sistema de uso floresta a ocorrência de temperaturas amenas, com mediana igual a 26,3 °C (Figura 3A). No sistema agroflorestal e na mandala agrícola a temperatura mediana foi de 29,7 e 33,4 °C, respectivamente. Por outro lado, o sistema de uso pastagem apresentou os maiores valores de temperatura média do solo, com mediana igual a 36,3 °C (equivalente a 1,3 vezes o valor observado na floresta) e temperaturas mínima e máxima de 35 e 37,5 °C, respectivamente. Em relação ao percentual de umidade do solo (Figura 3B) as maiores amplitudes foram observadas no sistema de uso pastagem, oscilando entre 0,23 e 17,46% de umidade. Os valores das medianas em cada sistema para o conteúdo de água no solo (%) foram na seguinte ordem crescente: pastagem (0,99%), mandala (3,51%), SAF (3,95%) e floresta (4,95%) (Figura 3B).

Figura 3. Distribuição de frequência da temperatura (°C) (A) e umidade do solo (%) (B).



Porção mais estreita dentro de cada caixa representa a mediana; limites do entalhe da caixa indicam o intervalo de confiança da mediana; limites inferior e superior da caixa mostram os quartis inferior e superior, respectivamente; barras verticais apontam os valores de máximo e mínimo.

Foi constatada uma maior liberação de CO_2 edáfico nos sistemas cujos solos apresentaram maiores valores de temperatura e umidade. Esses resultados corroboram com os encontrados por Araujo et al. (2016), em que, segundo os autores, áreas mais antropizadas, com ausência de cobertura vegetal, possibilita uma maior incidência da radiação ultravioleta aumentando a atividade microbiológica e, consequentemente, maior liberação de CO_2 edáfico.

De acordo com esses autores, a atividade microbiana responsável pela produção de CO_2 é controlada pela temperatura e conteúdo de água no solo e se não houver uma temperatura favorável dentro dos limites fisiológicos dos microrganismos edáficos a atividade microbiana pode ser interrompida. Em solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal a temperatura da superfície pode chegar a ≥ 50 °C, dependendo da região, diminuindo a disponibilidade de água para os organismos e alterando a dinâmica do carbono do solo (GIOVANETTI et al., 2019).

Os resultados dessa pesquisa demonstram que as formas de uso e cobertura do solo têm efeito direto sobre a atividade metabólica dos organismos edáficos. Os estímulos ambientais, a exemplo da temperatura e umidade do solo, influenciam na dinâmica de decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, na liberação de CO_2. Dentre as áreas analisadas, a floresta foi a que apresentou menores emissões de CO_2, sendo considerada, portanto, como um receptor de CO_2 em contraposição a área de pastagem que funcionou como um emissor de CO_2. Técnicas de manejo, que reduzem a temperatura superficial e aumentam o teor de matéria orgânica, devem ser priorizadas para a promoção da biota do solo. Sugere-se que outros estudos nesta linha de pesquisa sejam incentivados, avaliando outros sistemas de uso e cobertura da terra.

CONCLUSÕES

As diferentes formas de uso e cobertura da terra interferem na respiração edáfica. Sistemas com maior intervenção antrópica liberam mais CO_2 para atmosfera. Áreas de vegetação natural funcionam como receptoras e poços de CO_2.

O sistema pastagem emite maior quantidade de CO_2, seguido pela mandala agrícola, SAF e floresta, nessa ordem.

A emissão de CO_2 é maior no período noturno em relação ao diurno. A temperatura e umidade do solo influenciam na dinâmica e o ciclo do carbono.

REFERÊNCIAS

Araujo, K. D., Souza, M. A., Santos, G. R. dos, Andrade, A. P. de, & Ferreira Neto, J. V. F. (2016). Atividade microbiana no solo em diferentes ambientes da região semiárida de Alagoas. *Geografia (Londrina)*, *25*(2), 5-18. doi: 10.5433/2447-1747.2016v25n2p5

Barbosa, M. R. V., Agra, M. F., Sampaio, E. V. S. B., Cunha, J. P., & Andrade, L. A. (2004). Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba (pp.111-122). Em Pôrto, K. C., Cabral, J. J. P., & Tabarelli, M. (Orgs). *Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília. Ministério do Meio Ambiente.

Embrapa. (1999). *Sistema brasileiro de classificação dos solos*. 412p. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Brasília: Embrapa-SPI.

Giovanetti, L. K., Bonome, L., Souza, E., Bittencourt, H., Kruppa, M., & Lizarelli H. (2019). Respiração microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo. *Cadernos de Agroecologia*, *14*(1), 1-3. Obtido em http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/2553

Gomes, D. da S., Barbosa, A. da S., Santos, T. de M., Santos, S. K. dos, Silva, J. H. C. S., & Aquino, Í. de S. (2021). Cinética de liberação de CO_2 e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. *Research, Society and Development*, *10*(1), e9810111413. doi: 10.33448/rsd-v10i1.11413

Grisi, B. M. (1978). Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura*, *30*, 82-88.

INMET (2021). *Instituto Nacional de Meteorologia*. Obtido em http://www.inmet.gov.br/portal/

Kunde, R. J., Lima, A. C. R. de, Silva, J. L. S. da, Valgas, R. A., & Pillon, C. N. (2018). Qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no Bioma Pampa. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(4), e5591. doi: 10.5039/agraria.v13i4a5591

Morita, T. & Assumpção, R. M. V. (2001). *Manual de soluções, Reagentes & Solvente*s: Padronização, Preparação, Purificação. 11.ed., Edgard Blücher.

Nogueira, D. C. S.; Tavanti, R. F. R.; Montanari, R.; Scala Júnior, N. L., & Panosso, A. R. (2020). Variabilidade espacial da emissão de CO_2 em sistema silvipastoril e pastagem degradada na região do Cerrado. *Cadernos de Agroecologia*, *15*(1), 1-6. Obtido em http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/6278

Pais, I. P., Reboredo, F. H., Ramalho, J. C., Pessoa, M. F., Lidon, F. C., & Silva, M. M.

(2020). Potential impacts of climate change on agriculture – A review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *36*(6), 397-407. doi: 10.9755/ejfa.2020.v32.i6.2111

Santos, T.C.S. (2019). *Impactos das mudanças de uso da terra e manejo nos estoques de carbono do solo em diferentes biomas brasileiros*. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, AL, Brasil. Obtido em http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5644

Silva, G.F. da, Santos, D., Silva, A. P. da, & Souza, J. M de. (2015). Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. *Revista Caatinga*, *28*(3), 25-35. doi: 10.1590/1983-21252015v28n303rc

Simon, C. da P., Vitória, E. L. da, Lacerda, E. das G, Avancini, Y. S., Rodrigues, T. F., & Simon, C. A. (2019). Emissão de CO_2, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. *Nativa*, *7*(5), 494-499. doi: 10.31413/nativa.v7i5.6273

Stieven, A. C., Mendes, W. M., Wruck, F., Couto, E. G., & Campos, D. T. da S. (2020). Atributos do solo em sistemas diferenciados de uso e manejo do solo em Mato Grosso, MT, Brasil. *Colloquium Agrariae*, *16*(2), 1-15. doi: 10.5747/ca.2020.v16.n2.a354

Valentini, C. M. A., Abreu, J. G. de, & Faria, R. A. P. G de. (2015). Respiração do solo como bioindicador em áreas degradadas. *Revista Internacional de Ciências*, *5*(2), 127-142. doi: 10.12957/ric.2015.19581

CAPÍTULO III

INDICADORES QUALITATIVOS DO AMBIENTE EDÁFICO E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM SISTEMAS DE OCUPAÇÃO DA TERRA

RESUMO

O conceito de sustentabilidade tem levado a pesquisa agropecuária a uma crescente busca de modelos alternativos e sustentáveis para a agricultura, sendo as formas de uso e manejo do solo o ponto de partida determinante para a compreensão da dinâmica do ambiente edáfico e serviços ambientais dos agroecossistemas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ambiente edáfico e serviços ecossitêmicos em diferentes sistemas de ocupação da terra, através de indicadores ambientais qualitativos. Foram selecionados indicadores sustentáveis de diagnóstico participativo para avaliar quatro sistemas de ocupação da terra: pastagem, mandala agrícola, sistema agroflorestal e mata nativa. O conjunto de dados dos indicadores do solo foi analisado por meio de uma Análise dos Componentes Principais (ACP). O sistema agroflorestal apresenta semelhanças na qualidade do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos quando comparado à área de mata nativa. Recomenda-se que práticas de manejo de conservação do solo sejam adotadas nos sistemas com maior intervenção antrópica, a exemplo da pastagem e mandala agrícola.

Palavras-chave: indicadores ambientais; qualidade do solo; manejo; agroecossistemas

QUALITATIVE INDICATORS OF THE EDAPHIC ENVIRONMENT AND ECOSYSTEM SERVICES IN LAND OCCUPATION SYSTEMS

ABSTRACT

The concept of sustainability has led agricultural research to a growing search for alternative and sustainable models for agriculture, with the forms of land use and management being the determining starting point for understanding the dynamics of the edaphic environment and environmental services of agroecosystems. Therefore, this work aimed to evaluate the quality of the edaphic environment and ecosystem services in different land occupation systems, through qualitative environmental indicators. Sustainable indicators of participatory diagnosis were selected to assess four land occupation systems: pasture, agricultural mandala, agroforestry system and native forest. The data set of the soil indicators was analyzed using a Principal Component Analysis (PCA). The agroforestry system has similarities in the quality of the edaphic environment and ecosystem services when compared to the native forest area. It is recommend that soil conservation management practices be adopted in systems with greater anthropic intervention, such as pasture and agricultural mandala.

Keywords: environmental indicators; soil quality; management; agroecosystems

INTRODUÇÃO

Durante muito tempo o solo foi considerado como um simples depósito de nutrientes e base de fixação dos vegetais. Assim, o valor monetário dos serviços ecossistêmicos do solo foi calculado apenas com base no valor dos nutrientes e carbono nele estocados. Contudo, o solo abriga um complexo ecossistema, rico em microorganismos e invertebrados, que produz uma variedade de serviços ecossistêmicos, além dos nutrientes nele estocados (ROMEIRO, 2015). Por outro lado, o tema "serviços ambientais" tem despertado o interesse de agricultores, pesquisadores, políticos e da sociedade brasileira em geral. Esse interesse resulta do fato de que o capital natural está se tornando cada vez mais escasso e a abordagem em serviços ambientais busca induzir mudança de paradigmas no manejo de recursos naturais e contribuir para a tomada de decisão de gestores de recursos naturais e formuladores de políticas visando o bem-estar da sociedade (PARRON & GARCIA, 2015).

A conversão de uma paisagem natural para uma de uso agrícola pode impor mudanças em atributos, propriedades e processos do solo e trazer consequências ambientais para a região de sua abrangência (ARCOVERDE et al., 2015). Encontrar um equilíbrio entre a conservação do ecossistema e a produção de bens e serviços de que as sociedades precisam para prosperar é fundamental para o desenvolvimento sustentável em longo prazo de qualquer região, no entanto, essa busca é ainda mais urgente para terras tropicais secas, como o semiárido brasileiro (ARAUJO et al., 2020).

Na Mesorregião do Agreste da Paraíba há uma carência de estudos sobre identificação de indicadores de alterações químicas, físicas e biológicas do solo em áreas sob diferentes formas de uso e manejo, tendo como referência o solo sob condições naturais (SILVA et al., 2015). De acordo com esses autores, estudos dessa natureza são importantes, pois podem fornecer um conjunto de informações relevantes, representando um inexplorado potencial para o monitoramento e avaliação da qualidade do ambiente edáfico, bem como fornecer uma melhor compreensão da sustentabilidade dos sistemas de cultivo orgânico, a partir da definição de um conjunto de dados mínimos que possam servir como referência para avaliação e seleção de indicadores de qualidade do solo (SILVA et al., 2015).

A seleção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo. Um bom indicador deve ser capaz de refletir o funcionamento do ecossistema, identificar as formas de perturbações, ser economicamente viável e ter facilidade de monitoramento (SILVA et al., 2020). Nessa perpectiva, a utilização de indicadores qualitativos da sustentabilidade dos solos e serviços ecossistêmicos (SE) permite diagnosticar com antecedência processos que

degradam o solo, preveni-los e recuperá-los. Além disso, é possível visualizar quais recursos naturais estão sendo mais impactados e se há discrepância na prestação de SE quando comparamos sistemas de menor ou maior complexidade ambiental e, após o levantamento dessas informações, usá-las como suporte na tomada de decisões para o adequado manejo dos sistemas (ALARSA et al., 2018; VASCONCELLOS & BELTRÃO, 2018; SILVA et al., 2020).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade do ambiente edáfico e serviços ecossitêmicos em diferentes sistemas de ocupação e manejo do solo, através de indicadores ambientais qualitativos.

MATERIAL E MÉTODOS

A localização da área de estudo e a caracterização dos sistemas de ocupação da terra podem ser consultados no Capítulo I deste trabalho (ver seção: Material e Métodos).

Análise qualitativa dos sistemas

Os indicadores de sustentabilidade utilizados para avaliar os parâmetros qualitativos do ambiente edáfico foram aplicados de acordo com a metodologia proposta por Altieri & Nicholls (2002) e Nicholls et al. (2004) com adaptações, conforme a Tabela 1, em que para cada característica atribuiu-se um valor de 1 à 10, com até duas casas decimais. Os valores foram atribuídos por pesquisadores que realizaram estudos nos quatro sistemas de ocupação da terra, no período compreendido entre 2017-2021, em que avaliaram a qualidade do ambiente edáfico e os serviços ecossistêmicos. Os escores foram escolhidos em comum acordo entre os pesquisadores para cada característica e áreas avaliadas.

Tabela 1. Indicadores qualitativos do solo com características e valores correspondentes (valores entre 1 e 10 podem ser atribuídos a cada indicador).

Indicadores	Caracteríticas
Cobertura do solo	(1) Solo descoberto; (5) Menos da metade do solo coberto por resíduos, folhas e cobertura viva; (10) Mais da metade do solo coberto com cobertura viva e morta.
Compactação e infiltração	(1) Compacto, fica inundado; (5) Presença de uma fina camada compacta, a água se infiltra lentamente; (10) Solo descompactado, a água se infiltra facilmente.
Retenção de umidade	(1) Solo seca rápido após a irrigação ou chuva; (5) Solo permanece seco durante a época seca, umidade limitada que se mantém por pouco tempo; (10) Solo mantém a umidade na época seca.
Cor, cheiro e matéria	(1) Solo pálido, com cheiro ruim ou químico, não se observa matéria

orgânica	orgânica; (5) Solo castanho claro ou avermelhado, com pouco cheiro, e com algum grau de matéria orgânica e húmus; (10) Solo com coloração de preto à castanho escuro, com cheiro de terra fresca, se observa abundância de matéria orgânica e húmus.
Suscetibilidade à procecesso erosivos	(1) Erosão severa, se nota o arraste do solo, presença de sucos e voçorocas; (5) Erosão evidente, mas leve; (10) Sem maiores sinais de erosão.
Profundidade e desenvolvimento de raízes	(1) Subsolo quase exposto, com raízes pouco desenvolvidas, adoentadas, e curtas; (5) Solo superficial fino, com menos de 10 cm, apresentantando raízes com crescimento limitado e algumas raízes finas; (10) Solo superficial mais profundo, com mais de 10 cm, apresentando raízes com bom crescimento, saudáveis e profundas, com abundância de raízes finas.
Diversidade vegetal	(1) Baixa diversidade genética; (5) Razoável variedade vegetal, com presença de espécies herbáceas e arbustivas com presença de espécies nativas e exóticas; (10) Elevada biodiversidade vegetal, com predominância de espécies nativas da região no componente arbustivo-arbóreo.
Dinâmica de decomposição	(1) Presença de resíduos orgânicos que não se decompõe, ou o fazem lentamente; (5) Ainda há resíduos do ano anterior em processo de decomposição; (10) Resíduos em vários estágios de decomposição, resíduos velhos bem decompostos.
Efluxo de CO_2	(1) Baixa capacidade de sequestrar carbono no solo e elevada capacidade de liberar CO_2 edáfico para a atmosfera; (5) Armazena carbono no solo e emite CO_2 edáfico para a atmosfera em igual proporção; (10) Alta capacidade de sequestrar carbono no solo e baixa capacidade de liberar de CO_2 edáfico para a atmosfera.
Diversidade da macrofauna epiedáfica	(1) Sem sinais de atividade biológica, não se observam minhocas ou invertebrados (insetos, aranhas, centopeias, etc.); (5) Se observam algumas minhocas e artrópodes; (10) Muita atividade biológica e abundância de minhocas e artrópodes.

Fonte: Adaptado de Altieri e Nicholls (2002) e Nicholls et al. (2004)

Para a avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados por cada sistema de ocupação da terra, foram selecionados seis indicadores de diagnóstico que representam o estado geral do sistema e que respondem aos sinais de sua degradação. Esses indicadores foram: biomassa aérea, aporte de nutrientes no solo, aporte de carbono no solo, abatimento de erosão, evapotranspiração e biodiversidade (VASCONCELLOS & BELTRÃO, 2018).

Análise estatística

O conjunto de dados dos indicadores qualitativos do solo foi analisado por meio de uma Análise Multivariada, através de uma Análise dos Componentes Principais (ACP) no *software* R Studio versão 3.4.1. A ACP é uma técnica que permite o agrupamento de indivíduos similares mediante exames visuais, em dispersões gráficas no espaço bi ou tridimensional, de

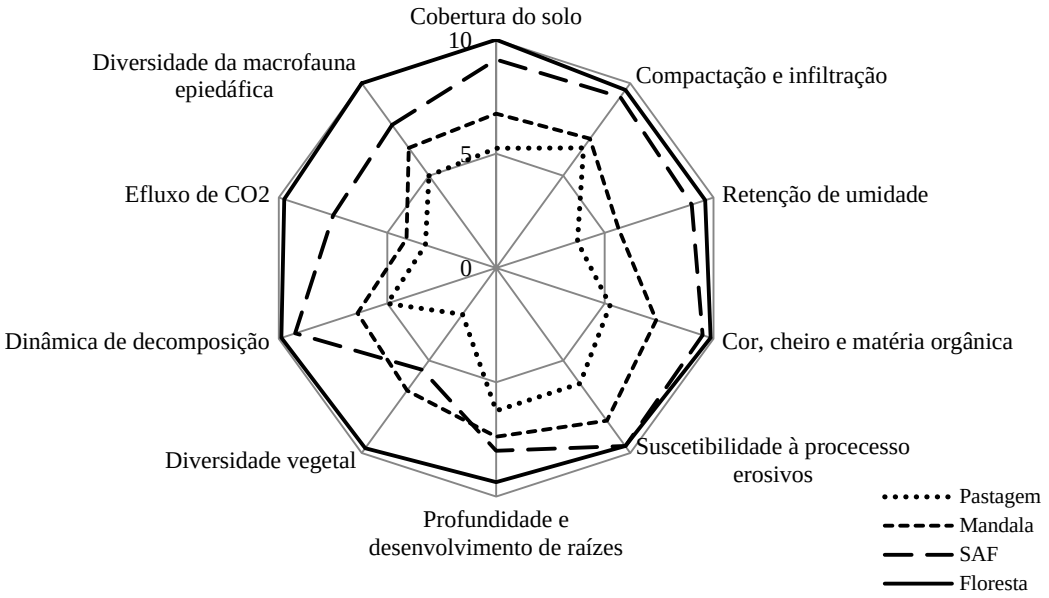
fácil interpretação geométrica, permitindo, assim, validar ou rejeitar a hipótese de que os indicadores qualitativos do ambiente edáfico são adequados para avaliar os sistemas de uso e cobertura da terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indicadores qualitativos do ambiente edáfico

Considerando os indicadores qualitativos do ambiente edáfico (Figura 1), percebe-se que o sistema de uso pastagem demonstrou índices de sustentabilidade numa escala de médio a baixo para a maioria dos indicadores, a exemplo da diversidade vegetal, retenção de umidade, efluxo de CO_2, cobertura do solo, cor, cheiro e matéria orgânica; enquanto que o SAF apresentou altos índices, assemelhando-se ao sistema de uso floresta. A mandala agrícola, no entanto, apresentou níveis intermédiários, destacando-se entre os sistemas pastagem e SAF. Além disso, depois do sistema de uso floresta, a mandala agrícola ocupa o segundo lugar no quesito diversidade vegetal, devido à riqueza de espécies que são cultivadas na área.

Figura 1. Indicadores qualitativos do ambiente edáfico em sistemas de ocupação da terra no município de Bananeiras, Paraíba.



Em relação à suscetibilidade a processos erosivos (Figura 1), o sistema de uso pastagem é o mais sucetível, pois apresenta sinais leves de erosão e isso se deve ao fato de que menos da metade do solo da área é coberto por resíduos, como folhas, palhada e cobertura viva, além

das características físicas inerentes ao solo da área e o declive do terreno. Por outro lado, nos sistemas floresta e SAF não há maiores sinais de erosão, provavelmente, devido à presença de serapilheira no solo, ainda que a floresta também se encontre numa área declivosa. O acúmulo de serapilheira ajuda a retardar e reduzir o escoamento da água da chuva, protegendo o solo e aumentando a rugosidade da superfície (SPLETOZER et al., 2021), bem como a ciclagem de nutrientes.

Os atributos físico-químicos e microbiológicos do solo são importantes indicadores de alterações causadas por práticas de manejo, sendo a vegetação natural (mata nativa) a referência pedoindicadora ambiental da qualidade do ambiente edáfico (MENDES et al., 2015; FREITAS et al., 2017). Outro importante indicador da qualidade do solo é a diversidade da macrofauna epiedáfica, uma vez que as ações antrópicas, acarretam redução da diversidade e abundância de organismos no solo (HOFFMANN et al., 2018; SUÁREZ et al., 2018; SILVA et al., 2019; PESSOTTO et al., 2020). Nas áreas estudadas foi observada uma maior abundância e diversidade de indivíduos da macrofauna epiedáfica nos sistemas de uso floresta, seguido pelo SAF, mandala e pastagem, nesta sequência.

Considerando os indicadores relacionados à atividade microbiológica dos solos – efluxo de CO_2, dinâmica de decomposição, matéria orgânica – nota-se que os sistemas que apresentaram melhores índices de sustentabilidade foram na seguinte ordem descrescente: floresta, SAF, mandala e pastagem (Figura 1). De acordo com Gomes et al. (2021), a dinâmica de decomposição e o efluxo de CO_2 do solo são fortemente influenciados pelas formas de uso da terra e pelos fatores climáticos, a exemplo da precipitação e a temperatura da superfície. Quanto mais carbono houver estocado no solo na forma de matéria orgânica, mais vida haverá no solo, maior será retenção de umidade e mais nutrientes estarão disponíveis para as plantas. Este é um fator importante, pois atualmente é crescente o interesse em promover sequestro de C em cultivos agrícolas, como uma forma de mitigar o aumento dos níveis de CO_2 na atmosfera e, consequentemente, reduzir os impactos causados pelo efeito estufa (SANTOS et al., 2019).

Quanto aos coeficientes de ponderação e a análise de correlação das características para cada componente principal (Tabela 2), corrobora-se que, quanto maior o valor absoluto do coeficiente, mais relevante será a variável original no componente, ou seja, valores próximos de 1 ou -1 na escala de correlação. Assim, verificou-se que a dimensão 1 abrangeu um maior número de correlação com as características. Nessa mesma perspectiva, observou-se que todas as características se correlacionaram positivamente com o componente principal 1. Por outro lado, o componente principal 2 facultou uma maior quantidade de correlação negativa, exceto

para as características compactação e infiltração, profundidade e desenvolvimento de raízes, efluxo de CO_2 e diversidade da macrofauna epiedáfica.

Tabela 2. Coeficientes de ponderação e correlação das características para cada componente principal.

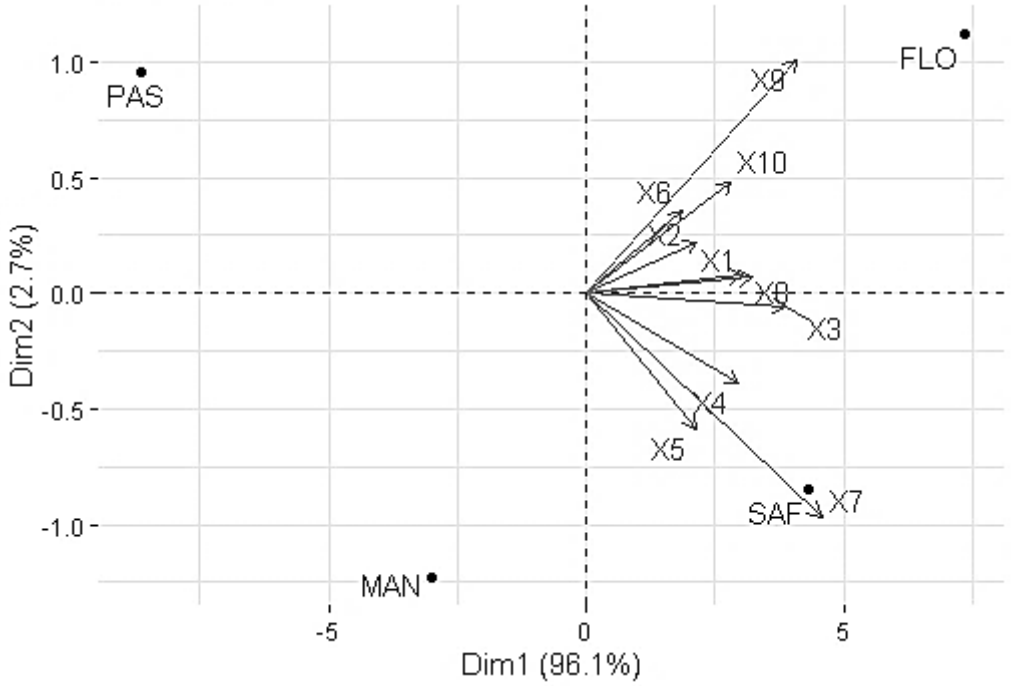
Indicadores	Componentes		Autovetores	
	CP1	CP2	C1	C2
Cobertura do solo	0,99	-0,003	0,30	0,04
Compactação e infiltração	0,97	0,003	0,21	0,12
Retenção de umidade	0,99	-0,06	0,38	-0,03
Cor, cheiro e matéria orgânica	0,99	-0,14	0,29	-0,23
Suscetibilidade à erosão	0,96	-0,25	0,21	-0,34
Profundidade e desenvolvimento de raízes	0,95	0,25	0,18	0,20
Diversidade vegetal	0,97	-0,17	**0,45**	**-0,57**
Dinâmica de decomposição	0,99	-0,03	0,31	0,04
Efluxo de CO_2	0,97	0,19	**0,40**	**0,59**
Diversidade da macrofauna epiedáfica	0,96	0,22	0,27	0,28
Autoanálise				
Autovalor	7,21	1,21		
Proporção da variância	0,96	0,02		
Proporção acumulada	0,96	0,98		

Legenda: C1: coeficiente de ponderação 1; C2: coeficiente de ponderação 2; CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.

Constata-se que os dois componentes principais foram suficientes para explicar mais de 98% da variabilidade total dos dados de indicadores da qualidade do solo observados nos sistemas de produção sob a influência de seus manejos. Sendo que a CP1 foi capaz de proporcionar uma maior explicação dos dados, externando um percentual de 96%, em contrapartida, a CP2 teve diminuto potencial de explicação, com apenas 0,0271% (Tabela 2).

De acordo com o gráfico biplot (Figura 2), denota-se que as variáveis originais se correlacionaram apenas com sistemas de produção SAF e floresta. As características foram positivamente correlacionadas com esses sistemas sob o ponto visual ponderado pela dimensão 1 (CP). Para o SAF, a característica diversidade vegetal teve maior efeito de interação, por condicionar correlação mais próxima com o sistema. Diante dos resultados apresentados, os indicadores qualitativos do ambiente edáfico direcionaram-se, essencialmente, aos dois sistemas de ocupação da terra SAF e floresta. Assim, isso demonstra que tais sistemas apresentam características ecológicas semelhantes.

Figura 2. Análise de componentes principais dos indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de ocupação da terra.



Sistemas: (PAS) pastagem; (MAN) mandala agrícola; (SAF) sistema agroflorestal; (FLO) floresta. Indicadores qualitativos: (X1) cobertura do solo; (X2) compactação e infiltração; (X3) retenção de umidade; (X4) cor, cheiro e matéria orgânica; (X5) suscetibilidade à erosão; (X6) profundidade e desenvolvimento de raízes; (X7) diversidade vegetal; (X8) dinâmica de decomposição; (X9) efluxo de CO_2; (X10) diversidade da macrofauna epiedáfica.

Cabe destacar que estes indicadores estão interligados entre si e não podem ser considerados de forma isolada; ou seja, a suscetibilidade a processos erosivos está associada ao aporte de biomassa da vegetação e a cobertura do solo, que por sua vez está relacionada à profundidade, compactação, infiltração e retenção de umidade, que estão associados à estrutura, textura, teor de matéria orgânica e assim por diante. Isto quer dizer que estes indicadores estão ligados por uma teia ecológica que os fazem interagir entre si, em uma constante troca de energia.

Serviços ecossistêmicos

Ao se avaliar a prestação de serviços ecossistêmicos (SE) em cada sistema de ocupação da terra (Tabela 3), utilizando o remanescente florestal como referência de elevada prestação de SE, merece destaque o sistema agroflorestal, apresentando elevada prestação de SE para a maioria dos indicadores avaliados, seguido pelo sistema de uso mandala e, por fim, a pastagem. Entretanto, esse último apresentou baixa prestação de SE quando comparado aos sistemas anteriormente citados. É importante destacar que no quesito biodiversidade, a

mandala agrícola apresenta elevada prestação de serviços ecossistêmicos. Isso se deve, sobretudo, a riqueza e abundância de espécies (animais e vegetais) que ocorrem nesta área. Segundo Vezzani (2015), há cada vez mais evidências de que os serviços ecossistêmicos são atingidos em função da biodiversidade dos ecossistemas e o papel do solo neste contexto consiste de que a biodiversidade de um ecossistema acontece a partir do ambiente edáfico.

Tabela 3. Prestação de serviços ecossistêmicos por sistemas de ocupação da terra através dos indicadores selecionados.

Serviço ecossistêmico	Sistema			
	Pastagem	Mandala	SAF	Floresta
Biomassa aérea	+	+	++	+++
Aporte de nutrientes no solo	++	++	+++	+++
Aporte de carbono no solo	+	++	+++	+++
Abatimento de erosão	+	++	+++	+++
Evapotranspiração	+	+	+++	+++
Biodiversidade	+	+++	++	+++

Legenda: (+): baixa prestação de SE; (++): prestação mediana de SE; e (+++): elevada prestação de SE

O solo abriga comunidades microbianas complexas que impactam diretamente os serviços ambientais necessários para a vida na terra, como ciclos biogeoquímicos, trocas gasosas, fixação de carbono, promoção do crescimento vegetal, dentre outras funções ecossistêmicas. A degradação desse recurso representa uma ameaça à segurança alimentar, pois reduz a produtividade, força os agricultores a usar mais insumos e pode, eventualmente, levar ao abandono do solo (GOMIERO, 2016). Assim, as práticas de manejo dos agroecossistemas devem privilegiar aquelas que contribuam para o aumento dos SE, melhorando a sustentabilidade do sistema. Cabe destacar que os SE beneficiam os produtores rurais, por exemplo, a partir da redução e do controle da erosão, conservação dos ciclos da água e de nutrientes, controle biológico de pragas e doenças, aumento do estoque de carbono no solo, polinização, entre outros. Assim, a adoção de práticas agropecuárias ou de sistemas integrados podem proporcionar benefícios *in situ* e *ex situ* nas propriedades rurais (PARRON et al., 2019).

Pensar o espaço de forma integrada, considerando seus serviços a partir da susceptibilidade e potencialidades do meio físico e seus atributos da paisagem, é importante para que seja possível o planejamento da ocupação da terra de forma ordenada, partindo da sua capacidade de suporte, das necessidades humanas, e da manutenção da qualidade de vida no tempo e no espaço (ALARSA et al., 2018). Conservar a qualidade da paisagem e mitigar a intensidade do uso da terra é fundamental para aumentar a recuperação da vegetação natural e

sua contribuição para a preservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (PÉREZ-CÁRDENAS et al., 2021).

Os resultados desta pesquisa demonstram que paisagens com complexidade de estrutura intermediária (ou seja, aquelas que combinam vegetação natural e ecossistemas transformados pelo homem), como os SAFs, apresentam semelhanças com áreas de vegetação natural e são eficientes para produzir bens e serviços. Outros estudos apontam as paisagens de maior complexidade ecológica como eficazes para o aumento da biodiversidade nos sistemas produtivos, uma vez que se apresentam como uma alternativa no processo de recuperação de terras degradadas, além de reduzir a perturbação nos ecossistemas e de possibilitar melhorias na renda das famílias envolvidas (VASCONCELLOS & BELTRÃO, 2018; PARRON et al., 2019; ARAUJO et al., 2020; LIMA et al., 2020).

CONCLUSÕES

As formas de uso e ocupação do solo causam alterações na qualidade do ambiente edáfico e podem repercurtir de forma negativa sobre o estabelecimento de populações ou comunidades e seus processos.

O sistema agroflorestal apresenta semelhanças na conservação da qualidade do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos quando comparado à área de vegetação natural.

Sugere-se que práticas de manejo de conservação do solo sejam adotadas nos sistemas com maior intervenção antrópica, como a pastagem e mandala agrícola, tais como a utilização de adubo verde, cobertura morta e o incremento do componente arbóreo.

REFERÊNCIAS

ALARSA, C.; FURLAN, S.A.; COLANGELO, A.C. Aspectos do meio físico no cenário dos serviços ecossistêmicos. **Revista do Departamento de Geografia**, Volume Especial do II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, p.184-195, 2018. http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145793.

ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, n.64, p. 7-24, 2002. http://www.sidalc.net/repdoc/A2039E/A2039E.PDF. 01 Abr. 2021.

ARAUJO, H.F.P.; MACHADO, C.C.C.; PAREYN, F.G.C.; NASCIMENTO, N.F.F.; ARAÚJO, L.D.A.; BORGES, L.A.A.P.; SANTOSE, B.A.; BEIRIGO, R.M.; VASCONCELLOS, A.; DIAS, B.O.; ALVARADO, F.; SILVA, J.M.C. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land use Policy**, 100, 104913. 2021. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104913.

ARCOVERDE, S N S.; SALVIANO, A.M.; OLSZEVSKI, N.; MELO, S.B.D.; CUNHA, T.J.F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J.D.S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.5, p.1473-1482, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140282

BARBOSA, M.R.V.; AGRA, M.F.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CUNHA, J.P.; ANDRADE, L.A. Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. In: PÔRTO, K.C.; CABRAL, J.J.P.; TABARELLI, M. (Orgs). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, p.111-122, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I.A.; SILVA, L.S.; FRARE, J.C.V.; FILLA, V.A.; GOMES, R.P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v.26, n.1-2, p.8-25, 2017. http://201.62.80.75/index.php/ciencias/article/view/511. 26 Mar. 2021.

GOMES, D.S.; BARBOSA, A.S.; SANTOS, T.M.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; AQUINO, Í.S. Cinética de liberação de CO_2 e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**, v.10, n.1, p.e9810111413, 2021. http://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11413

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability**, v.8, n.3, p.281, 2016. https://doi.org/10.3390/su8030281.

HOFFMANN, R.B.; LIMA, S.V.; HOFFMANN, G.S.S.; ARAÚJO, N.S.F. Efeito do uso do solo sobre a macrofauna edáfica. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.1, n.1, p.125-133, 2018. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/736 28 Mar. 2021.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/bananeiras/panorama. 8 Mar. 2021.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1/2, p.191-209, 2017. http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23311.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; DEZANET, A.; LANA, M.; FEISTAUER, D.; OURIQUES, M. A rapid, farmer-friendly agroecological method to estimate soil quality and crop health in vineyard systems. **Biodynamics**, p.33-39, 2004. http://agroecology.pbworks.com/f/biodyn-indicators.pdf. 28 Mar. 2021.

PARRON, L.; GARCIA, J.R.; MOREIRA, J.M.M.Á.P.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Avaliação de serviços ecossistêmicos em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v.30, n.1, p.81-100, 2019. https://www.redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/view/348. 25 Mar. 2021.

PARRON, L.M.; GARCIA, J.R. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B.; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 370 p. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1024082. 25 Mar. 2021.

PESSOTTO, M.D.F.; SANTANA, N.A.; JACQUES, R.J.S.; FREIBERG, J.A.; MACHADO, D.N.; PIAZZA, E.M.; ROSA NETO, L.; ANTONIOLLI, Z. I. Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, v.8, n.3, p.397-402, 2020. https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.9769.

PÉREZ-CÁRDENAS, N.; MORA, F.; ARREOLA-VILLA, F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; BALVANERA, P.; FLORES-CASAS, R.; NAVARRETE-PACHECO, A.; ORTEGA-HUERTA, M.A. Effects of landscape composition and site land-use intensity on secondary succession in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v.482, p.118818, 2021. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118818

ROMEIRO, A. Apresentação. In: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B.;

BROWN, G.G.; PRADO, R.B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 370 p. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1024082 25 Mar. 2021.

SANTOS, T.C.S. **Impactos das mudanças de uso da terra e manejo nos estoques de carbono do solo em diferentes biomas brasileiros**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2019. http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5644 25 Mar. 2021.

SILVA, G.F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.25-35, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc

SILVA, M.O.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; COSTA, K.D.S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.7, p.47838-47855, 2020. https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431

SILVA, R. A.; AGUIAR, A. C. F.; REBÊLO, J.M.M.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; SIQUEIRA, G.M. Diversity of edaphic fauna in different soil occupation systems. **Revista Caatinga**, v.32, n.3, p.647-657, 2019. http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n309rc

SPLETOZER, A.G.; SILVEIRA, L.J.; BARBOSA, R.A.; BARBOSA, S.G.; DIAS, H.C.T. Effect of litter on the surface runoff of a forest fragment in the Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.16, n.1, p.e8597, 2021. https://doi.org/10.5039/agraria.v16i1a8597

SUÁREZ, L.R.; JOSA, Y.T.P.; SAMBONI, E J.A.; CIFUENTES, K.D.L.; BAUTISTA, E.H.D.; SALAZAR, J.C.S. Soil macrofauna under different land uses in the Colombian Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.12, p.1383-1391, 2018. http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018001200011

VEZZANI, F.M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, edição especial, p.673-684, 2015. https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p673-684