



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

JAMILI SILVA FIALHO

**QUALIDADE DO SOLO E PEDOFUNA EM SISTEMAS
TRADICIONAIS E AGROFLORESTAIS**

FORTALEZA

2013

JAMILI SILVA FIALHO

**QUALIDADE DO SOLO E PEDOFAUNA EM SISTEMAS TRADICIONAIS E
AGROFLORESTAIS**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ecologia e Recursos Naturais.

Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- F464q Fialho, Jamili Silva.
Qualidade do solo e pedofauna em sistemas tradicionais e agroflorestais / Jamili Silva Fialho. –
2013.
82 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Biologia,
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2013.
Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais.
Orientação: Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira.
1. Ecologia agrícola. 2. Solo – Qualidade. I. Título.

JAMILI SILVA FIALHO

**QUALIDADE DO SOLO E PEDOFAUNA EM SISTEMAS TRADICIONAIS E
AGROFLORESTAIS**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Ecologia e Recursos Naturais - Área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Viçosa - UFV

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Rogério Parentoni Martins
Universidade Federal do Ceará – UFC

Profa. Dra. Carla Ferreira Rezende
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dra. Susana Churka Blum
Universidade Federal do Ceará – UFC

AGRADECIMENTOS

Aos mestres...

Ao Mestre dos mestres.

Aos mestres da vida: meus pais, Graça e Fialho, pelos mais diversos ensinamentos embasados no amor e doação; minhas irmãs, Raquel e Juliana, pelos ensinamentos de vida compartilhada e reflexões, especialmente à Raquel por toda ajuda nas traduções de inglês, minha tia Lúcia pelos ensinamentos pautados na compreensão e perseverança, meus familiares e amigos, por compreenderem todos os momentos de ausência e ainda assim por se disponibilizarem sempre que necessitei e aos amigos que conquistei nessa nova caminhada.

Aos mestres da academia: aos professores, com ênfase em meu orientador Prof. Teógenes Senna de Oliveira que me proporcionou ensinamentos acadêmicos e de vida pautados na compreensão de que as diferentes visões sempre devem ser bem vindas por proporcionarem crescimento, e aos que contribuíram diretamente com seus intelectos para realização desse estudo. Aos que participaram das bancas de avaliação do projeto, da qualificação e da tese, por todos os exemplos, ensinamentos e experiências proporcionadas. Aos colegas de salas de aula e de estudo ou campo, pelas trocas embasadas sempre em boas e, muitas vezes, calorosas discussões, em especial aos que se tornaram amigos e companheiros de muitas horas, Ivanilda, Carlos e Andréa, aos que proporcionaram preciosa ajuda nas análises estatísticas, Alípio e Francyrégis; e aos que contribuíram com sugestões na elaboração ou revisão dos manuscritos, além dos já citados, Cristiane e Susana. Aos queridos com os quais compartilhei o ensinamento e labuta oriundos do laboratório: Liliâne, Rafaela, Francisco, Leilson, Marcela, Marlete, Janine e Fred. Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solos, especialmente Geórgia e Aldo, e do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, pelo apoio, muitas vezes, além do administrativo e educacional. Aos pesquisadores da EMBRAPA por disponibilizarem não só a estrutura física como também a intelectual, Mônica Campanha Matoso e Maria Elizabeth Fernandes Correia, especialmente pela acolhida, treinamento no estudo da fauna edáfica, compartilhado com inestimável Roberto e com apoio da Sandra, Idayana e Kalhil.

Aos mestres do emocional: todos aqueles que me suportaram quando a minha maturidade não foi suficiente para lidar com as muitas situações adversas que

passei durante esse curso, especialmente, aos amigos e familiares anteriormente citados, Cléa, Selma, Éder (além de todo apoio que se estendeu, muitas vezes e irrestritamente, até o campo e laboratório), Denises Melo e Ursulino, Cláudia, Kelly, Dra. Elizeth e às águias, Luciana, André e equipe YOD, Grasiely (também pela acolhida singular, minha e de Ivanilda, em Sobral), Evaldo, João Paulo, Gilliard, Leile, Manu e meus companheiros de Practitioner, Namastê e demais cursos, especialmente, Souza, pelas conversas que proporcionaram mudanças e conhecimento, e Sérgio, por tornar simples a aceitação (pelos ensinamentos, dentre outros, de que toda ação tem uma intenção positiva, isso também passará e de que fazemos o melhor com os recursos disponíveis no momento).

Aos mestres da prática: aos colegas da Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, em especial aos que se tornaram mais chegados e por isso participaram mais de perto da aflição e expectativa de conciliar o doutorado com o trabalho, Vaneícia, Miguel e Lenúcia, e aos estudantes, com ênfase aos meus orientandos de iniciação científica, monitoria e voluntários, por me fazerem perceber a importância de ser exemplo e da conquista do título para me qualificar e poder investir ainda mais em ações que proporcionem crescimento pessoal, convertido em aprendizagem e ensinamentos.

Aos todos os mestres, porque enquanto há vida, há ensinamento e, portanto, mestres!

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) da Universidade Federal do Ceará** por tornar esse curso possível.

À **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Caprinos e Ovinos (CNPIC) e Agrobiologia**, pela estrutura física, intelectual e logística proporcionadas pelos pesquisadores e funcionários.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pelo financiamento da pesquisa e **Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP)** pela bolsa de estudo disponibilizada durante o período de dedicação integral ao curso.

RESUMO

A prática da agricultura tradicional pode degradar a qualidade dos recursos naturais e por isso se tornar insustentável, o que leva a necessidade de uma abordagem ecológica, possibilita a escolha de manejos agrícolas que associem a produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais, como acontece nos sistemas agroflorestais. A simplificação do agroecossistema reduz a diversidade, afetando a biota e a qualidade do solo. Assim, objetivou-se: i) avaliar indicadores da qualidade e índices da qualidade, resistência e resiliência do solo, ii) avaliar a diversidade da pedofauna dos agroecossistemas e iii) identificar as relações entre a flora nos períodos seco e chuvoso com a riqueza da pedofauna. Foram estudados os sistemas agroflorestais do tipo agrossilvipastoril, silvipastoril e o tradicional, atualmente em uso e após diferentes períodos de pousio; além de um sistema menos impactado (MATA). A qualidade do solo (QS) foi avaliada por indicadores químicos e físicos de solo e calculados os índices de qualidade, resistência e resiliência. A pedofauna foi coletada, nos períodos seco e chuvoso, usando armadilhas de queda, identificando-se os grupos taxonômicos e posterior determinação da riqueza, densidade, diversidade e uniformidade. As áreas sob sistemas agroflorestais mantiveram a QS, o pousio recuperou e o tradicional a reduziu, sendo menos resiliente e resistente. No período seco, os sistemas agroflorestais apresentaram baixas diversidade e uniformidade, porém riquezas semelhante à MATA, enquanto que as áreas em pousio apresentaram altas diversidade e uniformidade. Houve semelhanças de diversidade e uniformidade entre as áreas sob cultivo tradicional e MATA. No período chuvoso, os sistemas agroflorestais apresentaram densidade e riqueza semelhantes à MATA. As áreas tradicionais em pousio apresentaram densidade, riqueza, diversidade e uniformidade semelhantes à MATA. Conclui-se que os sistemas agroflorestais são sustentáveis, seis e nove anos de pousio são suficientes para retomar a condição do sistema menos impactado e manejo tradicional reduz a qualidade, resistência e resiliência do solo. Os sistemas agroflorestais apresentam diversidade e uniformidade da pedofauna semelhantes ao ambiente menos impactado quando há disponibilidade hídrica. A riqueza das espécies arbóreas e a sazonalidade climática determinam a riqueza da pedofauna.

Palavras-chave: Agroecologia. Semiárido. Resistência e resiliência do solo.

ABSTRACT

Traditional agriculture can degrade natural resources becoming unsustainable. Hence, ecological approaches on agriculture enable the choice of agricultural management, which associates food production and the maintenance of natural resources, as agroforestry systems. The simplified agroecosystem reduces diversity, causing deleterious effects on soil biota and on soil quality,. Thus, the aim of this work was: i) to assess quality indicators and soil quality, resistance and resilience indexes, ii) to evaluate the diversity of edaphic fauna of agroecosystems and iii) to identify flora and dry and rainy seasons to edaphic fauna abundance. Agrosilvopastoral, silvopastoral, and traditional agroecosystems were studied, under use and under different periods of fallow, besides the natural vegetation (MATA). Soil quality (QS) was analyzed according to some indicators and from them quality, resistance and resilience indexes were calculated. Edaphic fauna was collected under dry and rainy seasons, using PITFALL TRAPS. The fauna was identified under taxonomic groups and the indexes: abundance, density, diversity, and uniformity here determined. The relation between fauna and flora and the seasons was analyzed using general linear models. Agrofoestries maintained QS, traditional system under fallow recovered it, and the traditional system reduced it and it was less resilient and resistant. In the dry season, agroforestries showed low diversity and uniformity, therefore presenting similar abundance to MATA, while areas under fallow showed high diversity and uniformity. There were similarities in diversity and uniformity between traditional system and MATA. In the rainy season, agroforestries showed density and abundance similar to MATA,. Traditional systems under fallow showed density, abundance, diversity, and uniformity similar to MATA. It is possible to conclude that agroforestry systems are sustainable. Six and nine years of fallow are enough to recover the condition of natural vegetation. Traditional management reduces quality, resistance and resilience of soil. Agroforestries show diversity and uniformity of pedofauna similar to the natural vegetation when water is available. The abundance of trees and weather seasonality determine the abundance of pedofauna.

Keywords: Agroecology. Semi-arid. Soil resistance and resilience.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Índices da qualidade do solo (IQS), nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, Sobral – Ceará, Brasil (n=6). AGRO agrossilvipastoril, SILVI silvipastoril, MATA sistema menos impactado, TRAD₉ tradicional em pousio há 9 anos, FOGO tradicional, TRAD₆ tradicional em pousio há 6 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey.....30

Figura 2.2. Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) dos indicadores da qualidade do solo nas camadas de 0 a 5 cm (A), 5 a 10 cm (B) e 10 a 20 cm (C) nos sistemas agrosilvipastoril (AGRO), silvipastoril (SILVI), tradicional (FOGO), tradicional em pousio há 6 anos (TRAD₆), tradicional em pousio há 9 anos (TRAD₉) e menos impactado (MATA), em Sobral – Ceará, Brasil.....31

Figura 2.3. Distribuição dos índices de qualidade do solo e das áreas, nas camadas de 0 a 5 (IQS1), 5 a 10 (IQS2) e 10 a 20 (IQS3) cm de profundidade, no círculo de correlações da Análise dos Componentes Principais (ACP).....32

Figura 2.4. Distribuição das variáveis (índices de resistência e de resiliência obtidos de acordo com os indicadores) e das áreas, nas camadas de 0 a 5 (A), 5 a 10 (B) e 10 a 20 (C) cm de profundidade, no círculo de correlações da ACP.....36

Figura 3.1. Precipitação pluviométrica mensal média de 1992 a 2012, em Sobral - Ceará, Brasil.....49

Figura 3.2. Análise dos componentes principais (ACP) entre os sistemas de manejo do solo, os principais grupos taxonômicos da pedofauna e somatório dos grupos menos frequentes (outros), nos períodos seco (A) e chuvoso (B). AGRO: agrossilvipastoril; SILVI: silvipastoril; FOGO: tradicional; TRAD₆: tradicional em pousio há 6 anos; TRAD₉: tradicional em pousio há 9 anos; MATA: sistema menos impactado; H: índice de Shannon-Weaver; P: índice de Pielou; Aca: acari; Ara:

araneae; Bla: blattodea; Pso.: psocoptera; Ort: orthoptera; Auc: auchenorrhyncha;
Dip: diptera; L. Dip.: larva de diptera; Pod: poduromorpha; Sym: symphypleona; L.
Col: larva de coleoptera; Het: heteroptera; Ent: entomobryomorpha; For: formicidae;
Gas: gastropoda; Thy: thysanoptera; Hym: hymenoptera; Opi.: opilionida; Der:
dermaptera; Col: coleoptera e Ste: sternorrhyncha.....56

Figura 4.1. Riqueza da pedofauna em agroecossistemas e sistema menos impactado, nos períodos seco e chuvoso. RF = riqueza da pedofauna, AGRO = agrossilvipastoril, SILVI = silvipastoril, MATA = sistema menos impactado, TRAD₉ = tradicional em pousio há 9 anos, TRAD₆ = tradicional em pousio há 6 anos e FOGO = tradicional.....69

LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1.** Descrição dos sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, localizados nas áreas da fazenda Crioula, Sobral – Ceará, Brasil.....22
- Tabela 2.2.** Caracterização física e química do solo (camada de 0 – 2 cm de profundidade) das áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo agrícola, Sobral – Ceará, Brasil.....24
- Tabela 2.3.** Funções principais, ponderadores e indicadores usados no cálculo dos índices da qualidade do solo em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil.....26
- Tabela 2.4.** Indicadores químicos, físicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, em Sobral – Ceará, Brasil (n=6).....28
- Tabela 2.5.** Índices de resistência do solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil (n=6).....33
- Tabela 2.6.** Índices de resiliência do solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil (n=6).....34
- Tabela 3.1.** Índices ecológicos relativos à pedofauna, coletada nos períodos seco e chuvoso, e temperatura do solo em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará.....51
- Tabela 3.2.** Abundância média (indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹) dos principais grupos taxonômicos da pedofauna, coletados no período chuvoso, em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará (n = 5).....54
- Tabela 3.3.** Abundância média (indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹) dos principais grupos taxonômicos da pedofauna, coletados no período seco, em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará (n = 5).....55

Tabela 4.1. Riqueza, biomassa e densidade dos estratos arbóreo e herbáceo nos agroecossistemas e sistema menos impactado utilizadas na construção dos modelos lineares generalizados.....66

Tabela 4.2. Riqueza média da pedofauna nos agroecossistemas e sistema menos impactado utilizada na construção dos modelos lineares generalizados.....68

Tabela 4.3. Modelos explicativos da variabilidade da riqueza da pedofauna de acordo com a biomassa, a densidade e a riqueza das herbáceas e arbóreas, as áreas e os períodos em Sobral, Ceará.....70

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL.....	13
Referências.....	16
CAPÍTULO 2: QUALIDADE, RESISTÊNCIA E RESILIÊNCIA DO SOLO EM SISTEMAS TRADICIONAIS E AGROFLORESTAIS.....	19
2.1 Introdução.....	21
2.2 Material e Métodos.....	22
2.3 Resultados.....	27
2.3.1 Qualidade do solo.....	27
2.3.2 Resistência e resiliência do solo.....	33
2.4 Discussão.....	37
2.4.1 Qualidade do solo.....	37
2.4.2 Resistência e resiliência do solo.....	40
2.5 Conclusões.....	42
Referências.....	42
CAPÍTULO 3: DIVERSIDADE DA PEDOFAUNA EM SISTEMAS TRADICIONAIS E AGROFLORESTAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	45
3.1 Introdução.....	47
3.2 Material e Métodos.....	48
3.3 Resultados e discussão.....	51
3.4 Conclusões.....	57
Referências.....	58
CAPÍTULO 4: SAZONALIDADE CLIMÁTICA, COMPONENTES ARBÓREO E HERBÁCEO COMO PREDITORES DA RIQUEZA DA PEDOFAUNA.....	61
4.1 Introdução.....	62
4.2 Material e Métodos.....	65
4.3 Resultados.....	67
4.4 Discussão.....	71

4.5	Conclusões.....	73
	Referências.....	73
	CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	ANEXOS.....	79

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL

Um dos tópicos de discussão central na ecologia acontece quando se associa equilíbrio e estabilidade, pois suas definições nas ciências naturais não são bem estabelecidas (Rosumek, 2009). Como definição mais abrangente, a estabilidade é considerada determinante da capacidade do sistema continuar funcionando sob condições variáveis, seja por meio de processos naturais ou perturbações antrópicas (Orwin; Wardle, 2004). A hipótese da diversidade - estabilidade (MacArthur, 1955), a qual propõe que elevados níveis de diversidade favorecem a estabilidade, é empregada em estudos que buscam compreensão dos efeitos da biodiversidade sobre o equilíbrio associado à estabilidade do ecossistema.

Charles Elton, Robert May, Stuart Pimm e Sam MacNaughton contribuíram consideravelmente para a compreensão dos efeitos da diversidade sobre a estabilidade dos ecossistemas (Tilman, 2001). Tilman, Reich e Knops (2006) testaram a hipótese proposta por MacArthur, em campo experimental, e concluíram que, durante uma década, uma maior riqueza em espécies de plantas aumentou a produção; comprovando que a estabilidade dos serviços do ecossistema, a longo prazo, depende da diversidade biológica. A utilização dessa hipótese em estudos sobre agroecossistemas é fundamentada no fato de que maior número de espécies pode elevar a produtividade por permitir "complementaridade de nicho" e interações mais diversificadas (Tilman et al., 2001). No entanto, de acordo com MacCann (2000), embora ocorra uma combinação da hipótese com a experiência, ela não pode ser usada para inferir que a diversidade é diretamente responsável pela estabilidade. Em experimento onde a adubação inorgânica foi usada como perturbação em três níveis tróficos, Hurd et al. (1971) observaram que a estabilidade aumentou com a diversidade apenas no primeiro nível trófico e, em contraste com a hipótese, os outros níveis tróficos apresentaram uma redução na estabilidade com o aumento da diversidade.

Nas modificações da paisagem para fins econômicos, o homem pode colocar em risco a capacidade do ambiente em permitir a produção agrícola contínua ou, em casos extremos, a sua própria sobrevivência, o que constitui um estado de insegurança ambiental (Marzall, 2007). Esta insegurança ambiental pode acontecer, por exemplo, porque a diversidade em espécies atua como importante regulador das funções do agroecossistema como decomposição, sequestro do C,

fixação do N, ciclagem dos nutrientes, bioturbação, agregação do solo e controle populacional, serviços ambientais importantes para o funcionamento do ecossistema (Giller et al., 1997). Em estudos sobre os efeitos da perda da biodiversidade, Naeem et al. (1994) observaram que, em condições ambientais controladas, a perda da biodiversidade, somada à perda dos recursos genéticos, da produtividade, da estética e dos valores comerciais dos recursos, pode também alterar ou prejudicar os serviços providos pelo ecossistema.

Apesar da produção de grãos ter aumentado a uma taxa maior que a do crescimento populacional humano (Tilman, 1999), estudos realizados pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) mostraram que, a cada ano, de cinco a sete milhões de hectares das áreas cultiváveis são perdidas, principalmente, nos países em desenvolvimento, como resultado do uso inadequado e predatório dos recursos naturais (Paz; Teodoro; Mendonça, 2000). Apesar do avanço na agricultura refletir a capacidade em sustentar o crescimento populacional humano, existe evidência considerável de que o equilíbrio ecológico é mais frágil nos sistemas artificiais (Altieri, 1999a), reduzindo a capacidade do agroecossistema em fornecer bens e serviços (Tilman, 1999; Tilman et al., 2002) e aumentando a degradação das áreas agricultáveis. Assim, questionamentos quanto à crescente dependência dos recursos não renováveis, perda da biodiversidade e aumento da erosão do solo têm sido levantados (Altieri, 1999b).

Atualmente se tem como novo paradigma o alcance da sustentabilidade agrícola, o que leva a necessidade de estudos sobre conservação da biodiversidade, impactos no uso do solo, redução na emissão de gases do efeito estufa e biorremediação (Izac; Sanchez, 2001). Desta forma, uma estratégia fundamental para a sustentabilidade agrícola é a restauração da biodiversidade pelos serviços ecológicos associados que proporcionam aos agroecossistemas capacidade de sustentar a fertilidade do solo, a proteção das culturas e da produtividade (Altieri, 1999b). Esta busca pela sustentabilidade tem conduzido a abordagens mais ecológicas para a produção de alimentos (Townsend; Begon; Harper, 2009) como o emprego de sistemas de manejo agroflorestais.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) se representam como uma estratégia eficaz para prover a cobertura do solo através da manutenção e do manejo dos resíduos orgânicos provenientes das árvores (Altieri, 1999a; Gliessman, 2005). Esses sistemas buscam integrar os componentes do agroecossistema de modo que

a biodiversidade seja conservada e a produtividade e a capacidade de autoregulação do agroecossistema sejam mantidas (Altieri, 2004). Partindo desse princípio, os SAFs propiciam a fixação biológica do N e a conservação da biodiversidade, melhoram a ciclagem dos nutrientes, fornecem entrada contínua da matéria orgânica, melhoram a infiltração e a retenção da água e reduzem os efeitos da erosão hídrica (Altieri, 2002; Altieri, 2004). Podem, portanto, ajudar a minimizar a degradação nas regiões semiáridas causada pela agricultura tradicional (Breman e Kessler, 1997). No semiárido brasileiro, os SAFs são uma opção de manejo dos recursos naturais de forma sustentável, considerando o nível de alteração que a Caatinga está submetida e sua importância econômica ecológica para a população do Nordeste (Campanha et al., 2011).

As práticas da agricultura tradicional utilizada na Caatinga têm contribuído para sua degradação, visto que a maioria dos agricultores desmata e queima a vegetação, cultiva o solo por dois anos e abandona o agroecossistema devido à redução da produtividade, deixando a área em pousio para recomposição da vegetação e da fertilidade do solo (Breman e Kessler, 1997; Nunes et al., 2009; Campanha et al., 2011). Desta forma, a diversidade biológica nos agroecossistemas tem sido consideravelmente reduzida com uso de práticas que favorecem a monocultura, queimadas e exploração abusiva da capacidade de uso do solo, refletindo em agroecossistemas instáveis. Em estudo sobre os efeitos da intensificação agrícola na dinâmica populacional, estrutura da comunidade, diversidade e variabilidade temporal de artrópodes edáficos, Wardle et al. (1999) concluíram que os artrópodes são mais responsivos às práticas agrícolas e à qualidade da matéria orgânica e que, a longo prazo, experimentos são essenciais para esclarecer como as práticas agrícolas podem afetar os organismos do solo considerando uma variação temporal. Esse fato demonstra a necessidade de estudos que avaliem a relação existente entre o manejo do agroecossistema, a qualidade do solo e a diversidade biológica.

Essa avaliação pode ser feita através da análise da qualidade e estabilidade dos agroecossistemas, em função de índices que demonstram a resistência e a resiliência do solo, e estudo da relação existente entre a pedofauna e a diversidade de plantas. Esses índices podem ser obtidos através da avaliação de indicadores químicos, físicos e biológicos que refletem as mudanças na qualidade do solo com o uso agrícola. Nos estudos conduzidos por Wada e Toyota (2007) sobre os efeitos da

aplicação repetida de adubo orgânico na resistência e resiliência do solo, por exemplo, se concluiu que a resistência e resiliência foram maiores no solo adubado com uma mistura de fertilizante químico e orgânico quando comparado ao adubado apenas com fertilizante químico.

Diante do exposto, se pergunta: i) as práticas de manejo tradicionais reduzem a qualidade do solo em relação às agroflorestais?, ii) as práticas de manejo tradicionais diminuem a diversidade da pedofauna quando comparadas às agroflorestais?, iii) a riqueza, a biomassa e a densidade dos componentes arbóreo e herbáceo nos agroecossistemas interferem na riqueza da pedofauna? e iv) a riqueza da pedofauna é modificada entre os períodos seco e chuvoso? Para responder essas perguntas, objetiva-se: i) avaliar indicadores da qualidade e índices da qualidade, resistência e resiliência do solo, ii) conhecer a diversidade da pedofauna dos agroecossistemas e iii) identificar as relações entre a flora nos períodos seco e chuvoso com a riqueza da pedofauna. As previsões relacionadas são: i) o solo terá melhor qualidade, resistência e resiliência nos sistemas agroflorestais, ii) a diversidade da pedofauna será maior nos sistemas agroflorestais e iii) a riqueza da pedofauna será determinada pelos componentes arbóreo e herbáceo e períodos.

Referências

- Altieri, M. A. 1999a. Agroecologia: bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo: Editorial Nordan–Comunidad. 325p.
- Altieri, M. A. 1999b. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19–31.
- Altieri, M. A. 2004 Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2: 35-42.
- Breman, H.; Kessler, J. J. 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *European Journal of Agronomy*, 7: 25–33.
- Campanha, M. M.; Araújo, F. S.; Menezes, M. O. T.; Silva, V. M. A.; Medeiros, H. R. 2011. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral – CE. *Revista Caatinga*, 24: 94-101.
- Giller, K. G.; Beare, M. H.; Lavelle, P.; Izac, A. M. N.; Swift, M. J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6: 3 – 16.

- Gliessman, S. R. 2005. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 653p.
- Hurd, L. E.; Mellinge, M. V.; Wolf, L. L.; MacNaughton, S. J. 1971. Stability and diversity at three trophic levels in terrestrial successional ecosystems. *Science*, 173: 1134 – 1136.
- Izac, A. M. N.; Sanchez, P. A. 2001. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. *Agricultural Systems*, 69: 5-25.
- MacArthur, R. 1955. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*, 36: 533–536.
- McCann, K. S. 2000. The diversity-stability debate. *Nature*, 405: 228 – 233.
- Marzall, K. 2007. Agrobiodiversidade e resiliência de agroecossistemas: bases para segurança ambiental. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 233 – 236.
- Naeem, S.; Thompson, L. J.; Lawler, S. P.; Lawton, J. H.; Woodfin, R. M. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, 368: 734 – 737.
- Nunes, L. A. P. L.; Araújo Filho, J. A.; Holanda Júnior, E. V.; Menezes, R. I. Q. 2009. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. *Revista Caatinga*, 22:131–140.
- Paz, V. P. da S.; Teodoro, R. E. F.; Mendonça, F. C. 2000. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*: 4: 465-473.
- Orwin, K.H; Wardle, D.A. 2004. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1907 – 1912.
- Rosumek, F. B. 2009. Conservar por quê? As motivações e objetivos da ideologia ambientalista. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Curso de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Orientador Dr. Rogério Parentoni Martins.
- Tilman, D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 5995–6000.

- Tilman, D. 2001. Functional diversity. In: Encyclopedia of Biodiversity (ed. Levin, S.A.). Academic Press: San Diego, CA, pp. 109–120.
- Tilman, D.; Cassman, K. G.; Matson, P. A.; Naylor, R.; Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418:671–677.
- Tilman, D.; Reich, P. B.; Knops, J. M. H. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade – long grassland experiment. *Nature*, 441: 629 – 6632.
- Tilman, D.; Reich, P. B.; Knops, J.; Wedin, D.; Mielke, T.; Lehman, C. 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294: 843 – 845.
- Townsend, C.R.; Begon, M.; Harper, J.L. 2009. Fundamentos em ecologia. Porto Alegre: Artmed. 592 p.
- Wada, S.; Toyota, K. 2007. Repeated applications of farmyard manure enhance resistance and resilience of soil biological functions against soil disinfection. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 349–356.
- Wardle, D. A., Nicholson, K. S.; Bonner, K. I.; Yeates, G. W. 1999. Effects of agricultural intensification on soil – associated arthropod population dynamics, community structure, diversity and temporal variability over a seven – year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1691–1706.

Capítulo 2: Qualidade, resistência e resiliência do solo em sistemas tradicionais e agroflorestais¹

Jamili Silva Fialho², Maria Ivanilda de Aguiar³, Lilianne dos Santos Maia⁴, Rafaela Batista Magalhães⁴, Francisco das Chagas Silva de Araújo⁴, Mônica Matoso Campanha⁵ e Teógenes Senna de Oliveira⁶

¹ Manuscrito submetido à Revista African Journal of Agricultural Research (ISSN 1991-637X) em 04 de janeiro de 2013

² Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

³ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

⁴ Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará

⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Milho e Sorgo

⁶ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa

Resumo - Os sistemas agroflorestais (SAFs) se representam como uma alternativa aos sistemas agrícolas tradicionais em regiões semiáridas, visto que proporcionam cobertura ao solo e melhoram a quantidade e qualidade da matéria orgânica, conservação da biodiversidade, retenção da água e redução da erosão. Este trabalho objetivou a avaliação da qualidade, resistência e resiliência do solo em sistemas tradicionais e agroflorestais, em estação experimental na região semiárida do nordeste brasileiro. Os sistemas agrícolas estudados foram agrossilvipastoril, silvipastoril e tradicional, além de áreas tradicionais em pousio por seis e nove anos e sistema menos impactado. Foram abertas seis minitrincheiras para coleta do solo em três camadas e avaliados por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos, os quais permitiram a estimativa de índices de qualidade, resiliência e de resistência do solo por área. A comparação das médias dos índices indicou que as áreas sob sistemas agroflorestais mantiveram a QS, enquanto os sistemas tradicionais em pousio a recuperaram, apresentando níveis melhores ou semelhantes às áreas sob vegetação natural de caatinga. A área sob sistema tradicional teve sua qualidade do solo reduzida, sendo também menos resiliente e resistente. Conclui-se que os

sistemas agroflorestais são sustentáveis e que, o pousio, pode melhorar a qualidade, resistência e resiliência do solo.

Palavras-chave: Agrosilvipastoril, silvipastoril, agricultura de corte e queima, sustentabilidade agrícola e manejo e conservação do solo.

Abstract - *Agroforestry systems represents an alternative to traditional agricultural systems in semiarid regions, since they provide soil coverage and improve the amount and quality of soil organic matter, biodiversity maintenance, water retention and decrease of erosion. This work aimed to evaluate soil quality, resistance and resilience under traditional and agroforestry systems, at an experimental station in a semiarid region in Northeast of Brazil. The agricultural systems studied were agrosilvopastoral, silvopastoral and traditional cropping, as well as areas under traditional fallow for six and nine years and conserved ecosystem. Six small mini trenches to collect soil from three layers and evaluated through chemical, physical and biological indicators, which enable the valuation of quality, resilience and resistance of soil per area. The comparison of indexes ranges indicated that areas under agroforestry systems kept QS, while traditional systems under fallow recovered it, presenting better or similar levels to the areas under natural vegetation from caatinga. Area under traditional system had its soil quality reduced, being also less resilient and resistant. It is possible to conclude that agroforestry systems are sustainable and that fallow can improve soil quality, resistance, and resilience.*

Keywords: *Agrosilvopastoral, silvopastoral, slash-and-burn agriculture, agricultural sustainability, soil management and conservation*

2.1 Introdução

O solo é um dos elementos fundamentais da biosfera do planeta Terra, essencial para sustentação da vida, da produtividade agrícola e dos ecossistemas naturais. Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade do solo tem crescido na medida em que seu uso e mobilização intensiva podem ocasionar diminuição da sua capacidade em manter uma produção sustentável (Carvalho et al., 2004; Karlen;

Stott, 1994). Como a qualidade do solo varia de acordo com suas propriedades químicas, físicas e biológicas, as mudanças na qualidade do solo ocasionadas por diferentes manejos podem ser avaliadas pela medição destas propriedades. Além disso, os solos manejados devem ser monitorados a fim de conservar sua qualidade e manter a produtividade (Benintende et al., 2008).

Na década de 1990, as discussões sobre a sustentabilidade agrícola e ecologia do solo introduziram os termos resiliência e resistência do solo (Orwin e Wardle, 2004; Seybold et al., 1999). Ao longo desse tempo, a magnitude do declínio (resistência) e a taxa de recuperação ou elasticidade (resiliência) têm sido usadas para avaliar sistemas alterados como os agrícolas (Seybold et al., 1999). Índices que quantificam a resistência e a resiliência para comparar a estabilidade entre diferentes sistemas foram propostos por Orwin e Wardle (2004). Esses índices podem ser obtidos através da avaliação de indicadores químicos, físicos e biológicos que refletem as mudanças na qualidade do solo. Isto é possível porque a reação do solo às pressões externas e antrópicas pode ser descrita em relação a sua resistência e resiliência (Kibblewhite et al., 2008).

Nas últimas décadas, extensas áreas do semiárido brasileiro foram degradadas pelas práticas da agricultura tradicional (Sousa et al., 2012). Estudos nessas áreas descrevem redução nas propriedades químicas e físicas do solo através da erosão, diminuição nos estoques de carbono, esgotamento dos recursos hídricos e diminuição dos nutrientes disponíveis no solo, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P) (Aguiar et al., 2010; Maia et al, 2007; Silva et al, 2011). Neste contexto, os sistemas agroflorestais representam uma estratégia eficaz para prover a cobertura do solo e melhorar os níveis da matéria orgânica (Breman; Kessler, 1997) por meio da manutenção dos resíduos orgânicos fornecidos por árvores, culturas e animais (Altieri, 2004). Espera-se que as árvores, através da sua capacidade de enraizamento em profundidade, fixação do nitrogênio e conservação do solo, melhorem a fertilidade do solo em benefício das culturas agrícolas e pastagens (Breman; Kessler 1997). Por considerar que o componente arbóreo é fundamental para a sustentabilidade agrícola, se espera que a qualidade, resistência e resiliência do solo sejam semelhantes às de sistemas conservados. Para testar esta premissa objetivou-se avaliar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo (agrossilvipastoril, silvipastoril, tradicional e tradicional em pousio) sobre a qualidade, resistência e resiliência do solo.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi realizado nas áreas experimentais da Fazenda Crioula (3°41'S e 40°20'W) - Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), situado no município de Sobral, Ceará, Nordeste do Brasil. A temperatura média anual fica entre 26° a 28°C, com estação seca de sete a oito meses de duração (junho a dezembro), e uma estação chuvosa, de janeiro a maio (Ipece, 2011). O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSW'h, segundo a classificação de Köppen (Brasil, 1981). Foram selecionadas seis áreas (Tabela 2.1.), sendo cinco agroecossistemas e um sistema menos impactado (referência): 1. Agrossilvipastoril (AGRO), 2. Silvipastoril (SILVI), 3. Tradicional em pousio por 9 anos (TRAD₉), 4. Tradicional em pousio por 6 anos (TRAD₆), 5. Tradicional (FOGO) e 6. Sistema menos impactado (MATA). A classe de solo mais frequentemente encontrada na área é o Luvissole Crômico Órtico Típico (Aguiar et al., 2010) e a análise inicial do solo encontra-se na Tabela 2.2. Foram abertas seis minitrincheiras por área, em outubro de 2009, e amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade.

Tabela 2.1. Descrição dos sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, localizados na Fazenda Crioula, Sobral – Ceará, Brasil

Áreas	Sistema de cultivo	Histórico
Agrossilvipastoril (AGRO) (1,6 ha)	Cultivo de milho (<i>Zea mays</i> L.) e sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.) em aléias formadas por leucena (<i>Leucaena</i> sp) e gliricídia (<i>Gliricida sepium</i> (Jacq.) Steud) que durante o período seco, é utilizada como forragem para rebanho de 20 matrizes ovinas ou caprinas. Durante o período chuvoso, a parte aérea da leucina e da gliricídia e o material da poda da rebrota dos troncos e arbustos são cortados e incorporados ao solo. No plantio aplica-se todo o esterco recolhido do aprisco. As entradas de resíduos orgânicos anuais são serrapilheira das árvores, biomassa da poda da leucina, da gliricídia e das árvores nativas, biomassa das herbáceas e o esterco. Há saídas anuais pela colheita (grão e palha) e parte da leucina e gliricídia para pastagem. As famílias de árvores dominantes são Borrigonaceae e Caesalpinaceae.	Na implantação a vegetação foi raleada, preservando-se 22% da cobertura vegetal arbórea. A madeira útil foi parcialmente retirada para uso doméstico e a outra parte foi vendida. O material lenhoso restante foi enleirado perpendicular ao declive predominante na área.

Silvipastoril (SILVI) (4,8 ha)	Pastagem para manter um rebanho de 20 matrizes ovinas ou caprinas. As entradas de resíduos orgânicos são: madeira e folhas que foram cortados na implantação e as entradas anuais: serrapilheira e esterco. A pastagem representa a saída dos resíduos orgânicos. As famílias de árvores dominantes são Borragonaceae e Mimosoidea.	Na implantação a vegetação foi raleada, preservando-se 38% da cobertura vegetal arbórea. A madeira útil foi parcialmente retirada para uso doméstico e venda. O material lenhoso restante foi enleirado perpendicular ao declive predominante na área.
Tradicional em pousio há 9 anos (TRAD₉) (0,8 ha)	Modelo agrícola adotado na região semiárida do Brasil que representa as práticas da agricultura itinerante: corte e queima da vegetação com posterior plantio de milho (<i>Zea mays</i> L.) e feijão (<i>Vigna unguilata</i> L. Walp), por dois anos consecutivos, seguidos de pousio. Em 1998 houve desmatamento e queimada. Em 1999 e 2000 cultivo de milho e feijão, seguido de pousio.	Após desmatamento e antes do cultivo, o material vegetal existente na área foi queimado. No período seco, a forragem e os resíduos culturais foram usados para suplementação alimentar de um rebanho de 20 matrizes ovinas ou caprinas.
Tradicional em pousio há 6 anos (TRAD₆) (0,8 ha)	Modelo agrícola adotado na região semiárida do Brasil que representa as práticas da agricultura itinerante: corte e queima da vegetação com posterior plantio de milho (<i>Zea mays</i> L.) e feijão (<i>Vigna unguilata</i> L. Walp), por dois anos consecutivos, seguidos de pousio. Em 2001 houve desmatamento e queimada. Em 2002 e 2003 cultivo de milho e feijão, seguido de pousio.	
Tradicional (FOGO) (0,8 ha)	Modelo agrícola adotado na região semiárida do Brasil que representa as práticas da agricultura itinerante: corte e queima da vegetação com posterior plantio de milho (<i>Zea mays</i> L.) e sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.), por dois anos consecutivos, seguidos de pousio. Em 2009, houve desmatamento, queimada e cultivo de milho e feijão. As amostras de solo foram coletadas logo após a queimada.	
Sistema menos impactado (MATA) (3,1 ha)	Área de caatinga conservada, com cerca de 50 anos, usada como referência para as demais áreas.	As árvores foram cortadas em 1981 e, eventualmente, na estação seca extrema, os animais se alimentam da vegetação nativa.

Fonte: Maia et al. (2007).

Tabela 2.2. Caracterização física e química do solo (camada de 0 – 2 cm de profundidade) das áreas de estudo sob diferentes sistemas de manejo agrícola, Sobral – Ceará, Brasil

	AGRO	SILVI	TRAD₉	TRAD₆	FOGO	MATA
Areia (g kg ⁻¹)	633,0	557,0	573,0	463,0	610,0	537,0
Silte (g kg ⁻¹)	173,0	200,0	240,0	207,0	183,0	203,0
Argila (g kg ⁻¹)	193,0	243,0	187,0	330,0	207,0	260,0
Ds (g cm ⁻³)	1,3	1,2	1,3	1,1	1,2	1,1
COT (g kg ⁻¹)	11,3	21,7	15,7	17,2	14,7	16,5

N total (g kg ⁻¹)	1,1	1,6	1,2	1,4	1,2	1,5
P disponível (mg dm ⁻³)	14,7	3,7	2,4	11,7	10,6	3,4
pH em água	6,8	6,4	6,2	6,7	6,9	6,5
CTC (cmol _c dm ⁻³)	10,7	11,4	8,5	22,1	12,6	15,2
V (%)	91,5	79,6	74,4	93,8	87,8	87,0

Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; CTC: capacidade de troca catiônica. Fonte: Aguiar et al. (2012).

A qualidade do solo foi avaliada utilizando indicadores químicos, físicos e biológicos. Os indicadores avaliados foram: pH em água (1:2,5), Ca, Mg e K trocáveis, P disponível, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), N total do solo (NT), umidade (U) pelo método termogravimétrico e densidade do solo (Ds) pelo método do torrão, determinados conforme Embrapa (1997). O carbono orgânico total do solo (COT) foi quantificado por oxidação via úmida da matéria orgânica pela ação do dicromato de potássio e ácido sulfúrico com fonte de aquecimento externo (Yeomans; Bremner 1988). O C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram analisados pelo método da irradiação – extração (Islam; Weil, 1998), calculando-se, posteriormente, as relações entre CBM e COT ($CBM \text{ COT}^{-1} \times 100$) e entre NBM e NT ($NBM \text{ NT}^{-1} \times 100$) de acordo com Sparling (1992). Também foi avaliada a evolução de C – CO₂ em função do tempo (respiração basal do solo - RBS). Posteriormente, foi realizado cálculo do quociente metabólico (qCO₂) por meio da divisão da quantidade de CO₂ liberado por dia pelo CBM (mg CO₂ mg CMB⁻¹ dia⁻¹) (Anderson; Domsch, 1978).

A partir dos indicadores avaliados foram determinados os índices de qualidade do solo (IQS), resistência e resiliência. O IQS $\{IQS = \sum qWi (wt)\}$, em que IQS é o índice da qualidade do solo, qWi, o valor do peso numérico atribuído para cada função principal e wt, o valor do peso numérico atribuído ao indicador da qualidade (Karlen; Stott, 1994)}, foi utilizado para avaliar os efeitos do manejo sobre a qualidade do solo (Tabela 2.3.). As funções principais escolhidas para compor esse índice foram: (i) retenção de água (RA) segundo os indicadores da qualidade Ds e COT, visto que estão relacionados com a estrutura do solo e, conseqüentemente, com a capacidade de retenção da água, (ii) suprimento de nutrientes (SN) de acordo com pH, CTC, NT e COT, pois indicam condições adequadas para a nutrição (pH), estão diretamente relacionados com nutrientes essenciais (CTC e COT) ou que podem ser limitantes (NT), e (iii) promoção da atividade biológica (PAB) definida pelo CBM e NBM, influenciados pela relação C/N

que sinaliza o processo de decomposição. Para cada uma dessas funções principais foi atribuído peso numérico (W_i) segundo dois critérios: (i) a soma dos pesos de cada função deve ser igual a 1 e (ii) o valor do peso deve refletir o grau de importância da função principal para o funcionamento do solo. Assim, se atribuiu peso 0,40 para retenção de água, 0,20 para suprimento de nutrientes e 0,40 para promoção da atividade biológica. Os maiores valores de peso foram atribuídos às funções RA e PAB por considerar que elas são mais importantes para o funcionamento dos solos em região semiárida, diretamente, por disponibilizar água (RA) e indiretamente, pela decomposição e ciclagem dos nutrientes associadas à rápida resposta aos distúrbios propiciada pela biota do solo (PAB). Adicionalmente, foram atribuídos pesos numéricos para os indicadores da qualidade (w_t) usando como critérios: (i) seu grau de importância para a função e (ii) a soma dos pesos dos indicadores por função deve ser igual a 1.

Os valores foram normalizados em uma escala única, entre 0 e 1, usando a equação $v = 1/1 + [(B - L)/(x - L)]^{2S(B+x-2L)}$ para gerar curvas de escore (Glover et al., 2000). Nesta equação, v é a pontuação padronizada; B , o valor crítico ou limite-base do indicador, cujo escore padronizado é 0,5, e que estabelece o limite entre a boa e a ruim qualidade do solo; L , o limite crítico inferior que o indicador do solo pode expressar, podendo ser 0; S , a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador e x , o valor do indicador medido no campo. A definição dos valores dos limites crítico inferior e superior e da inclinação da tangente de cada indicador foi realizada de acordo com Glover et al. (2000). O IQS do sistema menos impactado (MATA) foi utilizado como referência na comparação com os agroecossistemas. O IQS varia de 0 a 1, onde o valor 1 indica que o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada e 0 ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo (Glove et al., 2000).

Tabela 2.3. Funções principais, ponderadores e indicadores usados no cálculo dos índices da qualidade do solo em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil.

Função principal	Ponderador da função (W_i)	Indicador da qualidade	Ponderador do indicador (w_t)	Limite Crítico Inferior (L)*	Limite Crítico Superior*	Inclinação da tangente (S)*
Retenção de água (RA)	0,40	Ds	0,70	1,0	2,0	-2,6170
		COT	0,30	0	18,0	0,0014

Suprimento de nutrientes (SN)	0,20	pH	0,10	4,5	9,5	1,3012
		CTC	0,30	0	21,0	0,1159
		NT	0,30	0	3000,0	0,0090
		COT	0,30	0	18,0	0,0014
Promoção da atividade biológica (PAB)	0,40	CBM	0,50	0	250,0	0,0109
		NBM	0,50	0	75,0	0,0342

Ds: densidade do solo, COT: carbono orgânico total, CTC: capacidade de troca catiônica, NT: nitrogênio total, CBM: carbono da biomassa microbiana, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana. *Fonte: Glover et al. (2000).

Para comparar a estabilidade dos agroecossistemas foram utilizados os índices de resistência (RS) e resiliência (RL) propostos por Orwin e Wardle (2004). A análise da resistência dos agroecossistemas em 2009 (t0) foi realizada considerando como controle o solo da MATA. O RS ($RS(t_0) = 1 - [2 |D_0| / (C_0 + |D_0|)]$) em que RS (t0) é o índice de resistência, em 2009; C0 é valor de resposta do indicador do solo controle (MATA); P0, o valor de resposta do indicador do solo ao distúrbio (agroecossistemas) e D0 (C0 – P0) é diferença entre as respostas dos indicadores do solo controle (C0) e do solo sob distúrbio, no final do distúrbio (P0). O índice de resistência varia entre +1 (o distúrbio não teve efeito - resistência máxima) e -1 (efeitos mais fortes - menos resistência).

A análise da resiliência foi realizada considerando os resultados obtidos por Maia et al. (2007) em 2002 como valores para o solo controle. O RL ($RL(t_x) = [2 |D_0| / (|D_0| + |D_x|)] - 1$), onde RL (tx) é o índice de resiliência no tempo decorrido de sete anos, D0 é a quantidade de mudança causada inicialmente pelo distúrbio e Dx é a diferença entre as respostas do indicador do solo controle e do solo sob distúrbio (agroecossistemas), no tempo de sete anos escolhido para medir a resiliência. O índice de resiliência também varia entre +1 (restabelecimento total - resiliência máxima) e -1 (taxa de restabelecimento mais lenta) (Orwin; Wardle, 2004).

Análise dos dados

Os indicadores da qualidade do solo e os índices foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de, no máximo, 0,05 de probabilidade. Em seguida, os indicadores da

qualidade do solo foram separados em variáveis explicativas (pH, Ca, Mg, K trocáveis, P disponível, H+Al, COT, N, umidade e Ds) e respostas (CTC, SB, V, CBM, NBM, RBS, CBM/COT, NBM/N, qCO²) para garantir a independência das variáveis explicativas. O pH foi definido como variável explicativa categórica, com faixa ideal para o cultivo de 5,5 a 6,5. Para observar semelhanças entre os manejos foi realizada ordenação entre as áreas e as variáveis respostas, por camada, através da análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS), tendo como medida de dissimilaridade o índice de Bray-Curtis. A distorção da resolução em duas dimensões da ordenação é expressa pelo valor S (chamado stress). Quanto mais próximo de zero for o NMDS melhor o ajuste entre a distância original dos objetos e a configuração obtida. A análise dos componentes principais (ACP) foi usada para revelar as similaridades e/ou diferenças entre as áreas e o relacionamento entre os índices de qualidade, resistência e resiliência do solo. Inicialmente, todos os índices de resistência e resiliência calculados foram transformados e usados para ACP. No entanto, para agrupar nos dois primeiros componentes principais (CPs) mais de 80% da variância total, alguns índices foram selecionados. As análises foram realizadas usando os programas estatísticos SAEG (Sistemas para Análises Estatísticas) versão 9.1, STATISTICA (Data Analysis Software System) versão 7 e R versão 2.

2.3 Resultados

2.3.1 Qualidade do solo

As comparações de médias dos indicadores da qualidade do solo por camada (Tabela 2.4.) mostram que AGRO e SILVI mantiveram a qualidade do solo por apresentaram indicadores com valores iguais ou superiores aos da MATA.

Tabela 2.4. Indicadores químicos, físicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, em Sobral – Ceará, Brasil (n=6).

Área	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V	NBM	CBM	COT	CBM COT ¹	NT	NBM NT ¹	RBS	U	Ds	
		---mg dm ⁻³ ---		-----cmol _c dm ⁻³ -----						%	-----mg kg ⁻¹ -----	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	%	mg 100cm ⁻³	g g ⁻¹	g dm ⁻³	
0 a 5 cm																			
AGRO	6,8B	35,3A	200,5CD	8,2BC	2,0A	0,9C	10,9C	11,8C	92,0A	15,4D	118,0 ^{NS}	18,3B	7,1 ^{NS}	1,66 ^{NS}	1,1B	136,3 ^{NS}	0,018B	1,17ABC	
SILVI	6,5BC	8,2CD	339,5 A	8,5BC	3,1AB	2,1AB	12,5BC	15,0BC	83,3B	23,7CD	153,6 ^{NS}	29,5A	5,2 ^{NS}	2,36 ^{NS}	1,0B	113,7 ^{NS}	0,026B	1,12BC	
MATA	6,5BC	5,9CD	225,6BCD	11,5B	3,2AB	2,2AB	15,3B	17,5B	86,7AB	41,5A	206,7 ^{NS}	27,8A	7,7 ^{NS}	2,06 ^{NS}	2,6A	107,8 ^{NS}	0,040A	1,9C	
TRAD ₉	6,3C	4,1D	175,1D	6,9C	3,3AB	2,5A	10,7C	13,3C	81,0B	36,4AB	165,8 ^{NS}	25,4AB	6,9 ^{NS}	1,76 ^{NS}	2,1AB	98,3 ^{NS}	0,023B	1,22AB	
FOGO	7,3A	19,3B	307,5AB	8,5BC	2,2B	1,1C	14,7B	14,2BC	91,5A	16,6D	137,3 ^{NS}	20,6AB	7,0 ^{NS}	1,68 ^{NS}	1,2AB	145,9 ^{NS}	0,022B	1,25A	
TRAD ₆	6,7BC	14,3BC	278,0ABC	16,1A	4,1A	1,5BC	20,9A	22,4A	93,2A	29,7BC	193,9 ^{NS}	25,5AB	7,7 ^{NS}	2,00 ^{NS}	1,4AB	142,5 ^{NS}	0,048A	1,10C	
5 a 10 cm																			
AGRO	6,8 A	11,5A	141,3B	7,6BC	2,0C	0,9C	10,1BC	11,1C	91,0A	24,1B	107,6C	9,20B	12,1B	1,02 ^{NS}	2,3AB	175,6AB	0,029C	1,32AB	
SILVI	6,4BC	2,7B	196,1AB	7,4C	2,4BC	2,4A	11,3BC	14,0BC	81,1BC	24,2B	124,2C	16,6A	7,8B	1,37 ^{NS}	1,7B	109,1C	0,039BC	1,26ABC	
MATA	6,5ABC	3,3B	196,6AB	10,8B	3,5AB	2,1AB	14,8B	17,0B	86,7AB	29,3B	281,8A	13,2AB	22,1A	1,26 ^{NS}	2,4AB	191,6A	0,054AB	1,17BC	
TRAD ₉	6,2C	2,0B	143,3B	4,8C	2,6ABC	2,6A	7,8C	10,4C	74,8C	32,2B	130,6BC	12,7AB	10,2B	1,13 ^{NS}	3,2AB	123,2BC	0,026C	1,39A	
FOGO	6,8 A	5,5B	151,0B	6,7C	2,5BC	1,7ABC	14,7B	14,5BC	86,3AB	26,8B	117,7C	13,4AB	10,7B	1,33 ^{NS}	2,1B	162,9AB	0,030C	1,29AB	
TRAD ₆	6,6ABC	11,0A	233,6A	16,5A	3,8A	1,4BC	23,2A	23,6A	93,8A	56,5A	221,0AB	15,0AB	14,7AB	1,43 ^{NS}	4,0A	202,1A	0,065A	1,13C	
10 a 20 cm																			
AGRO	6,7 A	5,1 ^{NS}	107,5B	7,7BC	2,9B	1,0D	10,9BC	11,9BC	91,2A	20,6B	113,1A	6,3B	20,6A	0,66B	3,2B	157,8 ^{NS}	0,046BC	1,25BC	
SILVI	6,1AB	2,4 ^{NS}	178,8AB	6,4CD	3,4B	2,6AB	10,3BC	13,2BC	80,8B	25,8B	112,7AB	12,7A	9,7B	0,91A	2,9B	136,0 ^{NS}	0,056BC	1,22BC	
MATA	6,4AB	1,7 ^{NS}	169,5AB	10,7B	4,2AB	2,0ABC	15,4B	17,4B	87,4AB	25,6B	95,0AB	8,6AB	10,8B	0,96A	2,6B	139,1 ^{NS}	0,065AB	1,12CD	
TRAD ₉	6,0B	1,6 ^{NS}	122,6B	3,8D	2,8B	2,8A	6,9C	10,0C	71,0C	36,5AB	124,4A	9,0AB	14,1AB	0,8AB	4,7AB	164,8 ^{NS}	0,032C	1,41A	
FOGO	6,6A	3,2 ^{NS}	125,1B	5,5CD	3,6B	1,7BCD	11,7BC	13,5BC	85,4AB	25,9B	70,6B	6,3B	9,2B	0,8AB	3,3B	145,3 ^{NS}	0,044BC	1,31AB	
TRAD ₆	6,6A	5,2 ^{NS}	207,6A	16,4A	6,8A	1,3CD	25,4A	24,4A	94,4A	52,8A	115,4AB	7,9B	15,1AB	0,8AB	6,3A	160,6 ^{NS}	0,090A	1,07D	

AGRO agrossilvipastoril, SILVI silvipastoril, MATA sistema menos impactado, TRAD₉ tradicional em pousio há 9 anos, FOGO tradicional, TRAD₆ tradicional em pousio há 6 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste Tukey.

O SILVI não diferiu da MATA quanto à maioria dos indicadores e ainda apresentou alto K trocável e baixa RBS (segunda camada). Houve redução do NBM, NBM NT⁻¹ e umidade (camada inicial), do CBM (segunda camada) e Ca trocável (segunda e terceira camadas). O AGRO se destacou pelos altos valores de P disponível, V e CBM COT⁻¹ (terceira camada) e redução da acidez potencial. No entanto, foi detectada redução da SB, CTC, NBM, COT, NBM NT⁻¹ e umidade (camada inicial), Mg, CBM COT⁻¹, CBM e umidade (segunda camada), NT (última camada) e aumento de pH (três camadas).

De modo geral, os períodos de pousio foram suficientes para recuperar a qualidade do solo. No TRAD₆ as variáveis apresentaram valores mais elevados (P disponível na segunda camada, Ca trocável, SB, CTC, NBM nas segunda e terceira camadas e NBM NT⁻¹ na terceira camada) ou iguais (pH, P disponível, K e Mg trocáveis, H+Al, V, CBM, COT, CBM COT⁻¹, NBM NT⁻¹, U, Ds) aos da MATA. No TRAD₉ os indicadores pH, P disponível, K e Mg trocáveis, H+Al, V, NBM, COT, NBM NT⁻¹ e NT apresentaram valores semelhantes à MATA. No entanto, os indicadores Ca trocável, SB, CTC, U (todas as camadas), CBM, CBM COT⁻¹ e RBS (segunda camada) e V (segunda e terceira camadas) foram inferiores, enquanto que a Ds foi maior, nas três camadas, em relação à MATA. Houve redução da qualidade do solo em FOGO por elevar a Ds e o pH para valores acima do ideal para cultivo. Além da modificação na camada de 5 a 10 cm em relação à camada superficial pela redução de P disponível, K e Ca trocáveis e pH (ainda alcalino); e dos baixos teores de N e C da biomassa microbiana, NBM NT⁻¹, CBM COT⁻¹ e umidade (três camadas).

Os índices da qualidade do solo foram semelhantes entre MATA, SILVI e TRAD₆ nas três camadas de acordo com ANOVA (Figura 2.1). Os valores de IQS indicam que os efeitos do manejo no AGRO foram maiores na segunda camada (subsuperfície).

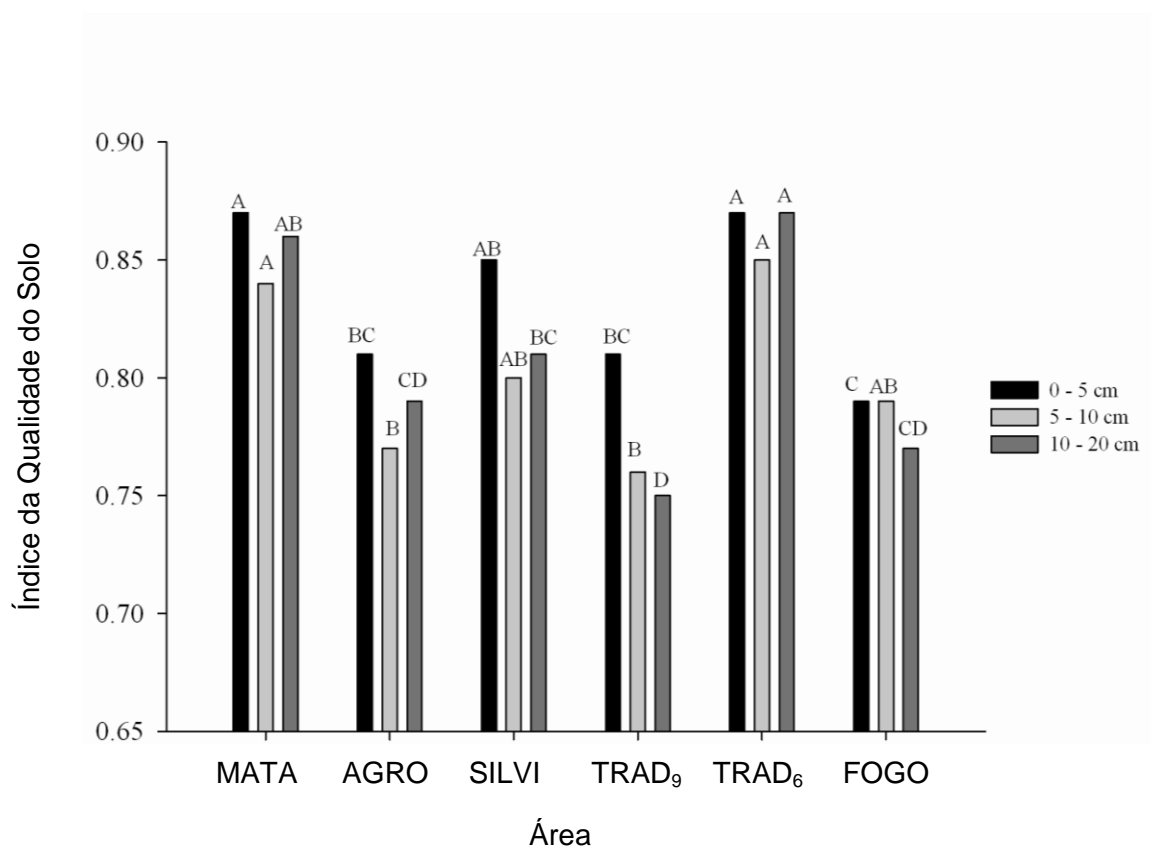


Figura 2.1. Índices da qualidade do solo (IQS) nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm em sistemas agroflorestais, tradicionais e menos impactado, Sobral – Ceará, Brasil (n=6). AGRO agrossilvipastoril, SILVI silvipastoril, MATA sistema menos impactado, TRAD₉ tradicional em pousio há 9 anos, FOGO tradicional, TRAD₆ tradicional em pousio há 6 anos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste Tukey.

A análise de ordenação pela técnica de escalonamento multidimensional não métrico mostrou similaridade entre MATA e TRAD₆ em todas as camadas (Figura 2.2). Na Figura 2.2A (stress 0,0011313), camada de 0 a 5 cm, e na Figura 2.2B (stress 1,1924e⁻¹⁴), camada de 5 a 10 cm foram observadas semelhanças entre AGRO e FOGO e entre SILVI e TRAD₉. Na última camada (Figura 2.2C, stress 0,001728267), foram observadas similaridades entre TRAD₉ e AGRO e entre FOGO e SILVI.

Segundo a análise dos componentes principais dos IQSs das três camadas houve semelhança entre MATA, TRAD₆ e SILVI e entre TRAD₉, AGRO e FOGO, com 99,98% da variância total explicados nos dois primeiros fatores (Figura 2.3). Essa semelhança entre MATA, SILVI e TRAD₆ corrobora a semelhança observada

quanto aos índices da qualidade do solo nas três camadas de acordo com ANOVA (Figura 2.1).

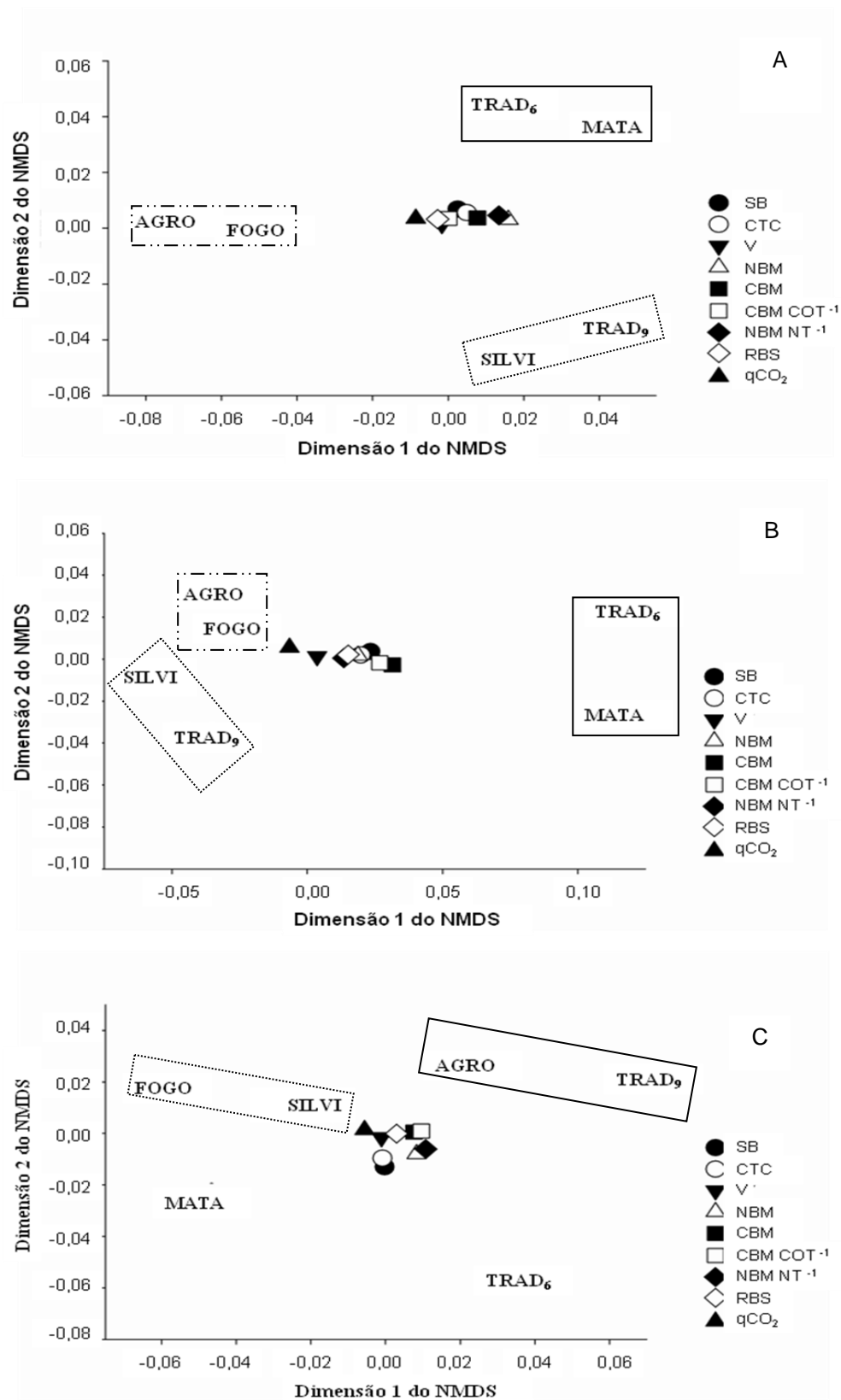


Figura 2.2. Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) dos indicadores da qualidade do solo nas camadas de 0 a 5 cm (A), 5 a 10 cm (B) e 10 a 20 cm (C) nos sistemas agrosilvipastoril (AGRO), silvipastoril (SILVI), tradicional (FOGO), tradicional em pousio há 6 anos (TRAD₆), tradicional em pousio há 9 anos (TRAD₉) e menos impactado (MATA), em Sobral – Ceará, Brasil.

De acordo com a análise dos componentes principais houve semelhança entre AGRO e SILVI e entre TRAD₉ e FOGO, com 99,98% da variância total explicada nos dois primeiros fatores (Figura 2.3).

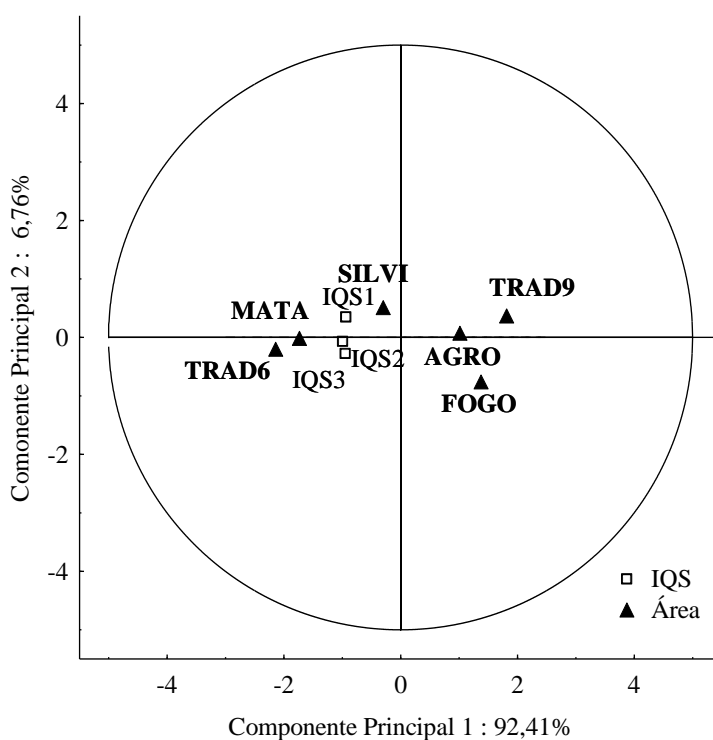


Figura 2.3. Distribuição dos índices de qualidade do solo e das áreas, nas camadas de 0 a 5 (IQS1), 5 a 10 (IQS2) e 10 a 20 (IQS3) cm de profundidade, no círculo de correlações da Análise dos Componentes Principais (ACP).

2.3.2 Resistência e resiliência do solo

Os índices de resistência e resiliência do solo foram calculados para todos os indicadores químicos, físicos e biológicos, no entanto, apenas os que apresentaram diferenças estatísticas significativas ($P < 0,05$), em pelo menos uma camada, estão expostos nas tabelas 2.5 e 2.6, respectivamente. Os sistemas em pousio apresentaram alta resistência. Na camada de 0 a 5 cm de profundidade, TRAD₆ apresentou alta resistência em relação aos índices para pH, K, H+Al e Ds e TRAD₉ em relação aos índices para pH, K, H+Al e SB. Na segunda camada, TRAD₆ apresentou alta resistência para os índices referentes à H+Al, CBM e RBS e TRAD₉ para P, K, H+Al e SB e na terceira camada, TRAD₆ apresentou altos valores para Ca, V e Ds e TRAD₉ para SB.

Tabela 2.5. Índices de resistência do solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil (n=6).

Área	pH	P	K	Ca	H + Al	SB	V	CBM	RBS	Ds
0 a 5 cm										
AGRO	0,91A	-0,65 ^{NS}	0,720A	0,57 ^{NS}	0,27B	0,56AB	0,89 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,85ABC
SILVI	0,94A	0,44 ^{NS}	0,340B	0,61 ^{NS}	0,66A	0,68AB	0,89 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,59 ^{NS}	0,890AB
TRAD ₉	0,93A	0,55 ^{NS}	0,56AB	0,44 ^{NS}	0,60A	0,56AB	0,88 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,790BC
FOGO	0,79B	-0,30 ^{NS}	0,410B	0,56 ^{NS}	0,37A	0,790A	0,90 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,7600C
TRAD ₆	0,91A	-0,01 ^{NS}	0,51AB	0,44 ^{NS}	0,43A	0,480B	0,86 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,9600A
5 a 10 cm										
AGRO	0,89 ^{NS}	-0,350B	0,58AB	0,57 ^{NS}	0,290B	0,53AB	0,91 ^{NS}	0,24B	0,790AB	0,78 ^{NS}
SILVI	0,93 ^{NS}	0,540A	0,860A	0,57 ^{NS}	0,630A	0,59AB	0,86 ^{NS}	0,30B	0,4100C	0,86 ^{NS}
TRAD ₉	0,92 ^{NS}	0,44AB	0,60AB	0,29 ^{NS}	0,55AB	0,37AB	0,77 ^{NS}	0,32B	0,500BC	0,69 ^{NS}
FOGO	0,89 ^{NS}	-0,07AB	0,54AB	0,47 ^{NS}	0,620A	0,650A	0,92 ^{NS}	0,27B	0,68ABC	0,78 ^{NS}
TRAD ₆	0,91 ^{NS}	-0,330B	0,490B	0,34 ^{NS}	0,50AB	0,300B	0,85 ^{NS}	0,65A	0,8100A	0,88 ^{NS}
10 a 20 cm										
AGRO	0,89 ^{NS}	-0,17 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,570A	0,37 ^{NS}	0,55A	0,920A	0,45 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,78ABC
SILVI	0,92 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,46AB	0,55 ^{NS}	0,56A	0,87AB	0,47 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,850AB
TRAD ₉	0,88 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,220B	0,37 ^{NS}	0,31A	0,690B	0,59 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,5900C
FOGO	0,88 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,35AB	0,58 ^{NS}	0,49A	0,900A	0,59 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,710BC
TRAD ₆	0,90 ^{NS}	-0,04 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,33AB	0,49 ^{NS}	0,22B	0,85AB	0,66 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,9200A

AGRO agrossilvipastoril, SILVI silvipastoril, TRAD₉ tradicional em pousio há 9 anos, FOGO tradicional, TRAD₆ tradicional em pousio há 6 anos. ^{NS} = valores não diferem estatisticamente pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey.

A resistência dos sistemas agroflorestais foi alta, com exceção de AGRO na segunda camada que apresentou a menor resistência quanto aos indicadores P, H+Al e CBM. A maior resistência dessa camada foi detectada em SILVI quanto ao P, K e H+Al, seguido de FOGO que não alterou seus teores de H+Al e SB. Na última camada, foi detectada alta resistência em AGRO para os índices relativos ao Ca, SB, V e Ds e em FOGO para Ca, V e SB. O FOGO apresentou baixa resistência apenas na primeira camada indicando que o efeito desse manejo pode se concentrar nesta camada.

Na primeira camada se observou maior resiliência no SILVI e TRAD₆ (P, Ca e NBM NT⁻¹) e menor em TRAD₉ para os mesmos indicadores.

Tabela 2.6. Índices de resiliência do solo, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em sistemas agroflorestais e tradicionais, Sobral – Ceará, Brasil (n=6).

Área	P	Ca	Mg	H + Al	CTC	CBM	COT	NBMNT ⁻¹
0 a 5 cm								
AGRO	-0,890B	-0,60B	-0,38 ^{NS}	0,38 ^{NS}	-0,47 ^{NS}	-0,65 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,31AB
SILVI	-0,240A	0,17A	0,10 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}	-0,74 ^{NS}	-0,11 ^{NS}	0,660A
TRAD ₉	-0,950B	-0,54B	-0,54 ^{NS}	-0,18 ^{NS}	-0,66 ^{NS}	-0,78 ^{NS}	-0,01 ^{NS}	-0,300B
FOGO	-0,210A	-0,76B	-0,45 ^{NS}	0,19 ^{NS}	-0,73 ^{NS}	-0,69 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,42AB
TRAD ₆	-0,76AB	-0,12A	-0,34 ^{NS}	-0,02 ^{NS}	-0,34 ^{NS}	-0,81 ^{NS}	-0,23 ^{NS}	0,25AB
5 a 10 cm								
AGRO	-0,970B	-0,6600B	-0,180B	0,680A	-0,49AB	-0,21A	0,19 ^{NS}	-0,08 ^{NS}
SILVI	-0,160A	0,2700A	0,330 ^a	0,07AB	0,170A	0,39A	0,00 ^{NS}	0,09 ^{NS}
TRAD ₉	-0,970B	-0,4900B	-0,60BC	-0,170B	-0,560B	-0,13A	-0,02 ^{NS}	-0,10 ^{NS}
FOGO	-0,44AB	-0,4800B	-0,720C	0,12AB	-0,41AB	-0,07B	-0,07 ^{NS}	0,18 ^{NS}
TRAD ₆	-0,810B	0,0009AB	-0,660C	0,18AB	-0,16AB	-0,26A	-0,09 ^{NS}	0,20 ^{NS}
10 a 20 cm								
AGRO	-0,98 ^{NS}	-0,670C	-0,15 ^{NS}	0,460A	-0,53 ^{NS}	-0,51 ^{NS}	0,42A	-0,21 ^{NS}
SILVI	-0,58 ^{NS}	0,320A	0,08 ^{NS}	0,04AB	0,21 ^{NS}	0,15 ^{NS}	-0,02B	-0,37 ^{NS}
TRAD ₉	-0,97 ^{NS}	-0,46BC	-0,54 ^{NS}	0,410A	-0,60 ^{NS}	-0,78 ^{NS}	-0,20A	0,17 ^{NS}
FOGO	-0,60 ^{NS}	-0,41BC	-0,49 ^{NS}	-0,240B	-0,52 ^{NS}	-0,56 ^{NS}	-0,37A	0,04 ^{NS}
TRAD ₆	-0,86 ^{NS}	0,01AB	-0,19 ^{NS}	-0,370B	-0,28 ^{NS}	-0,82 ^{NS}	-0,12A	0,11 ^{NS}

AGRO agrossilvipastoril, SILVI silvipastoril, TRAD₉ tradicional em pousio há 9 anos, FOGO tradicional, TRAD₆ tradicional em pousio há 6 anos. ^{NS} = valores não diferem

estatisticamente pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5%, pelo teste de Tukey.

Na segunda camada, SILVI apresentou a maior resiliência segundo os índices obtidos para P, Ca, Mg, H+Al, CTC e CBM seguido de TRAD₆ (Ca, H+Al, CTC e CBM), AGRO (H+Al, CTC e CBM) e FOGO (P, H+Al e CTC), enquanto TRAD₉ apresentou a menor resiliência (P, Ca, Mg, H+Al e CTC). Na terceira camada os sistemas mais resilientes foram SILVI e TRAD₉ (Ca, H+Al e COT), seguidos por AGRO (H+Al e COT) e TRAD₆ (Ca e COT) enquanto FOGO apresentou baixa resiliência observada segundo os índices obtidos dos indicadores Ca e H+Al.

A análise dos componentes principais revelou que os dois primeiros fatores explicam 84,80% da variabilidade total entre os sistemas de manejo na camada superficial (Figura 2.4A); 82,35% da variabilidade total na segunda camada (Figura 2.4B) e 81,38% da variabilidade total na terceira camada (Figura 2.4C). Na camada superficial, TRAD₉ e SILVI se agruparam pela semelhança apresentada nos indicadores H+Al, P disponível, NT, CTC e Mg e TRAD₆ difere das outras áreas em função de NT, CTC, SB, Ca e COT. Na camada de 5 a 10 cm de profundidade, SILVI e FOGO foram agrupados a partir das semelhanças observadas em SB, COT, NBM NT⁻¹ e NBM. Na última camada, TRAD₆ e TRAD₉ são semelhantes, bem como AGRO e FOGO enquanto SILVI difere das outras áreas quanto aos indicadores K e Mg trocáveis, P disponível, pH e CBM.

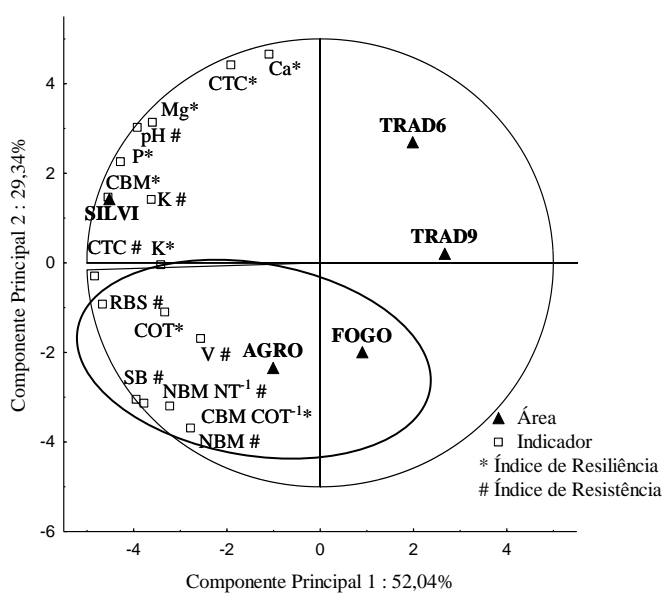
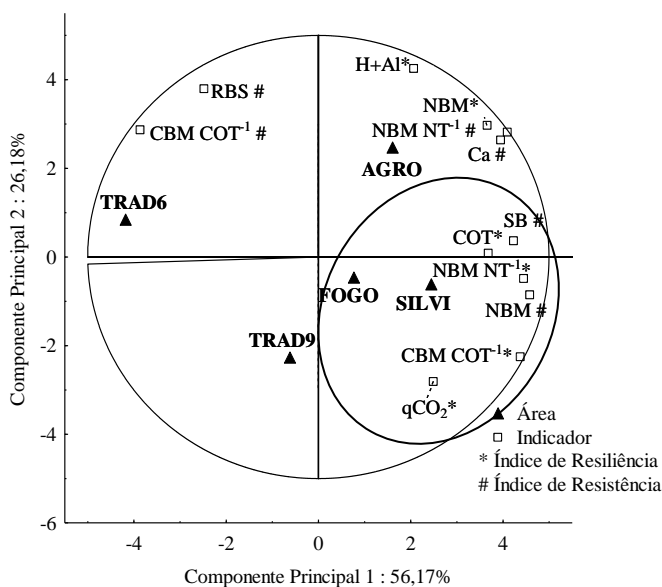
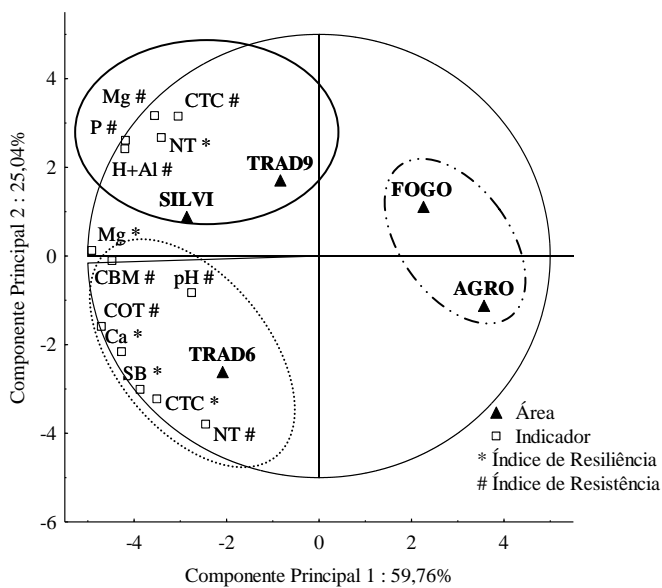


Figura 2.4. Distribuição das variáveis (índices de resistência e de resiliência obtidos de acordo com os indicadores) e das áreas, nas camadas de 0 a 5 (A), 5 a 10 (B) e 10 a 20 (C) cm de profundidade, no círculo de correlações da Análise dos Componentes Principais (ACP).

2.4 Discussão

2.4.1 Qualidade do solo

A qualidade do solo nos sistemas agroflorestais foi mais semelhante a do sistema menos impactado do que a qualidade observada no tradicional. Resultados semelhantes obtiveram Maia et al. (2006; 2007; 2008) e Silva et al. (2011) para as mesmas áreas deste trabalho. Essa semelhança pode acontecer porque as árvores e as culturas se complementam funcional e estruturalmente (Jordan, 2004), o que favorece contínuo aporte de matéria orgânica ao solo (Maia et al., 2007). A semelhança da densidade do solo entre os sistemas agroflorestais e o sistema menos impactado deve ocorrer porque as raízes das árvores agem na formação e estabilização dos agregados, através da ação física, decomposição e liberação de exsudados (Maia et al., 2006). Os maiores teores de P disponível obtidos no AGRO, observados, também por Nogueira et al. (2008), podem estar associados à aplicação de esterco. Maiores valores de saturação por bases (V), observados no agrossilvipastoril, assim como por Maia et al. (2007), confirmam a eficiência desse manejo agroflorestal em favorecer a ciclagem dos nutrientes.

No silvipastoril se registraram os maiores valores de COT em função do contínuo aporte de resíduos orgânicos provenientes dos sistemas radiculares diversificados, distribuição de nutrientes via esterco e urina e não revolvimento do solo, fatores estes que favorecem o desenvolvimento do estrato herbáceo e aumento da biomassa. O aumento de COT em SILVI foi verificado no valor médio das camadas e representou 33%, 44%, 19%, 20% e 22% em relação ao FOGO, AGRO, MATA, TRAD₆ e TRAD₉, respectivamente. A cobertura vegetal pode ter propiciado aos indicadores do SILVI patamares mais elevados que à MATA e alto IQS o que pode acontecer pelas melhores condições de luminosidade para desenvolvimento das herbáceas. Maia et al. (2007) observaram uma cobertura do solo de 60% em SILVI e de apenas 29% na MATA. O maior aporte de matéria

orgânica no SILVI reflete em maior eficiência na ciclagem dos nutrientes (Altieri, 2004), o que o torna adequado para produção de alimentos e conservação do solo (Maia et al., 2007).

De acordo com Maia et al. (2007), os sistemas agroflorestais garantem o aporte contínuo da matéria orgânica por cinco fontes distintas: folhagem das árvores (1 tonelada $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), parte aérea da rebrotação dos tocos cortada e incorporada ao solo (2 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), ervas nativas que são capinadas ou roçadas e incorporadas ao solo (3 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), corte da parte aérea da leguminosa perene (2 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e esterco dos animais (3 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Assim, nas regiões semiáridas, os modelos silvipastoris e agrossilvipastoris parecem ser os mais adequados por associarem a exploração animal, quer com o manejo da vegetação lenhosa, quer com o manejo da vegetação lenhosa e a agricultura (Maia et al., 2007).

Os seis anos de pousio do agroecossistema tradicional propiciaram a recuperação da qualidade do solo por sua alta fertilidade química e biológica observadas nos teores de P disponível, K, Ca e Mg trocáveis, SB, CTC, V, COT, NBM e CBM e pelo alto IQS. Avaliando indicadores biológicos do solo, Benintende et al. (2008) observaram que três anos sem preparo do solo possibilitam maior estabilidade na distribuição e crescimento das populações microbianas. O CBM e o NBM e a conversão do COT e NT em CBM (CBM COT^{-1}) e NBM (NBM NT^{-1}) refletem a atuação da microbiota na decomposição da matéria orgânica (Li et al., 2004). Esta atuação pode ter ocorrido nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm, percebida pelos altos valores de SB e CTC. Adicionalmente, o TRAD₆ apresentou pH e Ds ideais ao desenvolvimento vegetal. Os nove anos de pousio também foram suficientes para melhorar a qualidade do solo. No entanto, a baixa conversão do COT em CBM e a alta atividade respiratória, nas duas primeiras camadas, sinalizam a lenta recomposição da microbiota, pois apesar de não ser densa, apresenta alta atividade respiratória, se mostrando pouco eficiente na utilização desse recurso. Essa baixa eficiência também foi verificada em monocultura por Benintende et al. (2008) ao obterem menor conversão do COT em CBM. Contudo, a comunidade microbiana do tradicional em pousio há nove anos é maior do que a do tradicional, o que indica serem os efeitos do manejo tradicional prejudiciais à microbiota, que pode necessitar de um longo período de pousio para sua recolonização.

As diferentes respostas do sistema tradicional ao pousio podem estar associadas à maior acidez potencial observada no pousio de 9 anos em relação ao pousio há 6 anos. A alta acidez potencial pode reduzir os teores de K, Ca e Mg trocáveis visto que os sítios de troca nos quais poderiam estar adsorvidos ao solo são ocupados pelo H e Al e, conseqüentemente, há redução da SB e CTC. Essas respostas se acentuam e são dependentes das variações no conteúdo e da mineralogia da argila, o que leva à redução dos sítios de troca e menor retenção dos nutrientes (Maia et al., 2007). Estes autores ao estudarem as mesmas áreas observaram teores de argila maiores no TRAD₆ e, assim, aumento na SB, CTC e V. Este aumento possibilitou uma recuperação da qualidade do solo mais rápida no pousio de seis anos do que no de nove anos. Nas áreas onde a qualidade do solo é reduzida pelo desmatamento e queimada, o período de pousio pode ser variável de acordo com características edáficas e ambientais como textura, estrutura e mineralogia do solo, temperatura e disponibilidade hídrica. Como a maioria das avaliações do solo é feita segundo apenas propriedades químicas e algumas físicas, surge à necessidade de repensar quais características edáficas e ambientais são mais representativas da qualidade do solo. Assim, se propõe, para um monitoramento mais completo, o uso dos índices de resistência e resiliência do solo.

Os resíduos provenientes da queimada propiciaram o aumento do P disponível e favoreceram K e Ca trocáveis, SB, CTC e V, na camada inicial do tradicional, que apresentaram valores intermediários entre o sistema menos impactado e os demais agroecossistemas. No entanto, se deve considerar que esses benefícios podem ser temporários, uma vez que não se tem um período ideal definido para recuperação da qualidade dos solos que passam por desmatamento e queimada, mesmo com o emprego de longos períodos de pousio. A redução de alguns elementos, o pH acima do recomendado para cultivo e a baixa concentração de N e C na biomassa microbiana, na segunda e terceira camadas, são indícios de que os benefícios da queimada são restritos a superfície do solo. Essa redução da microbiota pode comprometer serviços ambientais como a decomposição e ciclagem de nutrientes (Wardle, 1994).

A semelhança observada na qualidade do solo entre agrossilvipastoril e tradicional, nas duas primeiras camadas, representada pelo IQS, pela redução em Ca trocável, CTC, NBM e umidade e pelo aumento de P disponível e V pode ocorrer pela capina periódica das herbáceas nativas para evitar competição com as culturas

agrícolas no agrossilvipastoril e pela queimada que fraciona, através da combustão, a cobertura vegetal do solo no tradicional. Além disso, essa semelhança pode ser decorrente do revolvimento do solo nessas áreas. Assim como Maia et al. (2007) se observa uma redução do COT no AGRO que pode estar relacionada com a oxidação da matéria orgânica gerada pelo revolvimento do solo. A semelhança observada na qualidade do solo de AGRO e TRAD₉, na terceira camada, pode ser resultante da maior concentração de argila em AGRO (Maia et al., 2007). Este fato melhora a qualidade do solo por haver mais sítios de troca; além dos efeitos do revolvimento no AGRO ocorrerem na superfície e subsuperfície do solo. A semelhança entre MATA e TRAD₆ na análise univariada, no NMDS e na ACP indica que os seis anos de pousio foram suficientes para que a qualidade do solo retorne à condição do sistema menos impactado.

2.4.2 Resistência e resiliência do solo

As maiores resistência e resiliência do solo nos sistemas agroflorestais indicam que esse manejo é sustentável. Como a sustentabilidade agrícola está associada à manutenção ou incorporação da matéria orgânica (Weiner et al., 2010), agrossilvipastoril e silvipastoril são sustentáveis por propiciarem elevada entrada de matéria orgânica pela incorporação da serapilheira, dos exsudados radiculares das árvores e dos excretas animais (Altieri, 2004). O agrossilvipastoril apresentou alta resistência na segunda camada e alta resiliência na terceira. A composição e densidade das plantas são importantes para resistência e resiliência do solo em função dos altos níveis de atividade biológica (Seybold et al., 1999), no entanto, o maior revolvimento na superfície do solo do agrossilvipastoril pode ter restringido os benefícios das árvores à subsuperfície.

O tradicional em pousio há 6 anos apresentou alta resistência quanto à D_s, na primeira camada, e quanto ao CBM e RBS, na segunda camada. Essa condição pode sinalizar sua recuperação visto que as comunidades biológicas de superfície e subsuperfície são um dos fatores que mais afetam a resistência do solo, pois mecanismos de recuperação como a ciclagem de nutrientes, formação e estabilização de agregados e controle dos organismos patogênicos são mediados biologicamente (Seybold et al., 1999). No entanto, a resistência de TRAD₉ para CBM e RBS na mesma camada foi baixa, o que pode ter ocasionado as diferentes

respostas da qualidade e estabilidade do solo e estar relacionada à proximidade desta área com a do tradicional, visto que são adjacentes, em função de um possível efeito de borda que introduziu efeitos negativos sobre os 9 anos de pousio, como redução da comunidade microbiana.

De modo geral, o agroecossistema tradicional apresentou as menores resistências e resiliências pela baixa quantidade de biomassa viva e morta no campo, que deixa o solo descoberto levando ao aumento da perda de nutrientes e erosão (Weiner et al., 2010). Grande parte dos estudos de biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas obtém uma relação significativa entre a diversidade biológica e os processos ecossistêmicos (produtividade primária, ciclagem de nutrientes e interações tróficas). No entanto, nesta pesquisa o agroecossistema tradicional, uma monocultura, apresentou alta resistência, na terceira camada, que pode estar associada a mecanismos compensatórios no solo (Proulx et al., 2010). Ao estudarem ambientes pouco diversos Proulx et al. (2010) associaram a alta resistência do solo aos mecanismos compensatórios que enfraquecem a relação entre diversidade e estabilidade em função da condição do solo anterior ao distúrbio e não pela ausência do efeito do distúrbio.

De modo geral, silvipastoril e tradicional em pousio há 6 anos são mais resistentes e resilientes, portanto irão manter a qualidade do solo, que é a chave da sustentabilidade (Seybold et al., 1999). Em contrapartida, os agroecossistemas FOGO e TRAD₉ são os menos resistentes e resilientes, provavelmente pela influência do manejo de corte e queima do tradicional visto que são adjacentes. Além disso, ao estudarem as mesmas áreas Silva et al. (2011) concluíram que o tempo de pousio não foi suficiente para recuperar a qualidade física do solo e que os cultivos sucessivos afetaram estas propriedades. Deve-se considerar que, ao longo do tempo, a capacidade de resistir ou recuperar as funções do solo após uma perturbação pode ser degradada ou perdida em função do manejo inadequado do solo, resultando em reduções concomitantes na qualidade do mesmo (Seybold et al., 1999). Portanto, a agricultura tradicional que emprega desmatamento e queimada periodicamente, mesmo deixando o solo em pousio, pode se tornar insustentável.

2.5 Conclusões

O manejo tradicional reduz a qualidade, a resistência e a resiliência do solo, principalmente, na camada superficial. Os sistemas agroflorestais são sustentáveis, pois o solo é mais resistente e resiliente, principalmente no sistema silvipastoril. O pousio pode melhorar a qualidade, resistência e resiliência do solo na região semiárida brasileira.

Referências

- Aguiar, M.I.; Fialho, J. S.; Araújo, F. C. S.; Campanha, M. M.; Oliveira, T. S. 2012. Does biomass production depend on plant community diversity? *Agroforest System*, 87: 1-13.
- Aguiar, M.I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J., Oliveira, T.S. 2010. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 79:277–289.
- Anderson, J.P.; Domsch, K.H. 1978 A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10: 215-221.
- Altieri, M.A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 35-42.
- Benintende, S.M.; Benintende, M.C.; Sterren, M.A., Battista, J.J. 2008. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators*, 8: 704 – 708.
- Breman, H.; Kessler, J.J. 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *European Journal of Agronomy*, 7: 25–33.
- Brasil - Ministério das Minas e Energia. Radam Brasil 1981. Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, p 740.
- Carvalho, R.; Goedert, W. J.; Armando, M.S. 2004. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 1153 – 1155.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual de métodos de análise de solo, 2. ed. Embrapa – CNPS, Rio de Janeiro, Brasil, p 212.

Glover, J.D.; Reganold, J.P.; Andrews, P.K. 2000. Systematic method for rating soil quality of convencional, organic and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80: 29-45.

Instituto de Pesquisa e Estatégia Econômica do Ceará. 2011. Perfil básico municipal, Sobral. Fortaleza: Seplag – Secretaria do Planejamento e Gestão, Governo do Estado do Ceará, 18p.

Islam, K.R.; Weil, R.R. 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 408-416.

Jordan, C.F. 2004. Organic farming and agroforestry: alleycropping for mulch production for organic farms of southeastern United States. *Agroforestry Systems*, 61: 79- 90.

Karlen, D.L.; Stott, D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzedicek, D.F.; Stewart, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p.53-72. (Special Publication, 35).

Kibblewhite, M. G.; Ritz, K.; Swift, M.J. 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.*, 363: 685 – 701.

Li, F-M; Song, Q-H; Jjemba, P.K.; Shi, Y-C. 2004. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1893-1902.

Maia, S.M.; Xavier, F.A.Z.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A. 2006. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade no solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 30: 837 – 848.

Maia, S.M.; Xavier, F.A.Z.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A. 2007. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, 71: 127-138.

Maia, S.M.; Xavier, F.A.Z.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A. 2008. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 381-392.

Nogueira, R.S.; Oliveira, T.S.; Teixeira, A.S.; Araújo Filho, J.A. 2008. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semi-árido cearense. *Ceres*, 55: 327 – 337.

- Orwin, K.H.; Wardle, D.A. 2004. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1907 – 1912.
- Proulx, R.; Wirth, C.; Voibt, W.; Weigelt, A.; Roscher, C.; Attinger, S.; Baade, J.; Barnard, R.L.; Buchmann, N.; Buscot, F.; Eisenhauer, N.; Fischer, M.; Gleixner, G.; Halle, S.; Hildebrandt, A.; Kowalski, E.; Kuu, A.; Lange, M.; Milcu, A.; Niklaus, P.A.; Oelmann, Y.; Rosenkrankz, S.; Sabais, A.; Scherber, C.; Scherer-Lorenzen, M.; Scheu, S.; Schulze, E.D.; Schumacher, J.; Schwichtenberg, G.; Soussana, J.F.; Temperton, V.M.; Weisser, W.W.; Wilcke, W.; Schmid, B. 2010. Diversity promotes temporal stability across levels of ecosystem organization in experimental grasslands. *Plos One*, 10: 1-8.
- Seybold, C.A.; Herrick, J.E.; Bredja, J.J. 1999. Soil resilience: component of soil quality. *Soil Science*, 164: 224 – 234.
- Silva, G.L.; Lima, H.V.; Campanha, M.M.; Gilkes, R.J.; Oliveira, T.S. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, 168: 61–70.
- Sousa, F.P.; Ferreira, T.O.; Mendonça, E.S.; Romero, R.E.; Oliveira, J.G.B. 2012. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 148: 11– 21.
- Sparling, G.P. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30: 195-207.
- Wardle, D.A. 1994. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. *Functional Ecology*, 7: 346-355.
- Weiner, J.; Andersen, S.B.; Wille, W.K.M.; Griepentrog, H.W.; Olsen, J.M. 2010. Evolutionary agroecology: the potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evolutionary Applications*, 3: 473-479.
- Yeomans, J.C.; Bremner, J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1467-1476.

Capítulo 3: Diversidade da pedofauna em sistemas tradicionais e agroflorestais do semiárido brasileiro¹

Jamili Silva Fialho², Maria Ivanilda de Aguiar³, Rafaela Batista Magalhães⁴, Lilianne dos Santos Maia⁴, Maria Elizabeth Fernandes Correia⁵, Mônica Matoso Campanha⁶ e Teógenes Senna de Oliveira⁷

¹ Manuscrito submetido à Revista Brasileira de Ciência do Solo (ISSN 1806-9657) em 09 de novembro de 2012

² Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

³ Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Agrobiologia

⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Milho e Sorgo

⁶ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa

Resumo - Um dos desafios da pesquisa em ecologia do solo é avaliar o impacto dos manejos agrícolas sobre os invertebrados. O presente estudo objetivou avaliar a diversidade, riqueza, abundância e uniformidade da pedofauna em áreas de sistemas agroflorestais (agrossilvipastoril e silvipastoril), tradicionais envolvendo queimada (em uso e com seis e nove anos de pousio) e sistema menos impactado (MATA). Instalaram-se armadilhas de queda em cinco transectos espaçados em 10 m. As armadilhas permaneceram nas áreas por sete dias, nos períodos seco e chuvoso. Os invertebrados coletados foram identificados em grupos taxonômicos e foram determinadas diversidade, riqueza, abundância e uniformidade. No período seco, os sistemas agroflorestais apresentaram baixas diversidade e uniformidade, porém riqueza semelhante à MATA. As áreas em pousio apresentaram altas diversidade e uniformidade em função da reocupação do solo pela fauna. Houve semelhança em diversidade e uniformidade do tradicional e MATA, pois os efeitos negativos da queimada são mais evidentes a partir do segundo ano após queima. No período chuvoso, as agroflorestas apresentaram abundância e riqueza semelhante à MATA, provavelmente, devido ao aumento do carbono orgânico pela deposição constante do material vegetal. Os sistemas tradicionais em pousio

apresentaram abundância, riqueza, diversidade e uniformidade semelhantes à MATA. O tradicional apresentou a maior abundância, porém riqueza semelhante às demais áreas e menor diversidade e uniformidade. Os sistemas agroflorestais apresentam diversidade e uniformidade da pedofauna semelhantes às do sistema menos impactado quando há disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: Mesofauna, macrofauna, agrossilvipastoril, silvipastoril, agricultura de corte e queima.

Abstract – *One of the challenges of research in soil ecology is to assess the impact of agricultural managements on invertebrates. The aim of this study was to evaluate diversity, wealthiness, abundance, and uniformity of pedofauna in areas of agroforestry systems (agrosilvopastoral and silvopastoral), traditional involving burn (in use and in six and nine years of fallow), and system less impacted (MATA). Pitfall traps were settled in five transectors spaced at 10 meters. Pitfall traps stayed at the places for seven days, at dry and rainy seasons. Invertebrates collected were identified by taxonomic groups and diversity, wealthiness, abundance, and uniformity were determined. At dry season, agroforestry systems presented low diversity and uniformity, however wealthiness is similar to MATA. Fallow areas presented high diversity and uniformity because of reconquest of soil by fauna. There was similarity in diversity and uniformity of traditional one and MATA, so negative effects of burning are more evident from the second year after burning. At rainy season, agroforestries presented abundance and wealthiness similar to MATA, probably, due to increased deposition of organic carbon contained in the vegetable material. The traditional system in fallow presented abundance, wealthiness, diversity and uniformity similar to MATA. Traditional one presented the highest abundance, however wealthiness similar to the other areas and lower diversity and uniformity. Agroforestry systems presented pedofauna diversity and uniformity similar to the system less impacted when there is water availability.*

Keywords: *Mesofauna, macrofauna, agrosilvopastoral, silvopastoral, slash and burn agriculture.*

3.1 Introdução

Um dos desafios da pesquisa em ecologia do solo é avaliar o impacto dos manejos agrícolas sobre os invertebrados do solo, visto que o tipo de manejo pode mudar o conteúdo de água, a temperatura, o grau de incorporação dos restos culturais no solo e o ambiente físico-químico no qual esses organismos estão inseridos (Errouissi et al., 2011). Em agroecossistemas semiáridos a abundância e a diversidade dos organismos do solo são, frequentemente, reduzidas pelos distúrbios na estrutura do hábitat. Esses distúrbios são causados pelas condições climáticas extremas, sobrepastejo, queima dos restos culturais e monocultura (Brévault et al., 2007). Além disso, nas regiões semiáridas, a condição árida que ocorre durante a longa estação seca causa alta fragilidade na comunidade de plantas perenes e rápida decomposição da matéria orgânica (Maia et al., 2007), o que pode afetar direta e indiretamente a comunidade dos organismos do solo. Todas essas condições, combinadas ou não, desfavorecem os solos tropicais quanto a presença de organismos da meso e macrofauna, os tornando mais vulneráveis a processos que resultam em perda da sua estrutura, como a compactação (Brévault et al., 2007), tornando as condições ambientais dos agroecossistemas semiáridos ainda mais limitantes para a pedofauna.

Diante desse contexto os sistemas agroflorestais são propostos porque associam os avanços recentes da ecologia vegetal, agroecologia e biologia evolutiva visando melhorar a sustentabilidade agrícola, mantendo ou aumentando a produção (Weiner et al., 2010), sobretudo para regiões semiáridas (Araújo Filho; Carvalho, 2001). A associação das árvores e/ou arbustos com culturas e/ou pastagens, utilizada nos sistemas agroflorestais, em arranjos espaciais ou temporais, aumenta os benefícios ambientais e econômicos (Paudel et al., 2011). Como a pedofauna é muito sensível à mudança de cobertura vegetal (Lavelle et al., 1992), as práticas agroflorestais podem causar menor impacto sobre a sua composição em relação ao cultivo tradicional. Além disso, a semelhança dos sistemas agroflorestais com ecossistemas naturais pode oferecer refúgio e matéria orgânica ideais para macro e microrganismos do solo (Lima et al., 2010).

Os resíduos vegetais deixados na superfície do solo podem estabilizar as condições microclimáticas em relação à temperatura e umidade do solo, melhorar sua estrutura e servir como fonte de alimento para a pedofauna (Errouissi et al.,

2011). Em estudo sobre a diversidade da fauna edáfica, realizado no semiárido brasileiro, Nunes et al. (2009) concluíram que a permanência dos restos culturais proporcionou maior diversidade e abundância da pedofauna em comparação ao agroecossistema tradicional em que o solo é manejado por meio de desmatamentos e queimadas. Outros estudos enfatizam a maior abundância, riqueza e diversidade da pedofauna sob manejo agroflorestal em comparação aos sistemas tradicionais com uso de corte e queima da vegetação (Barros et al., 2002; Lima et al., 2010).

Os agroecossistemas sob manejo mais conservacionista apresentam estrutura de microhabitats que possibilita a colonização por diversos invertebrados da pedofauna com diferentes estratégias de sobrevivência (Nunes et al., 2012) ou serviços ecológicos. Assim, se espera que os agroecossistemas que tem estrutura semelhante ao sistema menos impactado possuam a comunidade da mais diversa e uniforme, o que pode aumentar a sustentabilidade agrícola em função dos diferentes serviços ecológicos prestados. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a diversidade, riqueza, abundância e uniformidade da pedofauna entre sistemas agroflorestais (agrossilvipastoril e silvipastoril), tradicionais (em uso e com seis e nove anos de pousio) e menos impactado.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado nas áreas experimentais da Fazenda Crioula (3°41'S e 40°20'W) - Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), situada no Município de Sobral, Ceará. A temperatura e a precipitação pluviométrica médias anuais de Sobral são de 27 °C e 821 mm (Ipece, 2011). Nas áreas experimentais a precipitação média anual dos últimos 10 anos foi de 989 mm, distribuídos entre os meses de janeiro a junho (Figura 3.1). No entanto, 67% dessa chuva ocorreram entre os meses de fevereiro e abril (Aguiar et al., 2012). O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSW'h de Köppen (Brasil, 1981). O solo das áreas é representado por manchas de Luvisolos Crômico Órtico típico e Hipocrômico Órtico típico (Aguiar et al., 2010). A vegetação é composta por savana caducifólia espinhosa (Cole, 1960).

Foram selecionadas seis áreas (Tabela 2.1), cinco agroecossistemas: agrossilvipastoril (AGRO), silvipastoril (SILVI), tradicional em uso (FOGO), tradicional

em pousio por seis anos (TRAD₆) e tradicional em pousio por nove anos (TRAD₉) e um sistema menos impactado (MATA). A caracterização física e química das áreas, de acordo com Aguiar et al. (2012), encontra-se na Tabela 2.2.

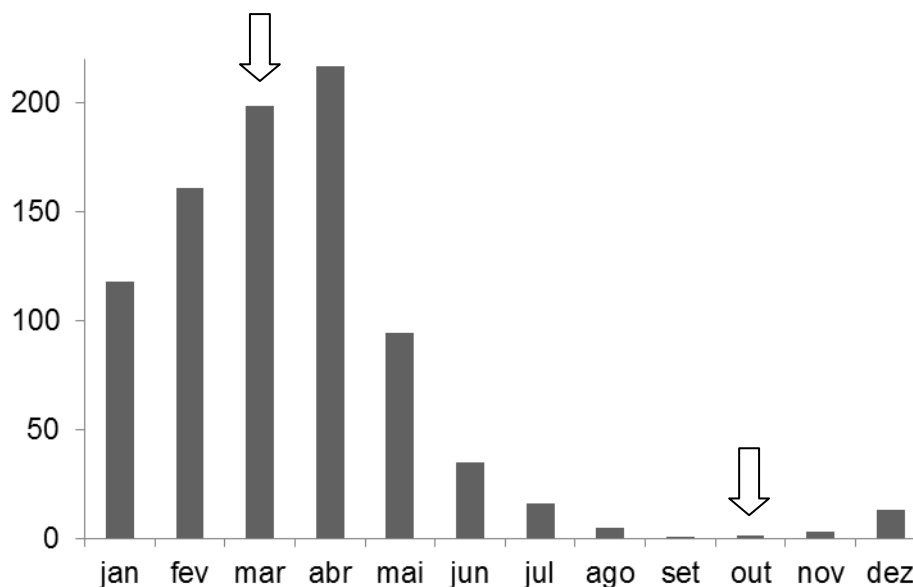


Figura 3.1. Precipitação pluviométrica mensal média de 1992 a 2012, em Sobral - Ceará, Brasil. \square Indica os meses nos quais foram realizadas as coletas da pedofauna.

A coleta dos organismos da pedofauna foi realizada pela instalação de armadilhas de queda (pitfalls), constituídas de recipientes plásticos com 9 cm de diâmetro e 11 cm de altura enterrados ao nível do solo. As armadilhas foram espaçadas em 10 m entre si, ao longo de cinco transectos paralelos por área, e permaneceram nas áreas durante sete dias. A quantidade total de armadilhas por área foi definida de acordo com o tamanho da área: 25 armadilhas no silvipastoril e 15 armadilhas nas demais áreas. Após instaladas, as armadilhas foram preenchidas com líquido conservante, uma solução de álcool 53% e 2 gotas de detergente, para quebrar a tensão superficial da água. Ao término dos sete dias os organismos foram retirados das armadilhas e foram transferidos para uma solução conservante de álcool 70%. Foram realizadas duas coletas: outubro de 2009 (período seco) e março de 2010 (período chuvoso). A identificação dos organismos, ao nível de grandes grupos taxonômicos (classe, ordem ou família), e contagem foram realizadas sob microscópio estereoscópio binocular. O reconhecimento dos grupos taxonômicos foi realizado através de consulta a materiais bibliográficos e literários.

A partir desses resultados foram determinados, para cada área, os índices ecológicos: riqueza total (número de grupos taxonômicos identificados), abundância total e do grupo taxonômico (indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹), diversidade de Shannon-Weaver e uniformidade de Pielou. A temperatura do solo foi determinada usando termômetro digital com haste que foi inserida até 10 cm de profundidade. A temperatura do solo foi determinada em outubro de 2009, durante três dias seguidos, entre 8:00 e 9:00 h e não foi determinada durante o período chuvoso em função da alta umidade do solo que provocou oscilações na temperatura que comprometeram a aferição.

A abundância total foi calculada considerando a equação $Abund. total = \sum (n^\circ total de ind./n^\circ de arm.)/n^\circ dias$, sendo que abund. é abundância, ind. indivíduos e arm. armadilha. A abundância do grupo segundo $Abund. grupo = \sum (n^\circ de ind. grupo/n^\circ de arm.)/n^\circ dias$, sendo que abund. é abundância, ind. indivíduos e arm. armadilha. A diversidade foi determinada segundo índice de Shannon-Weaver (H) definido por $H = -\sum pi \cdot \log pi$, em que $pi = ni/N$, sendo ni o valor de importância de cada grupo e N o total dos valores de importância (MAGURRAN, 2004). Enquanto que a uniformidade foi calculada de acordo com índice de Pielou (P) definido por $P = H/\log S$, em que H é o Índice de Shannon-Weaver e S o número total de grupos na comunidade (Magurran, 2004).

Os resultados das abundâncias total e do grupo foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias foi realizada através do teste de Tukey a pelo menos 5% de significância. Os dados foram avaliados ainda através da análise dos componentes principais (ACP) entre os sistemas de manejo do solo considerando como variáveis resposta os principais grupos taxonômicos e o somatório dos grupos menos frequentes (outros) da pedofauna. Como variáveis explicativas foram utilizadas a temperatura do solo, o índice de diversidade de Shannon-Weaver, o índice de uniformidade de Pielou, a riqueza total e a abundância, para os períodos seco e chuvoso. As análises foram realizadas usando

os programas estatísticos SAEG (Sistemas para Análises Estatísticas) versão 9.1 e STATISTICA (Data Analysis Software System) versão 7.

3.3. Resultados e Discussão

No período seco, baixas diversidade e uniformidade foram observadas em AGRO e SILVI, porém riqueza semelhante à MATA (Tabela 3.1). De modo geral, a remoção da vegetação nativa resulta em simplificação do habitat, o que reduz imediatamente a diversidade da pedofauna (Cunha Neto et al., 2012), observada nas agroflorestas. A maior diversidade observada na MATA, TRAD9 e TRAD6, em comparação aos sistemas agroflorestais, pode estar relacionada ao maior aporte e diversidade da serapilheira, liberação dos exudados radiculares, composição e atividade da biota e dos microrganismos do solo no sistema menos impactado e nas áreas em pousio (Paudel; Udawatta; Anderson, 2011), pois apresentaram composição florística mais diversa, além da maior presença de árvores caducifólias cujas folhas formam uma camada espessa que cobre o solo na estiagem (Nunes; Araújo Filho; Menezes, 2008).

Tabela 3.1. Índices ecológicos relativos à pedofauna, coletada nos períodos seco e chuvoso, e temperatura do solo em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará

Áreas	Abundância total (Ind arm ⁻¹ dia ⁻¹)		Riqueza total		Índice de Shannon (H')		Índice de Pielou (P)		Temperatura do solo (°C)
	S	C	S	C	S	C	S	C	
AGRO	43a±0,40	28b±2,70	22	22	1,89	3,25	0,42	0,73	30,4
SILVI	26b±4,54	32b±6,95	21	27	1,78	2,81	0,41	0,59	30,5
MATA	17bc±4,51	24b±4,31	23	22	2,46	3,22	0,54	0,72	28,0
TRAD9	10c±2,52	31b±4,01	20	27	2,89	3,18	0,67	0,67	28,0
TRAD6	21bc±4,92	30b±5,65	22	27	2,76	3,23	0,62	0,68	28,2
FOGO	46a±11,88	96a±15,63	24	21	2,45	1,68	0,53	0,38	31,2
F	26,379	25,223							
Signif.	0,00000	0,00000							

Ind arm⁻¹ dia⁻¹: indivíduos por armadilha por dia; S: seco; C: chuvoso; AGRO: agrossilvipastoril; SILVI: silvipastoril; MATA: sistema menos impactado; TRAD9:

tradicional em pousio há 9 anos; FOGO: tradicional; TRAD6: tradicional em pousio há 6 anos e Signif.: significância. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Altas diversidade e uniformidade foram observadas nas áreas em pousio (TRAD₉ e TRAD₆) que mantiveram a temperatura do solo semelhante à MATA, pois a manutenção da cobertura florística mais diversa diminui as oscilações térmicas (Baretta et al., 2010). De acordo com Nunes et al. (2008) a partir de três anos de pousio, em áreas submetidas à queimada, há reocupação pela pedofauna como observado em TRAD₉ e TRAD₆. Além disso, a atividade da rizosfera e a posterior rizodeposição podem restaurar as propriedades químicas e físicas do solo (Dias et al., 2007) o que favorece o desenvolvimento da fauna e pode ser observado nas características do solo apresentadas na Tabela 2.2, principalmente, no TRAD6. As abundâncias em AGRO e FOGO foram as mais altas, o que indicou que essas práticas agrícolas podem favorecer o aumento dos indivíduos. Em alguns grupos da pedofauna o efeito do fogo pode não ser inteiramente devastador (Oliveira; Franklin, 1993) o que pode propiciar o aumento da abundância desses grupos. Uma possível dominância de grupos foi observada em AGRO em função da baixa diversidade e uniformidade.

Ainda no período seco, observou-se em FOGO maior riqueza, aumento de 3,2°C na temperatura do solo em relação à MATA e diversidade e uniformidade semelhantes à MATA. A semelhança observada entre diversidade e uniformidade do FOGO e MATA pode estar relacionada ao fato dos efeitos negativos da queimada serem mais pronunciados a partir do 2º ano após queima (Nunes et al., 2008), o que sugere monitoramento contínuo dessa área.

No período chuvoso, a alta abundância em FOGO ocorreu, provavelmente, pela melhor disponibilidade hídrica e nutricional, em função da capina das herbáceas que são depositadas em leiras e pelo tempo decorrido da queima, pois de acordo com Oliveira e Franklin (1993) ocorre rápida recolonização faunística após queimada com maior projeção após o 145º dia. Essa alta abundância associada com baixas diversidade e uniformidade indicaram dominância de grupos, como observado em *Symphyleona* (Tabela 3.2). Alta abundância das famílias de colêmbolos também foi constatada em estudo realizado na pastagem natural impactada pela queimada (Baretta et al., 2008), o que pode indicar degradação. A retirada das árvores e a

redução do aporte de resíduos culturais pela queima são fatores que afetam o microclima, os nichos para abrigo e a quantidade e qualidade de recursos para alimentação e nidificação da pedofauna (Lima et al., 2010; Vasconcellos et al., 2010) fatores limitantes que podem reduzir a riqueza, a uniformidade e a diversidade da comunidade da pedofauna. Destaca-se que as alterações causadas nessa comunidade refletem no desenvolvimento do ecossistema (Cunha Neto et al., 2012).

Ainda no período chuvoso, AGRO e SILVI apresentaram abundâncias de 28 e 32 indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ e riqueza de 22 e 27 grupos, valores semelhantes aos observados na MATA, pelo ambiente coberto que melhora as condições climáticas e nutricionais (Dias et al., 2007; Baretta et al., 2010). De acordo com Barros et al. (2002), as agroflorestas apresentaram maior abundância e diversidade quando comparadas à pastagem e aos sistemas em pousio ou com culturas anuais, provavelmente, devido ao aumento do carbono orgânico (Maia et al., 2007). A maior quantidade de carbono orgânico total e nitrogênio fornecidos pelas raízes de plantas perenes nas agroflorestas (Paudel et al., 2011) e da morte das raízes das gramíneas nos sistemas silvipastoris (Dias et al., 2007) favorece a atividade microbiana e acúmulo da biomassa, estabilizando os agregados e criando ambiente propício para a pedofauna (Paudel et al., 2011), como observado por Pimentel et al. (2011) e Lima et al. (2010), que obtiveram maior diversidade, uniformidade, riqueza e densidade dos engenheiros do ecossistema em agroflorestas com 6 e 10 anos de implantação. Em AGRO, a diversidade e uniformidade foram semelhantes à MATA e superiores as demais áreas. Isto pode estar associado ao fato da amostragem ter acontecido logo após a colheita, momento no qual ainda havia cobertura contínua dos resíduos vegetais em decomposição na superfície do solo (Barros et al., 2002). Apesar das baixas densidades, AGRO e MATA foram as áreas mais uniformes. As áreas TRAD9 e TRAD6 apresentaram abundância, riqueza, diversidade e uniformidade semelhante à MATA, indicando que o pousio pode restaurar a composição da comunidade da pedofauna.

Em relação à abundância dos grupos taxonômicos foram observadas larvas e maior número de grupos em todas as áreas no período chuvoso (Tabela 3.2) quando comparado ao seco (Tabela 3.3), exceto em FOGO, que apresentou alta densidade de *Symphyleona* no período chuvoso, provavelmente associada à presença de gramíneas, visto que a recolonização de colêmbolos está fortemente relacionada ao desenvolvimento da cobertura vegetal (Oliveira; Franklin, 1993). Os

grupos Formicidae e Coleoptera foram encontrados em maior quantidade no período seco, o que implica que predominam na caatinga em déficit hídrico (Nunes et al., 2012). Formicidae apresentou maior abundância em ambiente com maior insolação (Dias et al., 2007), característica favorável a sua adaptação ao período seco. Além disso, Formicidae pode ser indicativo de equilíbrio no ecossistema em função do hábito social e repartição do trabalho que redistribuem partículas, nutrientes e matéria orgânica; além de melhorarem a infiltração da água no solo pelo aumento da porosidade e aeração (Baretta et al., 2010; Vasconcellos et al., 2010).

Tabela 3.2. Abundância média (indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹) dos principais grupos taxonômicos da pedofauna, coletados no período chuvoso, em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará (n = 5)

	AGRO	SILVI	MATA	TRAD9	TRAD6	FOGO	F	Signif.
Acari	17,40b	22,68b	13,13b	56,33a	16,86b	16,07b	4,88	0,00003
Araneae	16,00a	7,28b	6,20b	7,13b	8,73b	11,80ab	4,31	0,00013
Coleoptera	8,60bc	4,08c	8,66bc	23,80a	6,53bc	3,06c	15,62	0,00000
Entomobryomorpha	18,93b	22,04b	27,13b	9,40b	31,06b	89,80a	6,64	0,00000
Formicidae	25,40abc	19,04bc	18,20bc	40,20a	19,73abc	8,20c	3,79	0,00049
Larva Diptera	4,00ab	1,04b	4,60ab	10,73a	8,20ab	1,06b	3,17	0,00255
Symphyleona	60,26b	92,84b	50,93b	26,93b	65,53b	478,40a	10,09	0,00000
Heteroptera	0,53b	1,16b	0,13b	0,06b	0,66b	5,53a	8,82	0,00000
Orthoptera	2,53b	1,56b	1,06b	0,60b	1,46b	5,66a	6,63	0,00000
Auchenorrhyncha	6,40b	5,52b	6,40b	6,20b	9,86b	26,40a	16,97	0,00000

AGRO: agrossilvipastoril; SILVI: silvipastoril; MATA: sistema menos impactado; TRAD9: tradicional em pousio há 9 anos; TRAD6: tradicional em pousio há 6 anos; FOGO: tradicional e Signif.: significância. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Tabela 3.3. Abundância média (indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹) dos principais grupos taxonômicos da pedofauna, coletados no período seco, em sistemas tradicionais, agroflorestais e menos impactado em Sobral, Ceará (n = 5)

	AGRO	SILVI	MATA	TRAD9	TRAD6	FOGO	F	Signif.
Acari	56,53a	23,32ab	1,46b	2,6ab	15,2ab	53,53ab	3,295	0,00185
Araneae	6,86ab	4,0b	7,66a	4,13b	6,20ab	6,4ab	3,366	0,00154
Coleoptera	7,06b	2,24b	61,0a	13,26b	19,60b	8,73b	15,068	0,00000
Diptera	2,13c	1,2c	8,73ab	5,8abc	10,0a	3,13bc	4,898	0,00003
Entomobryomorpha	160,4a	108,4b	9,73c	12,26c	32,66c	133,73ab	21,064	0,00000
Formicidae	63,2a	37,16ab	18,6b	22,66ab	51,73ab	50,66ab	2,744	0,00783
Dermaptera	0,46b	0,16b	8,46a	2,60ab	4,33ab	0,06b	2,963	0,00443
Pseudoscorpionida	0,13b	0,16b	0b	0b	0b	0,53a	3,222	0,00224

AGRO: agrossilvipastoril; SILVI: silvipastoril; MATA: sistema menos impactado; TRAD9: tradicional em pousio há 9 anos; TRAD6: tradicional em pousio há 6 anos; FOGO: tradicional e Signif.: significância. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A análise dos componentes principais (ACP) revelou que no período seco (Figura 3.2A), houve separação de FOGO das demais áreas, enquanto foi observada semelhança entre MATA, TRAD₉ e TRAD₆ e entre AGRO e SILVI. Os grupos Araneae, Dermaptera, Coleoptera, Diptera, Blattodea e Psocoptera, indicadores de conservação (Baretta et al., 2010), são mais abundantes na MATA, TRAD₉ e TRAD₆, indicando ser o pousio efetivo na recomposição da pedofauna, o que pode ser evidenciado pela maior abundância de Araneae, bioindicador de conservação (Cunha Neto et al., 2012). O FOGO se destacou das demais áreas pela maior abundância de Symphypleona. Condição semelhante foi constada por Oliveira e Franklin (1993) pela dominância Collembola (Symphypleona, Poduromorpha e Entomobryomorpha). Os grupos Thysanoptera, Acari, Heteroptera, Entomobryomorpha, Formicidae foram mais abundantes em AGRO e SILVI. Acari e Entomobryomorpha, micrófagos, e Formicidae, que pode ser saprófago ou predador influenciam direta ou indiretamente a ciclagem de nutrientes, indicando que as agroflorestas apresentam uma boa estrutura trófica (Cunha Neto et al., 2012) com alta regulação populacional e degradação da matéria orgânica completando os ciclos biogeoquímicos.

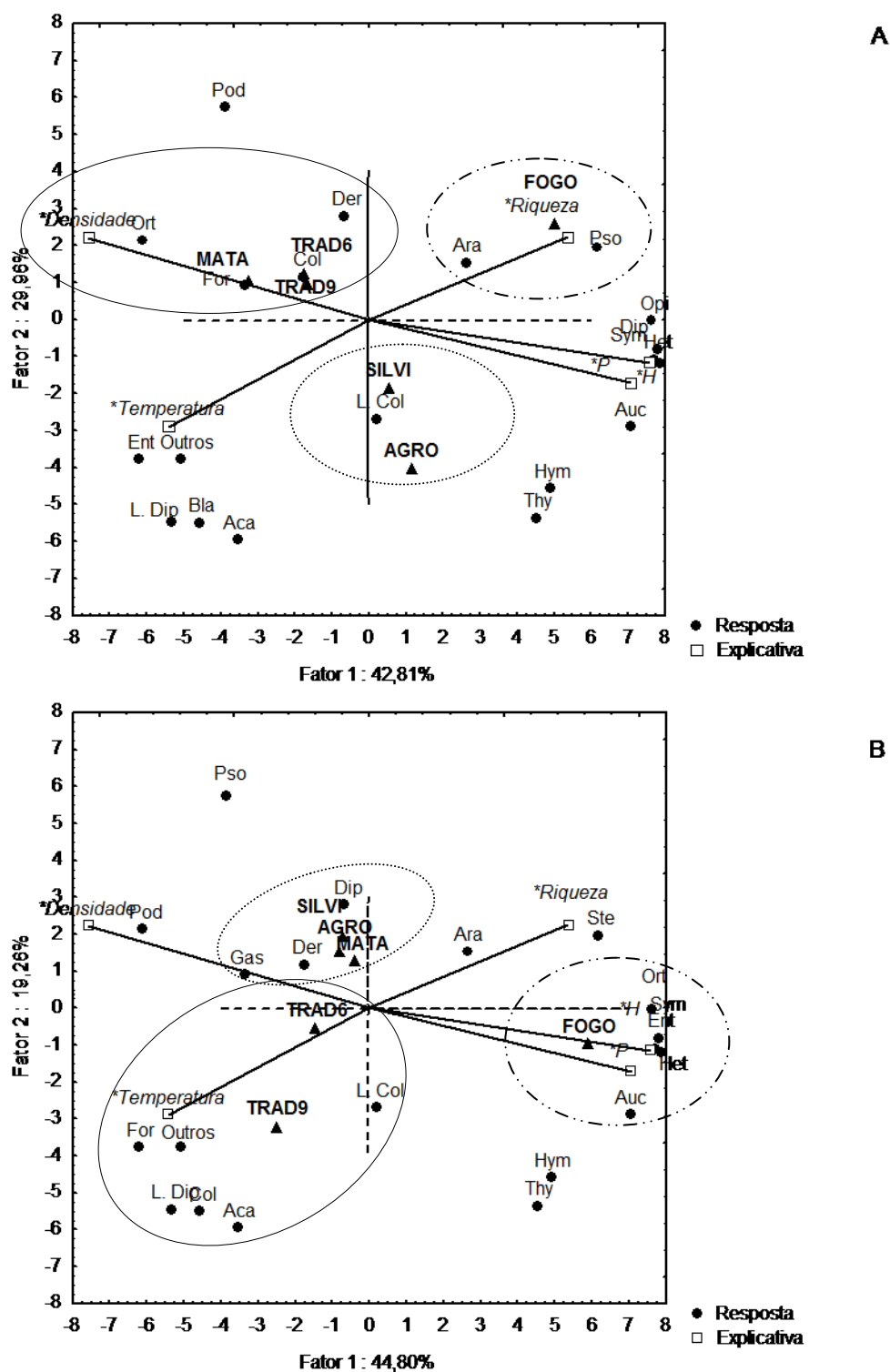


Figura 3.2. Análise dos componentes principais (ACP) entre os sistemas de manejo do solo, os principais grupos taxonômicos da pedofauna e somatório dos grupos menos frequentes (outros), nos períodos seco (A) e chuvoso (B). AGRO: agrossilvipastoril; SILVI: silvipastoril; FOGO: tradicional; TRAD₆: tradicional em pousio há 6 anos; TRAD₉: tradicional em pousio há 9 anos; MATA: sistema menos

impactado; H: índice de Shannon-Weaver; P: índice de Pielou; Aca: acari; Ara: araneae; Bla: blattodea; Pso.: psocoptera; Ort: orthoptera; Auc: auchenorryncha; Dip: diptera; L. Dip.: larva de diptera; Pod: poduromorpha; Sym: symphypleona; L. Col: larva de coleoptera; Het: heteroptera; Ent: entomobryomorpha; For: formicidae; Gas: gastropoda; Thy: thysanoptera; Hym: hymenoptera; Opi.: opilionida; Der: dermaptera; Col: coleoptera e Ste: sternorryncha.

No período chuvoso (Figura 3.2B), a relação entre as componentes principais demonstrou que Dermaptera, Diptera, Gastropoda, Poduromorpha e Psocoptera são mais abundantes na MATA, AGRO e SILVI; enquanto Acari, Coleoptera, Formicidae, larva de Diptera e outros são mais abundantes em TRAD9 e TRAD6, visto que a abundância das larvas de Diptera e Coleoptera aumenta proporcionalmente ao aumento de Acari (Oliveira; Franklin, 1993). Como descrito anteriormente, Acari e Formicidae indicam a boa estrutura trófica (Cunha Neto et al., 2012) das áreas em pousio. A área FOGO se destaca das demais áreas pelos baixos índices de diversidade e uniformidade e riqueza e pelas altas abundâncias apresentadas em Auchenorryncha, Hymenoptera, Thysanoptera, Symphypleona, Entomobryomorpha, Orthoptera e Sternorryncha.

Os distúrbios no habitat ocasionados pelos diferentes manejos agrícolas e a sazonalidade característica da região semiárida ocasionaram variações na abundância, riqueza, diversidade e uniformidade da fauna edáfica, principalmente, em função da disponibilidade hídrica e da cobertura do solo, função da composição florística. Essa comunidade de invertebrados apresenta adaptação à disponibilidade hídrica que pode ser ainda mais seletiva em função do nível de modificação ocasionado pelas práticas agrícolas. Assim, enfatiza-se a importância dos resultados obtidos no avanço do conhecimento científico sobre a ecologia do solo e se destaca a necessidade de estudos contínuos sobre a resposta desses organismos a ação antrópica.

3.4 Conclusões

Os sistemas agroflorestais apresentam diversidade e uniformidade da pedofauna semelhantes às do sistema menos impactado quando há disponibilidade hídrica.

Seis e nove anos de pousio em sistemas tradicionais semiáridos, sob manejo de corte e queima, são suficientes para recompor a diversidade, uniformidade e riqueza da comunidade da pedofauna.

Referências

- Aguiar, M.I.; Fialho, J. S.; Araújo, F. C. S.; Campanha, M. M.; Oliveira, T. S. 2012. Does biomass production depend on plant community diversity? *Agroforest System*, 87: 1-13.
- Aguiar, M.I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.; Oliveira, T.S. 2010. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 79: 277–289.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74:19–31.
- Araújo Filho, J. A.; Carvalho, F. C. 2001. Sistemas de produção argossilvipastoril para o semi-árido nordestino. pp. 101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais (Carvalho, M. M.; Alvim, M. J.; Carnerio, J. C., eds.). Brasília: FAO.
- Baretta, D.; Ferreira, C. S.; Sousa, J. P.; Cardoso, E. J. B. N. 2008. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2693–2699.
- Baretta, D.; Brown, G. G.; Cardoso, E. J. B. N. 2010. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zoológica Mexicana*, 2: 135-150.
- Barros, E.; Pachanasi, B.; Constantino, R.; Lavelle, P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, 35:338–347.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia. 1981. RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25–Jaguaribe/Natal. Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 740p. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Brévault, T.; Bikay, S.; Malde's, J. M.; Naudin, K. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil & Tillage Research*, 97:140–149.

- Campanha, M. M.; Araújo, F. S.; Menezes, M. O. T.; Silva, V. M. A.; Medeiros, H. R. 2011. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral – CE. *Revista Caatinga*, 24: 94-101.
- Cole, M. M. 1960. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. *The Geografic Journal*, 126: 168-179.
- Dias, P. F.; Souto, S. M.; Correia, M. E. F.; Rodrigues, K. M.; Franco, A. A. 2007. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 38–4.
- Dick, D. P.; Martinazzo, R.; Dalmolin, R. S. D.; Jacques, A. V. A.; Mielniczuk, J.; Rosa, A. S. 2008. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 633–640.
- Errouissi, F.; Moussa-Machraoui, S. B.; Ben-Hammouda, M.; Noura, S. 2011. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: a comparison between conventional and no-tillage management. *Soil & Tillage Research*, 112:122–132.
- Instituto de Pesquisa e Estatégia Econômica do Ceará. 2011. Perfil básico municipal, Sobral. Fortaleza: Seplag – Secretaria do Planejamento e Gestão, Governo do Estado do Ceará, 18p.
- Lavelle, P.; Blanchart, E.; Martin, A.; Spain, A. V.; Martin, S. 1992. Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics, pp.157–185. In: Myths and Science of Soils of the Tropics (Sanchez, P. A.; Lal, R., eds.). Madison: Soil Science Society of America.
- Lima, S. S.; Aquino, A. M.; Leite, L. F. C.; Velásquez, E.; Lavelle, P. 2010. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 322–331.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science Ltda, 256p.
- Maia, S. M.; Xavier, F. A. Z.; Oliveira, T. S.; Mendonça, E. S.; Araújo Filho, J. A. 2007. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, 71:127-138.
- Nunes, L. A. P. L.; Araújo Filho, J. A.; Holanda Júnior, E. V.; Menezes, R. I. Q. 2009. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos

- biológicos de solo sob caatinga no semi-árido nordestino. *Revista Caatinga*, 22:131–140.
- Nunes, L. A. P. L.; Araújo Filho, J. A. de; Menezes, R. I de Q. 2008. Recolonização da fauna edáfica em áreas de Caatinga submetidas a queimadas. *Revista Caatinga*, 21:214– 220.
- Nunes, L. A. P. L.; Silva, D. I. B.; Araújo, A. S. F.; Leite, L. F. C.; Correia, M. E. F. 2012. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, 43:30-37.
- Oliveira, E. P.; Franklin, E. 1993. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: recomendações em áreas queimadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28:357–69.
- Paudel, B. R.; Udawatta, R. P.; Anderson, S. H. 2011. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and row-crop systems. *Applied Soil Ecology*, 48: 125-132.
- Pimentel, M. S.; De-Polli, H.; Aquino, A. M.; Correia, M. E. F.; Rouws, J. R. C. 2011. Bioindicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46: 546 – 553.
- Sampaio, E. V. S. B.; Araújo, E. L.; Salcedo, I. H.; Tiessen, H. 1998. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33: 621–632.
- Tilman, D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 5995–6000.
- Tilman, D.; Cassman, K. G.; Matson, P. A.; Naylor, R.; Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677.
- Vasconcellos, A.; Bandeira, A.G.; Moura, F. M. S.; Araújo, V. F. P.; Gusmão, M. A. B.; Constantino, R. 2010. Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. *Journal of Arid Environments*, 74: 298–302.
- Weiner, J.; Andersen, S. B.; Wille, W. K. M.; Griepentrog, H. W.; Olsen, J. M. 2010. Evolutionary agroecology: the potencial for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evolutionary Applications*, 3: 473-479.
- Xin, W. D.; Yin, X. Q.; Song, B. 2012. Contribution of soil fauna to litter decomposition in Songnen sandy lands in northeastern China. *Journal of Arid Environments*, 77: 90-95.

Capítulo 4: Sazonalidade climática, componentes arbóreo e herbáceo como previtores da riqueza da pedofauna¹

Jamili Silva Fialho², Maria Ivanilda de Aguiar³, Maria Elizabeth Fernandes Correia⁴,
Mônica Matoso Campanha⁵ e Teógenes Senna de Oliveira⁶

¹ Manuscrito submetido à Revista *Árvore* (ISSN 1806-9088) em 20 de setembro de 2012

² Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

³ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Agrobiologia

⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Milho e Sorgo

⁶ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa

Resumo – Este experimento foi montado para saber se riqueza, biomassa e densidade dos componentes arbóreo e herbáceo nos agroecossistemas interferem na riqueza da pedofauna; e se a riqueza da pedofauna é modificada entre os períodos seco e chuvoso. Foram escolhidas seis áreas: agrossilvipastoril, silvipastoril, tradicional em uso, tradicional em pousio por seis anos e tradicional em pousio por nove anos e um sistema menos impactado, avaliadas em dois períodos, seco e chuvoso. A riqueza da pedofauna foi determinada por grupos taxonômicos e relacionada com riqueza, biomassa e densidade dos estratos arbóreo e herbáceo através de modelos lineares generalizados. Como critérios de escolha dos modelos foram utilizados teste F e critério de informação de Akaike (AIC). Foram construídos oito modelos sendo os modelos 7 e 8 mais explicativos para $P < 0,10$. No modelo 7 a riqueza da pedofauna foi determinada pelo período, biomassa e riqueza das arbóreas. O modelo 8 não considerou a biomassa das arbóreas e apresentou um ajuste mais significativo pelo menor AIC. A riqueza da pedofauna é relacionada ao componente arbóreo, que torna as condições microclimáticas favoráveis à sobrevivência dos organismos do solo, e a umidade no período chuvoso. A riqueza e a biomassa das arbóreas e a sazonalidade do clima determinam a riqueza da pedofauna.

Palavras-Chave: Macrofauna e mesofauna, modelos lineares generalizados e semiárido.

Abstract - *This experiment was made to know if richness, biomass and density of woody and herbaceous components in the agroecosystems interfere on the richness of pedofauna; and whether the pedofauna richness is changed between dry and rainy seasons. Six areas were chosen: agrosilvopastoral, silvopastoral, traditional, traditional in fallow for six years and traditional in fallow for nine years and a system less impacted, evaluated in two periods, dry and rainy. Pedofauna richness was determined by taxonomic groups and related to richness, biomass and density of woody and herbaceous layer through general linear models. As chosen criterions of models were used test F and information criterion of Akaike (AIC). Eight models were built, being models 7 and 8 more explicative for $P < 0,10$. In model 7, the richness of pedofauna is determined by season, biomass and woody abundance. Model 8 has not considered woody biomass and showed a more significant adjustment by lower AIC. Pedofauna richness is related to the woody component, which makes microclimatic conditions favorable to soil organisms survival, and the rainy season moisture. Woody richness and biomass and climatic seasonality determine pedofauna richness.*

Keywords: *Macrofauna and mesofauna, general linear models and semiarid.*

4.1 Introdução

São bem conhecidas as transformações que a pedofauna realiza no solo através da decomposição, bioturbação, agregação, redistribuição da matéria orgânica, ciclagem, mineralização e imobilização dos nutrientes, consequentemente, favorecendo o crescimento das plantas (Giller et al., 1997; Jimenez; Decaens, 2004; Bardgett, 2005). Por isso, a presença do componente vegetal é importante para garantir a composição da pedofauna e a manutenção desses processos. De alguma forma, a substituição da vegetação nativa por sistemas com culturas agrícolas interfere na biodiversidade, na estrutura e na qualidade do solo dessas áreas. Solos com maior diversidade de grupos de organismos edáficos apresentam melhor

qualidade química, física e biológica em comparação àqueles com reduzido número de grupos funcionais (Bardgett; Chan, 1999; Wink, 2005).

Em geral, a pedofauna é alterada em sua composição e diversidade por fatores climáticos, edáficos ou por mudanças induzidas pelo homem no ambiente (Jimenez; Decaens, 2004). O uso intensivo do solo pode proporcionar impacto desproporcional na pedofauna, pois os organismos maiores são afetados mais severamente do que os menores e o declínio da sua diversidade pode não ser uniforme em todos os táxons (Liiri et al., 2012). As modificações na biota do solo são susceptíveis de trazerem consequências para os sistemas naturais ou artificiais, especialmente, porque a densidade da pedofauna se relaciona, diretamente, com as taxas de mineralização de nutrientes e com a riqueza de espécies (Cole et al., 2004).

A diversidade biológica nos agroecossistemas é reduzida quando comparada a dos sistemas naturais devido a práticas que favorecem o monocultivo, as queimadas, as aplicações de pesticidas e a exploração abusiva da capacidade de uso do solo (Beare et al., 1997; Giller et al., 1997; Eggleton et al., 2005). Há casos onde as atividades humanas são tão intensas que tendem a extinguir determinados grupos de organismos do solo (Lavelle, 1996). Por causa do reduzido número de árvores e da serrapilheira se verificou, em área de Caatinga no semiárido brasileiro, a ausência de Kalotermitidae, família de térmitas (Vasconcellos et al., 2010). Existem casos mais graves que provocam a extinção não apenas de uma família, mas o desaparecimento de grupos funcionais que são substituídos por espécies exóticas oportunistas adaptadas às áreas perturbadas pela ação antrópica (Lavelle, 1996).

Uma estratégia fundamental para a sustentabilidade agrícola é a restauração da diversidade funcional da pedofauna, uma vez que, a mesma realiza serviços ecológicos essenciais, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e controle de predadores (Brussaard et al., 1997). Esses serviços ecológicos podem tornar os agroecossistemas sustentáveis por manter ou melhorar a fertilidade do solo, a proteção e a produtividade das culturas (Altieri, 1999; Capelle et al., 2012). Desse modo, a sustentabilidade agrícola pode ser alcançada pelo uso de abordagens agroecológicas para a produção de alimentos, como as adotadas nos sistemas agroflorestais. Estes sistemas contribuem para a melhoria da biota do solo pela produção da serrapilheira de melhor qualidade e formação de microsítios

apropriados para refúgio e ação da pedofauna (Tapia-Cora et al., 1999). O uso de técnicas que conservam o componente arbóreo favorece a diversidade da pedofauna em relação à sistemas sem a presença de árvores (Dias et al., 2006; Santos et al., 2008; Errouissi et al., 2011; Nunes et al., 2012).

O Centro Nacional de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado na região semiárida de Sobral, Nordeste brasileiro, possui uma área experimental onde, desde 1997, foi iniciado um experimento contendo agroecossistemas agrossilvipastoril, silvipastoril, tradicionais (com diferentes períodos de desmatamento, queimada e pousio) e um sistema menos impactado há mais de 50 anos sem grandes modificações antrópicas. Essas áreas foram implantadas com a finalidade de avaliar se as práticas de manejo agroflorestal podem favorecer a qualidade do solo em detrimento das perdas ocasionadas pelo uso das práticas tradicionais. Assim, este experimento foi montado nessas áreas para responder às seguintes questões: a) A riqueza, a biomassa e a densidade dos componentes arbóreo e herbáceo nos agroecossistemas interferem na riqueza da pedofauna? e b) A riqueza da pedofauna é modificada entre os períodos seco e chuvoso?

Geralmente, a utilização de práticas diferenciadas de manejo determina alguma alteração na abundância e diversidade da pedofauna nos agroecossistemas. Aumento no número e na biomassa da macrofauna foi verificado em sistema agroflorestal quando comparado a um agroecossistema tradicional que utilizou como práticas de manejo o desmatamento e a queimada (Fonte et al., 2010). A prática do plantio direto, que mantém o solo protegido com restos culturais, mostrou maior abundância e diversidade da pedofauna em relação ao cultivo convencional, com solo descoberto (Brévault et al., 2007). A cultura do trigo em plantio direto, na região semiárida da Tunísia, proporcionou pedofauna mais diversa do que aquela encontrada em cultivo convencional (Errouissi et al., 2011). Enquanto na região semiárida da Austrália, o plantio direto garantiu uma pedofauna mais conservada do que a do cultivo convencional (Robertson et al., 1994). Portanto, se espera que a riqueza da pedofauna das áreas avaliadas esteja diretamente relacionada com os componentes arbóreo e herbáceo e com os períodos seco e chuvoso.

4.2. Material e métodos

O trabalho foi realizado nas áreas experimentais da Fazenda Crioula (3°41'S e 40°20'W) - Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), situada no município de Sobral, Ceará. A temperatura média anual fica entre 26° a 28°C, com estação seca de sete a oito meses de duração (junho a dezembro), e uma estação chuvosa, de janeiro a maio (Ipece, 2011). O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSW'h, segundo a classificação de Köppen (Brasil, 1981). O solo das áreas é classificado com Luvissole Crômico Órtico Típico (Aguiar et al., 2010).

Foram selecionadas seis áreas (Tabela 2.1), sendo cinco agroecossistemas: agrossilvipastoril (AGRO), silvipastoril (SILVI), tradicional (FOGO), tradicional em pousio por seis anos (TRAD₆) e tradicional em pousio por nove anos (TRAD₉) e um sistema menos impactado (MATA). Em cada área foram demarcados cinco transectos paralelos, espaçados em 10 m, para coleta da fauna do solo. Os transectos foram instalados a uma distância mínima de 25 m das margens das áreas para evitar o efeito de borda. Armadilhas de queda (pitfalls), espaçadas em 10 m, foram instaladas nos transectos, totalizando quinze armadilhas por área. Foram realizadas duas coletas por sete dias/período: em outubro de 2009 (período seco) e em março de 2010 (período chuvoso). A identificação e contagem da pedofauna ocorreram sob microscópio estereoscópio binocular e os indivíduos foram classificados em grandes grupos taxonômicos (classe, ordem, subordem ou família). A riqueza da pedofauna foi determinada de acordo com a classificação em grupos taxonômicos.

A riqueza da pedofauna foi relacionada com os dados de riqueza, biomassa e densidade dos estratos arbóreo e herbáceo (Tabela 4.1) obtidos de Aguiar et al. (no prelo) através de modelos lineares generalizados (MLG). Na construção dos modelos lineares generalizados a riqueza da fauna do solo (RF) foi considerada como variável dependente. A biomassa herbácea (BH) e arbórea (BA), densidade herbácea (DH) e arbórea (DA), riqueza herbácea (RH) e arbórea (RA), os períodos seco e chuvoso (PERÍODO) e os manejos agrícolas agroflorestal e tradicional de corte e queima e o sistema menos impactado (AREA) foram incluídos como variáveis independentes. Como critérios de escolha entre os diferentes modelos gerados foram utilizados o teste F e o critério de informação de Akaike (AIC). Este

de espécies
m⁻²)

Biomassa	1	2,4616	0,09	6,4144	1,41	0	1,35
(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	2	3,2486	0,10	2,2191	0,70	0	1,59
	3	4,2852	0,10	2,2191	0,23	0	1,12
	4	2,9744	0,06	5,9439	0,81	0	1,49
	5	5,5023	0,10	7,6268	0,52	0	2,56
Densidade	1	44	41,00	22	58,50	0	212,0
(<u>Arbóreo</u> :	2	37	28,50	26	86,50	0	84,0
indivíduos	3	52	23,00	16	100,50	0	165,5
100m ⁻²	4	40	8,00	23	68,00	0	116,5
<u>Herbáceo</u> :	5	39	33,94	25	55,38	0	191,4
indivíduos m ⁻²)							

T = transecto, AGRO = agrossilvipastoril, SILVI = silvipastoril, MATA = sistema menos impactado, TRAD₉ = agroecossistema tradicional em pousio há 9 anos, TRAD₆ = agroecossistema tradicional em pousio há 6 anos e FOGO = agroecossistema tradicional. Fonte: Aguiar et al. (no prelo).

4.3. Resultados

A Tabela 4.2 e a Figura 4.1 mostram os resultados da riqueza média da fauna do solo nos agroecossistemas e sistema menos impactado, nos períodos seco e chuvoso, utilizados na construção dos modelos lineares generalizados. Como pode ser observado na Figura 4.1, a riqueza da fauna foi maior no período chuvoso em todos os sistemas analisados (AGRO, SILVI, MATA, TRAD₉, TRAD₆ e FOGO), quando comparado ao período seco. A diferença entre os dois períodos não foi estatisticamente significativa (P = 0,5219).

Tabela 4.2. Riqueza média da fauna do solo nos agroecossistemas e sistema menos impactado utilizada na construção dos modelos lineares generalizados

		AGRO		SILVI		MATA	
	Transecto	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Riqueza	1	9,66	13,33	8,60	12,40	8,00	13,33
média	2	6,66	13,33	6,60	12,00	8,66	12,66
da	3	10,33	12,00	8,40	13,00	8,33	14,00
fauna	4	10,00	13,00	7,20	13,40	8,00	12,33
do solo	5	7,66	13,00	8,00	12,20	10,66	13,00

		TRAD₉		TRAD₆		FOGO	
	Transecto	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Riqueza	1	10,00	15,33	7,66	14,00	7,66	14,33
média	2	9,33	15,00	9,33	15,00	9,33	13,66
da	3	9,00	12,33	10,00	15,00	10,00	12,33
fauna	4	9,66	14,33	8,66	13,66	8,66	11,66
do solo	5	8,66	13,66	8,66	14,33	8,66	14,00

AGRO = agrossilvipastoril, SILVI = silvipastoril, MATA = sistema menos impactado, TRAD₉ = tradicional em pousio há 9 anos, TRAD₆ = tradicional em pousio há 6 anos e FOGO = tradicional.

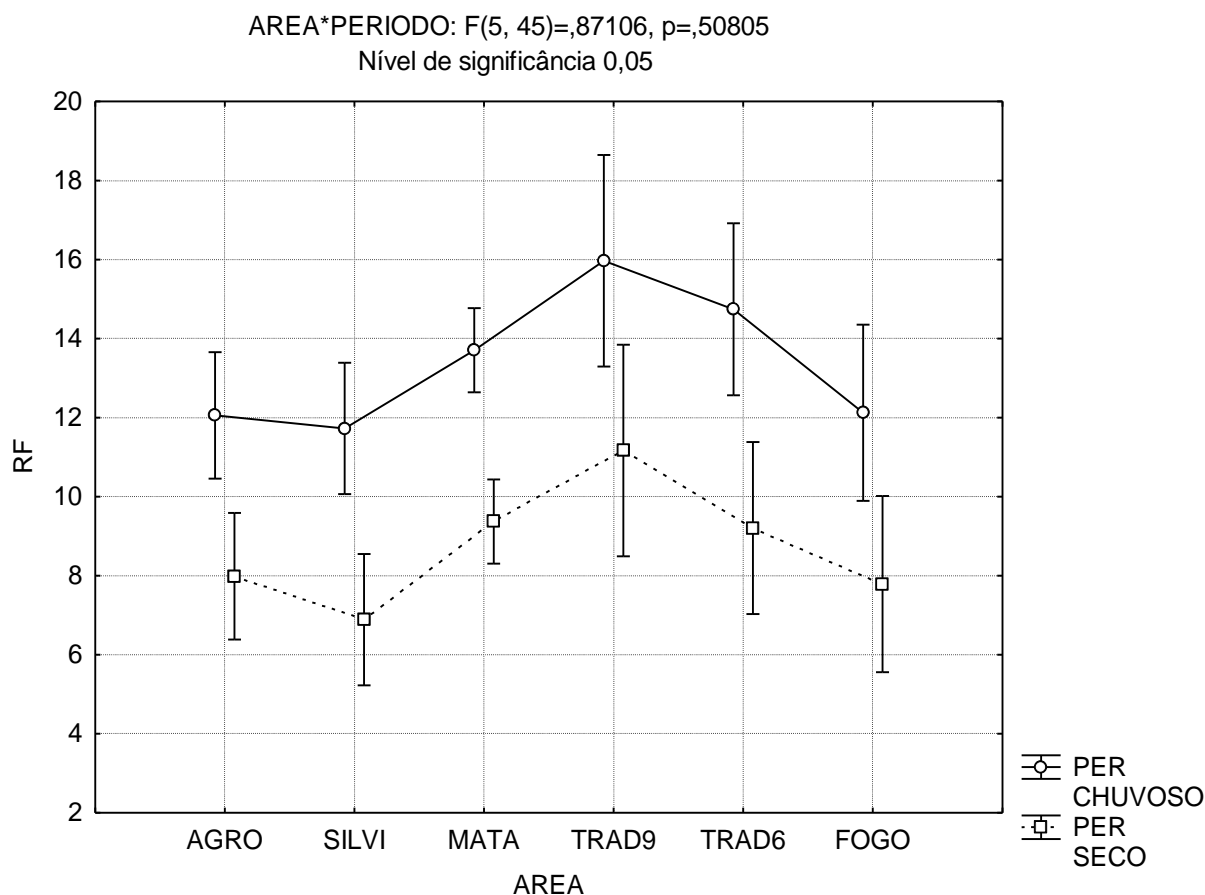


Figura 4.1. Riqueza da pedofauna em agroecossistemas e sistema menos impactado, nos períodos seco e chuvoso. RF = riqueza da pedofauna, AGRO = agrossilvipastoril, SILVI = silvipastoril, MATA = sistema menos impactado, TRAD₉ = tradicional em pousio há 9 anos, TRAD₆ = tradicional em pousio há 6 anos e FOGO = tradicional.

Foram construídos oito modelos através da aplicação de MLG (Tabela 4.3) e o critério de informação de Akaiake (maior valor com menor poder de previsão) e teste F foram aplicados para escolher o modelo mais próximo da realidade, ou seja, menor perda de informação em relação à realidade. Na construção do Modelo 1, onde se empregou todas as variáveis independentes e se interagiu com as áreas para os dois períodos, o valor obtido para o AIC foi alto (211,99), revelando baixo poder preditivo desse modelo. O modelo 2 foi construído a partir das variáveis AREA, BA, BH, DA, DH, RA, RH e PERIODO e foi comparado ao modelo 1 pelo teste F, o qual não apresentou diferença estatística significativa, além de revelar um valor alto do AIC (197,31).

Tabela 4.3. Modelos explicativos da variabilidade da riqueza da pedofauna de acordo com a biomassa, a densidade e a riqueza das herbáceas e arbóreas, as áreas e os períodos em Sobral, Ceará.

Modelo	AIC	Teste F	p-valor
1. RF = AREA + BA + BH + DA + DH + RA + RH + PERIODO + AREA * PERIODO	211,99	-	-
2. RF = AREA + BA + BH + DA + DH + RA + RH + PERIODO	197,31	0,8508	0,52191
3. RF = BA + BH + DA + DH + RA + RH + PERIODO	184,38	1,2393	0,30804
4. RF = BA + BH + DH + RA + RH + PERIODO	180,59	0,2691	0,60669
5. RF = BA + BH + DH + RA + PERIODO	178,17	1,4878	0,22936
6. RF = BA + DH + RA + PERIODO	175,29	1,1112	0,29784
7. RF = BA + RA + PERIODO	174,99	3,6079	0,06439*
8. RF = RA + PERIODO	174,59	3,7482	0,05961*

RF = riqueza da pedofauna, AREA = agroecossistemas e sistema menos impactado, BA = biomassa das arbóreas, BH = biomassa das herbáceas, DA = densidade das arbóreas, DH = densidade das herbáceas, RA = riqueza das arbóreas, RH = riqueza das herbáceas, PERÍODO = seco e chuvoso, *P<0,10.

O modelo 3 foi construído considerando as biomassas, densidades e riquezas dos estratos arbóreo e herbáceo e os dois períodos (seco e chuvoso) e não foi observada diferença estatística entre as áreas analisadas pelo teste F e também se obteve um alto valor para o AIC (184,38). Na construção dos modelos 4, 5 e 6, dos quais foram desconsideradas, respectivamente, as variáveis densidade das arbóreas, riqueza das herbáceas e biomassa das herbáceas. Os dados revelaram, semelhante ao resultado do modelo 3, altos valores para AIC e diferenças estatísticas não significativas entre as áreas analisadas.

Os modelos 7 e 8 foram mais explicativos que os demais modelos, para P<0,10. No modelo 7 a riqueza da fauna edáfica foi determinada pelos períodos e pelas biomassa e riqueza das arbóreas. No entanto, houve um ajuste mais significativo do modelo 8 observado pelo menor valor do AIC (174,59). Portanto, a riqueza da fauna edáfica foi determinada pela riqueza das arbóreas. A riqueza da pedofauna mostrou dependência aos períodos seco e chuvoso.

4.4. Discussão

A riqueza da pedofauna é relacionada ao componente arbóreo (Dias et al., 2006, 2007) e a umidade proporcionada pelo período chuvoso em relação ao seco. A sazonalidade climática da região representada por um período de seis a oito meses sem chuvas pode ser apontada como agente responsável pela redução da pedofauna (Nunes et al., 2008; Vasconcellos et al., 2010). Essa redução já foi documentada em outros trabalhos, quando a riqueza, a abundância e a diversidade da pedofauna diminuíram em consequência da retirada do componente arbóreo dos agroecossistemas (Errouissi et al., 2011; Liiri et al., 2012; Nunes et al., 2012). Além disso, os organismos edáficos são diretamente relacionados às práticas utilizadas no manejo do solo. O número de indivíduos nas populações de ácaros e colêmbolas variou de acordo com o tipo de manejo em função do conteúdo da matéria orgânica, proteção do solo, espécies cultivadas, microclima e umidade (Lourente et al., 2007; Machado et al., 2007; Silva et al., 2007).

Os modelos 7 e 8 mostram maior poder de previsão para a riqueza da pedofauna, tanto no período chuvoso quanto no seco, pela influência direta da riqueza e biomassa arbórea presente nos agroecossistemas e sistema menos impactado. Essa relação positiva, representada pela copa das árvores, sobre a fauna fitófaga (Hemiptera, Thysanoptera, Coleoptera e Lepidoptera) foi verificada em função da maior quantidade de folhas disponíveis para a nutrição desses organismos (Santos et al., 2005). Registros semelhantes foram obtidos em serrapilheiras de sistemas agroflorestais por Tapia-Cora et al. (1999) ao constatarem maior diversidade, densidade e biomassa da macrofauna do solo. Em geral, os principais aportes orgânicos que chegam ao solo nos sistemas silvipastoris são resultantes da senescência do material foliar das árvores e da morte de raízes das gramíneas (Dias et al., 2007) que influenciam os invertebrados saprófagos pela disponibilidade alimentar e por melhores condições ambientais que favorecem a reprodução desses organismos (Dias et al., 2006).

Além da influência direta, a riqueza e a biomassa arbórea podem agir de forma indireta na riqueza da pedofauna. A composição das espécies de plantas pode influenciar, indiretamente, a pedofauna por mudanças ocasionadas nas propriedades do solo (Velásquez et al., 2012). A matéria orgânica do solo quando disponibilizada tanto pela agrofloresta estabelecida em uma pastagem (Paudel et al.,

2011), quanto por um sistema agrossilvipastoril de ambiente semiárido (Maia et al., 2006) pode tornar eficiente a ciclagem de nutrientes que favorece o estabelecimento e desenvolvimento da pedofauna (Lourente et al., 2007). Essa disponibilidade da matéria orgânica, às vezes, pode vir acompanhada por um maior regime de água nos horizontes superficiais do solo. Neste caso, a biomassa produzida pelas gramíneas deverá ser acompanhada de maior aumento da macrofauna (minhocas) do solo (Barros et al., 2002).

Geralmente, os solos das zonas semiáridas quando submetidos ao manejo agroflorestal são favorecidos por manter a sua umidade. Quando este manejo é aplicado, cria-se um microhabitat em suas estruturas que possibilita a colonização por vários grupos da pedofauna com diferentes estratégias de sobrevivência (Nunes et al., 2008). No caso da região semiárida do Nordeste brasileiro, que se caracteriza por apresentar solos rasos cobertos por uma vegetação de Caatinga, a existência de árvores nos sistemas produtivos proporciona a manutenção da pouca umidade presente no período de maior escassez hídrica. Por isso, o modelo 7 que considerou a riqueza e a presença da biomassa arbórea nos dois períodos, seco e chuvoso, foi semelhante ao modelo 8 que considerou apenas a riqueza arbórea para os dois períodos. Em área coberta com Caatinga, a variação climática sazonal ou os distúrbios da ação antrópica, ao reduzirem o teor de umidade do solo, afetam negativamente as populações edáficas, sobretudo as assembléias de térmitas e populações de minhocas (Lourente et al., 2007; Vasconcellos et al., 2010).

A riqueza da pedofauna fica mais evidente em sistemas que mantêm alguns ou a totalidade de indivíduos arbóreos em suas áreas. Por isso ao se planejar uma atividade agrícola ou pastoril, os sistemas agroflorestais devem ser considerados por possibilitarem a conservação da pedofauna e, conseqüentemente, pelos serviços ecológicos prestados por esses organismos ao sistema solo-planta. Esses resultados apontam para a importância de se implantar esses sistemas em locais onde existe uma tradição de práticas não sustentáveis, como desmatamentos e queimadas, sobretudo na região semiárida do Nordeste brasileiro. Essa mudança de comportamento tornaria os agroecossistemas sustentáveis, reduzindo os efeitos da sazonalidade climática em função da cobertura vegetal proporcionada, a qual torna as condições microclimáticas favoráveis à sobrevivência da pedofauna.

4.5. Conclusão

A riqueza da pedofauna é determinada pela riqueza e biomassa das arbóreas e pela sazonalidade do clima semiárido, representada pelos períodos seco e chuvoso.

Referências

- Aguiar, M.I.; Fialho, J. S.; Campanha, M. M.; Oliveira, T.S. Florística e estrutura de áreas de caatinga conservada e sob diferentes sistemas de manejo. *Ciência Florestal*, no prelo.
- Aguiar, M.I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.; Oliveira, T.S. 2010. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 79: 277–289.
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19 – 31.
- Bardgett, R.D. 2005. *The Biology of Soils: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Bardgett, R.D., Chan, K.F. 1999. Experimental evidence that soil fauna enhance nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montane grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1007–1014.
- Barros, E.; Pachanasi, B.; Constantino, R.; Lavelle, P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 338–347.
- Beare, M.H.; Reddy, M. V.; Tian, G.; Srivastava, S. C. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of decomposer biota. *Applied Soil Ecology*, 6: 87-108.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia.1981. RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25–Jaguaribe/Natal. Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 740p. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Brévault, T.; Bikay, S.; Malde's, J. M.; Naudin, K. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil & Tillage Research*, 97:140–149.

- Brussaard, L.; Behan-Pelletier, V.M.; Bignell, D.E.; Brown, V. K.; Didden, W.; Folgarait, P.; Fragoso, C.; Freckman, D.W.; Gupta, V. V. S. R.; Hattori, T.; Hawksworth, D.L.; Klopatek, C.; Lavelle, P.; Malloch, D.W.; Rusek, J.; Söderström, B.; Tiedje, J.M.; Virginia, R. 1997. A. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 26: 563 – 570.
- Capelle, C.V.; Schrader, S.; Brunotte, J. 2012. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota - A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50: 165-181.
- Cole, L.; Dromph, K.M.; Boaglio, V.; Bardgett, R.D. 2004. Effect of density and species richness of soil mesofauna on nutrient mineralization and plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 39: 337–343.
- Dias, P.F.; Souto, S.M.; Correia, M.E.F.; Rocha, G.P.; Moreira, J.M.; Rodrigues, K.M.; Franco, A.A. 2006. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41: 1015-1021.
- Dias, P.F.; Souto, S.M.; Correia, M.E.F.; Rodrigues, K.M.; Franco, A.A. 2007. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 38–44.
- Eggleton, P.; Vanbergen, A. J.; Jones, D.T.; Lambert, M.C.; Rockett, C.; Hammond, P.M.; Beccaloni, J.; Marriott, D.; Ross, E.; Giusti, A. 2005. Assemblages of soil macrofauna across a Scottish land-use intensification gradient: influences of habitat quality, heterogeneity and area. *Journal of Applied Ecology*, 42: 1153–1164.
- Errouissi, F.; Moussa-Machraoui, S.B.; Ben-Hammouda, M.; Noura, S.2011. Soil invertebrates in durum wheat (*Triticum durum* L.) cropping system under Mediterranean semi arid conditions: A comparison between conventional and no-tillage management. *Soil & Tillage Research*, 112: 122–132.
- Fonte, S.J.; Barros, E. Six, J. 2010. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. *Geoderma*, 155: 320–328.
- Giller, K.G.; Beare, M.H.; Lavelle, P.; Izac, A.M.N.; Swift, M.J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6: 3–16.
- Gotelli, N.J.; Ellison, A.M. 2011. Princípios de estatística em ecologia. Porto Alegre: Artmed, 528 p.

- Ipece – Instituto de Pesquisa e Estatística Econômica do Ceará. 2011. Perfil básico municipal, Sobral. Fortaleza: Seplag – Secretaria de Planejamento e Gestão, Governo do Estado do Ceará, 18p.
- Jimenez, J.J; Decaens, T. 2004. The impact of soil organisms on soil functioning under neotropical pastures: a case study of a tropical anecic earthworm species. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103: 329-342.
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33: 3–16.
- Liiri, M; Häsä, M.; Haimi, J.; Setälä, H. 2012. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services – a microcosm study. *Applied Soil Ecology*, 55: 53– 61.
- Lourente, E.R.P.; Silva, R.F.; Silva, D.A.; Marchetti, M.E.; Mercante, F.M. 2007. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29:17 – 22.
- Machado, J.P.; Oliveira Filho, L.C.I.; Krolow, I.R.C.; Krolow, D.V.; Morselli, T.B.A. 2007. Avaliação da mesofauna (ácaros e colêmbolos) sob plantio direto em uma forrageira de inverno. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 557–561.
- Maia, S.M.; Xavier, F.A.Z.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S., Araújo Filho, J.A. 2006. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade no solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 30: 837 – 848.
- Nunes, L.A.P.L.; Araújo Filho, J.A. de; Menezes, R.I de Q. 2008. Recolonização da fauna edáfica em áreas de Caatinga submetidas a queimadas. *Revista Caatinga*, 21:214–220.
- Nunes, L.A.P.L.; Silva, D.I.B.; Araújo, A.S.F.; Leite, L.F.C.; Correia, M.E.F. 2012. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, 43:30-37.
- Paudel, B.R.; Udawatta, R.P., Anderson, S.H. 2011. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and row-crop systems. *Applied Soil Ecology*, 48: 125-132.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

- Robertson, L.N.; Kettle, B.A.; Simpson, G.B. 1994. The influence of tillage practices on soil macrofauna in a semi-arid agroecosystem in northeastern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 48: 149-156.
- Santos, A.M.C.; Borges, P.A.V.; Hortal, J.; Rodrigues, A.C.; Medeiros, C.; Azevedo, E.B.; Melo, C.; Lopes, D.J.H. 2005. Diversidade da fauna de insectos fitófagos e de inimigos naturais em culturas frutícolas da ilha Terceira, Açores: a importância do manejo e da heterogeneidade ambiental. pp. 115-134. In: A Fruticultura na Macaronésia – o contributo do projeto Interfruta para o seu desenvolvimento (Lopes, D.; Pereira, A.; Mexia, A.; Mumford, J.; Cabrera, R., eds.). Angra do Heroísmo.
- Santos, G.G.; Silveira, P.M.; Marchão, R.L.; Becquer, T.; Balbino, L.C. 2008. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 115-122.
- Silva, J.; Casalinho, H.; Verona, L.E.; Schwengber, J. 2007. Avaliação da mesofauna (colêmbolos e ácaros) do solo em agroecossistemas de base familiar no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 539–542.
- Tapia-Cora, S.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.V. 1999. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 29: 477 – 495.
- Vasconcellos, A.; Bandeira, A.G.; Moura, F.M.S.; Araújo, V.F.P.; Gusmão, M.A.B.; Constantino, R. 2010. Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. *Journal of Arid Environments*, 74: 298–302.
- Velásquez, E.; Fonte, S.J.; Barot, S.; Grimaldi, M.; Desjardins, T.; Lavelle, P. 2012. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Applied Soil Ecology*, 56: 43 – 50.
- Wink, C. 2005. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 4:60-71.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A constante diminuição dos recursos naturais pela ação antrópica e a ocorrência cada vez mais frequente de períodos de seca extrema, na região semiárida brasileira, enfatizam a importância dos estudos que avaliem se a produção de alimentos associada à conservação dos recursos naturais é suficiente para a manutenção da biodiversidade e do funcionamento dos ecossistemas. Uma visão ecológica das relações entre os recursos biótico, representado pela fauna edáfica, e abiótico, direcionado ao solo, foi usada para compreender se a conservação da biodiversidade, proposta pelos sistemas agroflorestais em comparação à simplificação da diversidade dos sistemas tradicionais, propiciaria a sustentabilidade agrícola.

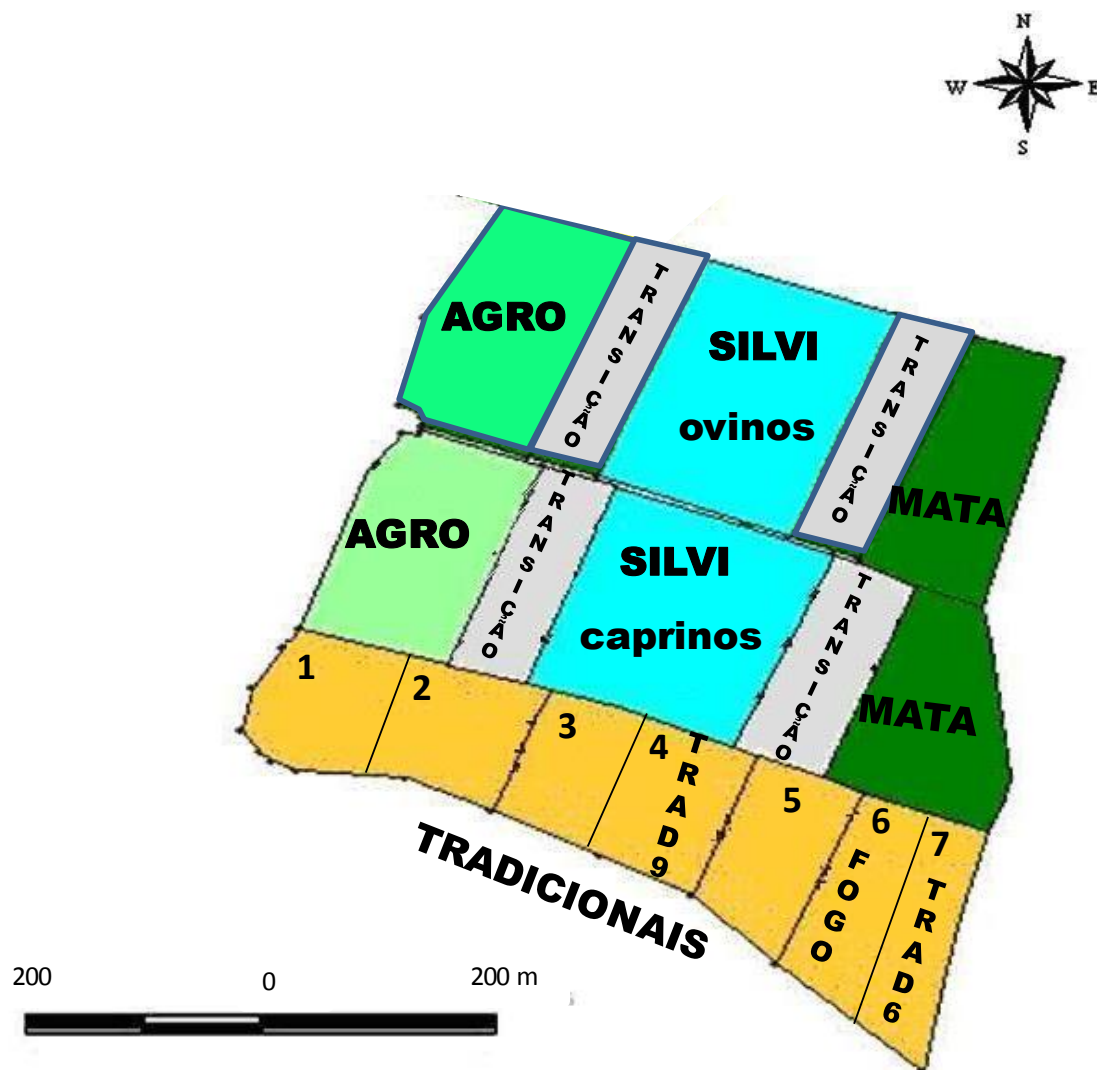
Análises do solo, como as químicas e físicas; índices que refletem a estabilidade do sistema; uso da comunidade da fauna edáfica como bioindicadora das diferentes composições florísticas e dos manejos agrícolas foram os meios usados para representar essa visão. No entanto, a necessidade de estudos futuros se faz notória em função do dinamismo dos recursos bióticos e abióticos, da complexidade das relações estabelecidas, da ação antrópica e das mudanças climáticas. Assim, como perspectivas para futuros estudos, se sugere conhecer a resistência e resiliência dos agroecossistemas em uma série temporal maior, que envolva análises, de pelo menos cinco anos consecutivos, para perceber se há mudança ou se um padrão é estabelecido. Associado a esse estudo, se sugere avaliar qual fator é mais limitante para a produtividade ou estabilidade do sistema: o recurso hídrico ou a biodiversidade, considerado que, períodos de pousio mais prolongados favorecerão a sucessão, que pode possibilitar aumento da biodiversidade, a qual poderá ser acompanhada durante as análises da série temporal proposta.

Portanto, a continuidade dos estudos nas mesmas áreas para a compreensão da variabilidade temporal e dos efeitos dos diferentes períodos de pousio deve ser priorizada. A manutenção da biodiversidade pela implantação dos sistemas agroflorestais, considerando que a atividade agrícola tradicional é extensivamente empregada, pode favorecer a sustentabilidade agrícola das áreas semiáridas; no entanto, quanto mais estudos forem realizados, inclusive

sequencialmente, mais claras irão se tornar as relações estabelecidas e suas interferências sobre o funcionamento do ecossistema.

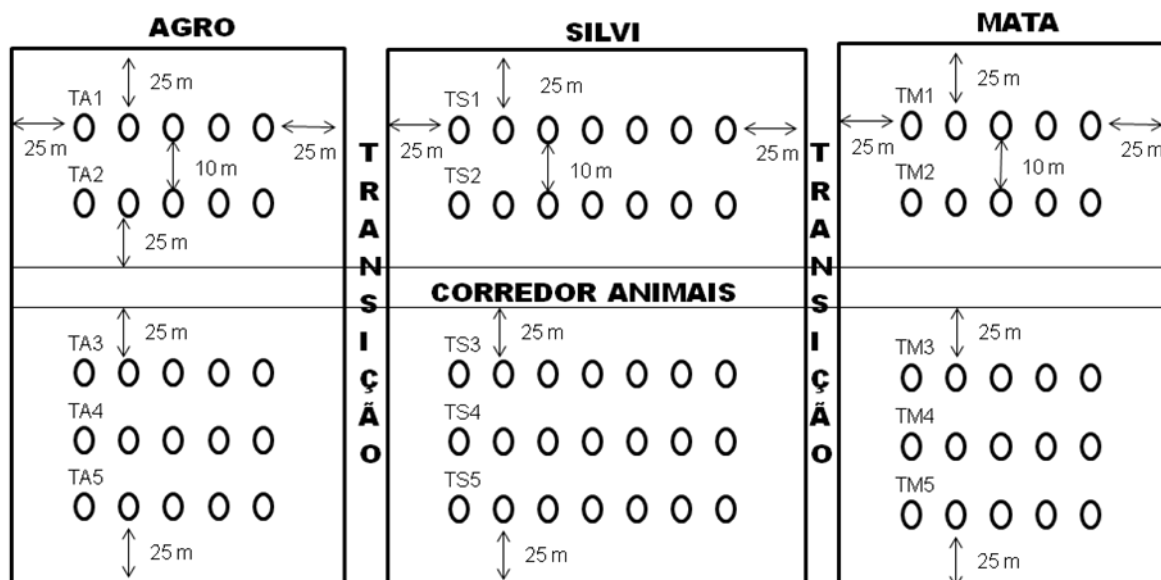
ANEXOS

Anexo A - Croqui de distribuição das áreas estudadas na fazenda Crioula, Sobral, CE.



Os sistemas agroflorestais (AGRO e SILVI) e menos impactado (MATA) são subdivididos por corredores em duas subáreas, uma para pastejo de ovinos e outra para caprinos. Adjacente a essas áreas estão localizados os sistemas tradicionais, subdivididos em sete áreas. Cada área foi desmatada, queimada e cultivada em períodos diferentes. Assim, foram escolhidas três áreas: 1. Em pousio por nove anos (TRAD₉), 2. Em uso (FOGO) e 3. Em pousio por seis anos (TRAD₆).

Anexo B - Croqui de distribuição das armadilhas nos sistemas agroflorestais (AGRO e SILVI) e sistema menos impactado (MATA).



Anexo C - Croqui de distribuição das armadilhas nos agroecossistemas tradicionais em pousio (TRAD₆ e TRAD₉) e em uso (FOGO).

