



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

**MARIA IVANILDA DE AGUIAR**

**PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA  
EMERGÉTICA EM FUNÇÃO DA DIVERSIDADE VEGETAL EM  
SISTEMAS AGRÍCOLAS E CAATINGA CONSERVADA**

**FORTALEZA**

**2012**

**MARIA IVANILDA DE AGUIAR**

**PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA EMERGÉTICA  
EM FUNÇÃO DA DIVERSIDADE VEGETAL EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E  
CAATINGA CONSERVADA**

**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; **Linha de Pesquisa:** Conservação e manejo de recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira

FORTALEZA

2012

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

- 
- A227p Aguiar, Maria Ivanilda de.  
Produtividade, ciclagem de nutrientes e eficiência energética em função da diversidade vegetal em sistemas agrícolas e caatinga conservada / Maria Ivanilda de Aguiar. – 2012.  
132 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, 2012.  
Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais.  
Orientação: Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira.
1. Sistemas Agroflorestais. 2. Diversidade vegetal. 3. Biomassa. 4. Emergia. 5. Semiárido. I. Título.

MARIA IVANILDA DE AGUIAR

PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E EFICIÊNCIA  
EMERGÉTICA EM FUNÇÃO DA DIVERSIDADE VEGETAL EM SISTEMAS  
AGRÍCOLAS E CAATINGA CONSERVADA

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; Linha de Pesquisa: Conservação e manejo de recursos naturais. Orientador: Prof. Dr. Teógenes Senna de Oliveira

Aprovada em 19 de dezembro de 2012.

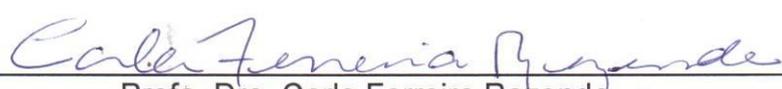
BANCA EXAMINADORA



---

Profa. Dra. Arlete Aparecida Soares (Presidente)

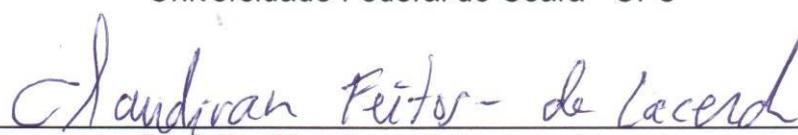
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Profa. Dra. Carla Ferreira Rezende

Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

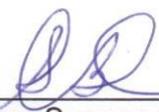
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho

Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Dra. Susana Churka Blum

Universidade de São Paulo - USP

A Deus, autor de tudo.  
À minha família, sem a qual eu não estaria aqui.  
Aos meus mestres, que muito me ensinam.  
Aos meus amigos, que alegram a minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao aproximarem-se os momentos finais desta importante etapa de minha vida, que é o doutorado, é mais do que obrigação agradecer àqueles que me ajudaram tornando isso possível. Se aqui cheguei, não cheguei sozinha. Minha conquista é também a de muitos. Escrevo este capítulo com muita satisfação e empenho, e também um tanto tensa, pois ao longo destes anos muita gente boa tem me ajudado e receio não conseguir expressar adequadamente os merecidos agradecimentos a cada uma delas. Vou tentar.

A Deus, Aquele que merece toda honra e toda glória. Que me deu forças para esta longa e muitas vezes árdua caminhada. Tenho certeza que aqui cheguei porque Ele esteve comigo em todos os momentos. Obrigada, Deus.

À Universidade Federal do Ceará, em particular, ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) e ao Departamento de Ciências do Solo (DCS), que possibilitaram a realização deste trabalho, bem como de todo o processo de pós-graduação. Estendo estes agradecimentos a todos os professores e servidores técnicos vinculados ao PPGERN e DCS.

À EMBRAPA – CNPC, nas pessoas das pesquisadoras Mônica Matoso Campanha e Ana Cláudia Cavalcante, do pesquisador Francisco Aden Paiva Fernandes e de todos seus funcionários que auxiliaram na realização dos trabalhos de campo.

Ao Prof. Teogenes Senna de Oliveira pela sua orientação e apoio. Sua confiança e certeza de que eu iria conseguir, apesar de minhas dificuldades, me tornaram mais segura. Desde a graduação até aqui foi sim uma longa caminhada e sua presença forte, mesmo que em alguns momentos à distância, esteve sempre comigo. Agradeço muito seu empenho como orientador que sempre fez o máximo possível para me ajudar. E mais do que isso, agradeço, seu carinho e sua torcida.

Aos professores(ras) Roberta Boscaini Zandavalli, Adunias dos Santos Teixeira e Itayguara Ribeiro da Costa e às pesquisadoras Mônica Matoso Campanha e Ana Clara Cavalcante pelas valiosas colaborações dispensadas por ocasião das etapas de defesa do projeto e/ou qualificação.

A todos os meus colegas de pós-graduação pelo companheirismo e força, pelas dúvidas e conhecimentos compartilhados e pelas brincadeiras que tornam o

ambiente mais agradável, em especial, Alípio, Carlos Nogueira e Jamili que se fizeram presentes, mesmos nesta fase de maior distanciamento.

Ao amigo Carlos Nogueira, um agradecimento especial, pela sua grande força e estímulo, em particular pela sua contribuição na elaboração de meus artigos.

À grande amiga, Jamili Fialho, por sua presença em todas as etapas desta caminhada; dividiu comigo as preocupações e incertezas na elaboração do projeto; os percalços do campo; os conhecimentos na elaboração dos manuscritos. Agradeço o apoio e encorajamento em cada uma destas etapas.

Aos amigos do Departamento de Ciências do Solo, pela convivência e amizade, em especial a Francisco Araújo e Rafaela Batista, pela ajuda com os trabalhos de campo e de laboratório.

Aos trabalhadores que auxiliaram os levantamentos e coletas de campo.

Aos membros da banca, professoras Arlete Aparecida Soareas, Carla Ferreira Resende e Susana Churka Blum, e professores Claudivan Ferreira de Lacerda e Sepastião Medeiros Filho, pelas valiosas considerações e correções sugeridas.

Ao meu esposo José Venicio, que além de companheiro, foi um grande colaborador nos trabalhos de campo, e na condução das viagens Corrente – Sobral. Obrigada pela compreensão e força. Obrigada por compreender minha falta de tempo e muitos finais de semana e feriados dedicados ao estudo.

À minha família, pai (João Batista), mãe (Maria Aparecida), madrinha (Maria Augusta), irmãos, irmãs, sobrinhos, sobrinhas, cunhados e cunhadas, pelo apoio, carinho e compreensão. Queridos, não fiquem enciumados, mas queria agradecer especialmente a Lucivone, querida Lu, por todo o seu carinho, torcida e apoio. Também a Irani e Maiton por todo o apoio, sempre que precisei.

À FUNCAP e a CAPES, pela concessão de bolsa de estudo em parte do período de doutorado. E ao programa PROPAG, nas pessoas de seus coordenadores, Inês Mamede e Cláudio Marques.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, IFPI - Campus Corrente, em nome da direção, em particular à Cícera Izabel Ramalho, pelo pronto apoio e liberação sempre que necessária, à Cristiana Barbosa Nunes pela tradução de resumos para o inglês, ao Marcelo Mesquita pela dicas “fitossociológicas” e por estar sempre disposto a ouvir minhas inquietações, aos demais colegas professores, em especial àqueles que se disponibilizaram a assumir a sala de aula nas minhas ausências, bem como todos os demais servidores pelo

bom convívio, apoio e incentivo. Sinceros agradecimentos aos grandes amigos que o IFPI me deu. Obrigada pela torcida, pela amizade sincera, por proporcionar momentos de descontração, ouvir minhas lamúrias, entender a minha ausência. A vocês que estão agora na Chácara de Cleonice, enquanto eu escrevo estas singelas palavras, obrigada e me aguardem, que em breve não perderei uma reunião dessas.

A todos os meus amigos que mesmo longe torceram por mim nesta grande empreitada. Obrigada pelas orações, palavras de ânimo e confiança.

*“A ecologia não é um luxo dos ricos nem uma preocupação apenas dos grupos ambientalistas ou dos Verdes com seus respectivos partidos. A questão ecológica remete a um novo nível de consciência mundial: a importância da Terra como um todo, o bem comum como bem das pessoas, das sociedades e do conjunto dos seres da natureza, o risco apocalíptico que pesa sobre tudo o que foi criado. O ser humano pode ser tanto anjo da guarda como satã da Terra. A Terra sangra, especialmente em seu ser mais singular, o oprimido, o marginalizado e o excluído, pois todos esses compõem as grandes majorias do planeta. A partir deles devemos pensar o equilíbrio universal e a nova ordem ecológica mundial.”*

(Leonardo Boff)

## RESUMO

Os processos de ciclagem de nutrientes e transformações energéticas impulsionam a produtividade e estão diretamente relacionados com a diversidade dos ecossistemas. Assim, tem-se priorizado a manutenção da diversidade em áreas agrícolas para a condução de agroecossistemas mais sustentáveis. Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) são recomendados por manter elevados níveis de diversidade vegetal, aumentar os estoques de carbono e nutrientes e promover eficiência nas transformações energéticas. Os SAFs são indicados para substituir os sistemas agrícolas tradicionais responsáveis por grande perda de diversidade e degradação ambiental na região semiárida nordestina. Espera-se que nos SAFs, a maior diversidade vegetal proporcione maior produtividade, maior retorno de nutrientes ao solo, maiores estoques de carbono e nutrientes e melhor eficiência energética. Um modelo de produção agroflorestal composto de três áreas foi avaliado: agrossilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP) e caatinga conservada (CAT); e um sistema de manejo tradicional, composto de uma área em cultivo (AG), e duas áreas em pousio de seis (P6) e nove (P9) anos. Este trabalho objetivou verificar se os SAFs mantêm-se semelhantes a vegetação conservada e se os períodos de pousio retornam as áreas a sua condição inicial, quanto a: (1) composição florística e estrutura da comunidade dos componentes herbáceos e arbóreo/arbustivo; (2) diversidade e produção de biomassa; (3) estoques de carbono e nutrientes presentes nas plantas, serrapilheira e solo e (4) transformações dos fluxos energéticos. Verificou-se que as áreas sob SAFs apresentam composição florística e produtividade semelhante a caatinga conservada, porém este manejo provoca modificações estruturais na comunidade vegetal e redução nos índices de diversidade. Os estoques de carbono e nutrientes nos SAFs são semelhantes a CAT no compartimento solo, porém foram inferiores nas plantas e na serrapilheira. Contudo, o modelo agroflorestal apresenta melhor desempenho energético devido sua melhor eficiência na utilização de energia, menor impacto ambiental e maior renovabilidade. Durante os períodos de pousio adotados após o cultivo tradicional as áreas se recuperaram em relação a composição florística, a produtividade e os estoques de carbono e nutrientes no solo e na serrapilheira. Entretanto, apresentaram modificações quanto a estrutura da comunidade arbórea, com maior número de indivíduos e espécies, sendo estes de menor porte e assim, menor biomassa total e menor estoques de carbono e nutrientes. Os sistemas de produção agroflorestal utilizados de forma integrada apresentam grande potencial de sustentabilidade, por proporcionarem a produção agrícola, pastoril e madeireira, mantendo diversas características estruturais da vegetação que permitem um fluxo de energia e uma ciclagem de nutrientes constante, assim como em áreas conservadas.

**Palavras chave:** Sistemas Agroflorestais. Diversidade vegetal. Biomassa. Energia. Semiárido

## PRODUCTIVITY, NUTRIENT CYCLING AND ENERGY EFFICIENCY AS FUNCTIONS OF PLANT DIVERSITY IN AGRICULTURAL SYSTEMS AND PRESERVED CAATINGA VEGETATION

**ABSTRACT:** Nutrient cycling and energy transformation processes fuel plant productivity and are directly related to ecosystem diversity. The preservation of diversity has thus been identified as a way to improve the sustainability of agroecosystems. It also follows that agroforestry systems (AFS) are recommended since they maintain high plant diversity, increase carbon and nutrient stocks and promote energy efficiency. Agroforestry systems represent an alternative to traditional agricultural systems, which are responsible for large losses of diversity and environmental degradation in Brazil's semiarid northeast. It is assumed that the greater plant diversity in AFS yields greater productivity, improves soil nutrient inputs, and increases carbon and nutrient stocks as well as energy efficiency. We evaluated a model agroforestry production system consisting of three areas: agrosilvopastoral, silvopastoral and preserved *caatinga* vegetation (CAT). Also, data was taken from a traditional management system including an area under cropping and two areas under fallow for six and nine years. The objectives of this work were to assess whether AFS remain similar to preserved vegetation and whether fallow periods restore land to its initial condition, in terms of: (i) the species composition and community structure of herbaceous and tree/shrub strata; (ii) plant diversity and biomass production; (iii) carbon and nutrient stocks in standing vegetation, litter and the soil and (iv) energy flux transformations. We found that species composition and plant productivity were similar in the AFS and preserved *caatinga*, however in AFS the structure of the plant community was modified and diversity indices were reduced. Soil carbon and nutrient stocks in AFS were similar to those in CAT, but stocks in standing biomass and litter were lower. Overall, the AFS performed better in terms of energy, due to more efficient energy use, a lesser environmental impact and greater renewability. The fallow periods following traditional cropping allowed the species composition, productivity and carbon and nutrient stocks in soil and litter to recover. However, areas under fallow differed from CAT in terms of tree community structure, with a greater number of individuals and species. Tree species found in fallow areas reach smaller sizes than under CAT. Therefore total biomass and carbon and nutrient stocks were lesser under fallow than CAT. Agroforestry systems managed in an integrated fashion represent great potential for sustainability, since they provide agricultural, pastoral and wood products while maintaining vegetation structure characteristics which allow constant fluxes of energy and nutrient cycling, as occurs under preserved vegetation.

**Keywords:** Agroforestry Systems. Plant diversity. Biomass. Energy. Semiarid.

.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	14
Referências .....	16

### **CAPÍTULO 1 - FLORÍSTICA E ESTRUTURA DE ÁREAS DE CAATINGA CONSERVADA E SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

RESUMO.....	19
ABSTRACT .....	20
1.1 Introdução .....	21
1.2 Material e método .....	23
1.2.1 Caracterização da área .....	23
1.2.2 Procedimentos metodológicos e análise dos dados .....	26
1.3 Resultados .....	27
1.3.1 Flora herbácea .....	27
1.3.1 Flora arbórea/arbustiva .....	32
1.3.3 Similaridade florística .....	34
1.4 Discussão .....	34
1.4.1 Os SAFs mantêm estrutura e composição florística semelhante à vegetação conservada? .....	34
1.4.2 O tempo de pousio é suficiente para recompor a composição florística e a estrutura da vegetação conservada? .....	36
1.5 Conclusões .....	38
Referências .....	38

### **CAPÍTULO 2 - A PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM COMUNIDADES VEGETAIS DEPENDE DE SUA DIVERSIDADE VEGETAL?**

RESUMO.....	42
ABSTRACT .....	43
2.1 Introdução .....	43
2.2 Material e método .....	46
2.2.1 Área de estudo .....	46
2.2.2 Diversidade vegetal .....	49
2.2.3 Produção de biomassa .....	50
2.2.4. Análise dos dados .....	50
2.3 Resultados .....	51
2.3.1. Diversidade vegetal .....	51
2.3.2. Biomassa .....	52
2.3.3. Biomassa em função da diversidade .....	54
2.4 Discussão .....	58
2.4.1. Diversidade vegetal .....	58
2.4.2. Biomassa .....	60
2.4.3. Biomassa em função da diversidade .....	61
2.5. Conclusões .....	63
Referências .....	63

## **CAPÍTULO 3 - SEQUESTRO DE CARBONO E RESERVA DE NUTRIENTES EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA**

RESUMO.....	70
ABSTRACT .....	70
3.1 Introdução.....	71
3.2 Material e método .....	73
3.2.1 Caracterização da área e sistemas de manejo avaliados .....	73
3.2.2. Estoques de carbono e nutrientes no solo .....	75
3.2.3 Estoques de carbono e nutrientes na serapilheira .....	75
3.2.4. Estoques de carbono e nutrientes nas plantas .....	76
3.3 Resultados .....	77
3.3.1. Estoques de C e nutrientes nos diferentes compartimentos dos sistemas de manejo .....	77
3.3.2. Proporção dos estoques de Carbono e nutrientes nos compartimentos solo, serrapilheira e plantas .....	81
3.4 Discussão .....	83
3.5 Conclusões .....	87
Referências .....	88

## **CAPÍTULO 4 - ANÁLISE EMERGÉTICA DE SISTEMAS DE USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

RESUMO.....	93
ABSTRACT .....	94
4.1. Introdução .....	94
4.2. Material e método .....	97
4.2.1 Áreas de estudo e sistemas de manejo avaliado .....	97
4.2.2. Análise emergética .....	99
4.3 Resultados e discussão .....	100
4.3.1. Descrição dos diagramas sistêmicos .....	100
4.3.2 Balanço emergético .....	108
4.3.3 Índices emergético .....	114
4.4 Conclusão .....	120
Referências .....	121
ANEXO .....	126
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	132

## INTRODUÇÃO GERAL

Comunidades mais complexas são mais capazes de permanecerem estruturadas mesmo em face a um distúrbio, tal como, perdas de espécies. A baixa diversidade naturalmente observada em alguns ecossistemas torna-os altamente susceptíveis a perturbações. Por outro lado, pesquisas têm revelado que em determinados ecossistemas, a diversidade é essencial para a manutenção de algumas funções ambientais (Naeem et al., 1994,1995; Tilman et al., 2001; Hooper et al., 2005; Flombaum; Sala, 2008; Naeem, 2008). Em agroecossistemas, a persistência da biodiversidade é fundamental para manter a integridade biológica, que regula processos e serviços ecológicos essencialmente biológicos (Altieri, 1999; Tilman et al., 2006). Em comunidades vegetais mais diversificadas a produtividade primária torna-se mais resistente e há maior facilidade de recuperação a perturbações como seca (Tilman; Downing, 1994; Nakamura, 2008).

Entender a função da diversidade no funcionamento dos ecossistemas é fundamental para a prática de uma agricultura sustentável. Diversos estudos mostram que práticas como rotação de culturas, plantio em consórcios e uso de plantas de cobertura podem aumentar a produtividade em relação à monocultura (Espindola et al., 2006; Almeida et al., 2009). Porém poucas pesquisas têm sido realizadas num contexto mais amplo, levando em consideração teorias ecológicas no meio agrícola (Smith; Gross; Robertson, 2008). A investigação da produção agrícola no âmbito de teorias ecológicas pode contribuir tanto para aumentar a percepção sobre o funcionamento de agroecossistemas, com para maior entendimento das relações entre diversidade e funcionamento do ecossistema (Smith; Gross; Robertson, 2008; Smukler et al., 2010). Para que os conceitos de diversidade e estabilidade sejam aplicáveis à agricultura, precisa-se de estudos que correlacionem os diferentes tipos de diversidade com o processo de produtividade e, a partir daí, com a sustentabilidade (Gliessman, 2005).

Há evidências de que a diversidade de espécies no ambiente agrícola promove maior estabilidade, produtividade e equilíbrio, visto que favorece relações funcionais complementares entre os organismos vivos e seu ambiente, permitindo ocorrência dos processos fundamentais do ecossistema, como fluxo de energia, ciclagem dos nutrientes e manutenção da diversidade de habitat (Gliessman et al.,

2007). Investigações sobre o efeito da diversidade para o funcionamento do ecossistema têm sido realizadas em experimentos com manipulação da diversidade de espécies vegetais (Tilman; Downing, 1994; Wilsey; Potvin, 2000; Tilman et al., 2001; Keer; Zedler, 2002; Nakamura, 2008; Smith; Gross; Robertson, 2008). Estudando a produção de grãos em sistemas de cultivo com diferentes níveis de diversidade de espécies, Smith; Gross; Robertson (2008) observaram aumento da produção em ambientes com maior diversidade, provavelmente pela ocorrência do mecanismo de facilitação quando leguminosas aumentaram a disponibilidade de nitrogênio no solo, favorecendo plantas não leguminosas. Esses autores ressaltam a importância de estudos enfocando teorias ecológicas em ambientes agrícolas para melhor entendimento do funcionamento de agroecossistemas, bem como das relações entre diversidade e função do ecossistema.

Atualmente, a introdução de algum nível de diversidade nos sistemas agrícolas vem crescendo, muito embora lentamente. Existem alguns modelos de sistemas de produção agrícola baseados na manutenção da diversidade, tendo em vista a sustentabilidade, como por exemplo, os sistemas agroflorestais (SAFs). A utilização de SAFs visa promover maior equilíbrio do ecossistema manejado, a partir do aumento da diversidade de espécies cultivadas e nativas (Anglaaere et al., 2011; Assogbadjo et al., 2012; Souza et al., 2012), em que culturas tradicionais são consorciadas com árvores e/ou animais, com melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço (Nair, 1993).

Diversos modelos de SAFs são adotados em todo o mundo. Para o semiárido brasileiro, Araújo Filho e Carvalho (2001) propõem um modelo de produção agroflorestal que visa manter níveis elevados de diversidade e promover interação entre as atividades agrícola, silvícola e pastoril. Estudos que comprovem maior eficiência ambiental, econômica e social deste modelo poderão dar suporte a sua ampla recomendação como alternativa ao modelo de cultivo tradicional que utiliza o corte e a queima da vegetação, causando perda de diversidade e degradação ambiental. O cultivo tradicional é caracterizado pelo desmatamento e queima de toda a vegetação, seguida de cultivo por dois ou três anos consecutivos. Durante os períodos de entressafra, animais têm acesso a área para consumirem os restos culturais. A partir do terceiro ano após o desmatamento a área é deixada em

pousio por aproximadamente 10 anos, sendo geralmente utilizada para pastejo (Araújo Filho, 2002).

Este estudo visa caracterizar os SAFs e as áreas de cultivo tradicional do semiárido nordestino, quanto a sua composição florística e diversidade (Capítulo 1), identificar os níveis de produtividade vegetal e sua relação com a diversidade (Capítulo 2), bem como seu potencial para ciclagem e estocagem de carbono e nutrientes (capítulo 3) e verificar a utilização de energia para os processos de produção dentro desses sistemas (Capítulo 4). Com o objetivo de identificar como estes mantêm ou restauram os componentes vegetais e permitem a realização dos processos ecossistêmicos em comparação à vegetação de caatinga conservada. Objetiva-se também verificar a influencia da diversidade de plantas sobre a produtividade dos agroecossistemas.

## Referências

Almeida, M.V.R.; Oliveira, T.S.; Bezerra, A.M.E., 2009. Biodiversidade em sistemas agroecológicos no município de Choró, CE, Brasil. *Ciência Rural*, 39:1080-1087.

Altieri, M. A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74:19–31.

Anglaaere, L.C.N.; Cobbina, J.; Sinclair, F.L.; Mcdonald, M.A., 2011. The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforest Systems*, 81:249-265.

Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C., 2001. Sistemas de produção agrosPipastoril para o semi-árido nordestino. PP.101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e sub tropicais (Carvalho, M.M.; Alvim, M.J.; Carneiro, J.C., Org.). Brasília: FAO.

Araújo Filho, J.A., 2002. Histórico do uso dos solos da caatinga. PP. 329-337. In: 500 anos de uso do solo no Brasil (Araujo, Q.R., org.). Ilhéus: Editus.

Assogbadjo, A.E.; Glèlè Kakaï, R.; Vodouhê, F.G.; Djagoun, C.A.M.S.; Codjia, J.T.C.; Sinsi, B., 2012. Biodiversity and socioeconomic factors supporting farmers' choice of

wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). *Forest Policy and Economics*, 14:41–49.

Espindola, J.A.A; Guerra, J.G.M.; Perin, A.; Teixeira, M.G.; Almeida, D.L.; Urquiaga, S.; Busquet, R.N.B., 2006. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:415-420.

Flombaum, P.; Sala, O.E., 2008. Higher effect of plant species diversity on productivity in natural than artificial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:6087–6090.

Gliessman, S.R.; Rosado-May, F.J.; Guadarrama-Zugasti, C; Jedlicka, J.; Cohn, A.; Mendez, V.E.; Cohen, R.; Trujillo, L.; Bacon, C.; Jaffe, R., 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16:13-23.

Gliessman, S. R., 2005. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 653p.

Hooper, D.U.; Chapin, F.S.; Ewell, J.J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75:3–35.

Keer, G.; Zedler, J.B., 2002. Salt marsh canopy architecture differs with the number and composition of species. *Ecological applications*, 12:456-473.

Nair, P.K.R., 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer, 499p.

Nakamura, N., 2008. Species richness and aggregation effects on the productivity of ruderal plant communities under drought perturbation. *Bioscience Horizons*, 1:128-135.

Naeem, S., 2008. Advancing realism in biodiversity research. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 414-416.

Naeem, S.; Thompson, L.J.; Lawler, S.P.; Lawton, J.H.; Woodfin, R.M., 1994. Declining biodiversity may alter the performance of ecosystems. *Nature*, 368:734-737.

Naeem, S.; Thompson, L.J.; Lawler, S.P.; Lawton, J.H.; Woodfin, R.M., 1995. Empirical evidence that declining biodiversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Transactions of the Royal Society of London*, 347:249-262.

Smith, R.G.; Gross, K.L.; Robertson, G.P., 2008. Effects of crop diversity on agroecosystem function: crop yield response. *Ecosystems*, 11:355–366.  
Smukler, S.M.; Sánchez-Moreno, S.; Fonte, S.J.; Ferris, H.; Klonsky, K.; O'geen, A.T.; Scow, K.M.; Steenwerth, K.L.; Jackson, L.E., 2010. Biodiversity and multiple ecosystem functions in an organic farmscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139:80–97.

Souza, H.N.; Goede, R.G.M.; Brussaard, L.; Cardoso, I.M.; Duarte, E.M.G.; Fernandes, B.A.; Gomes, L.C.; Pulleman, M.M., 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146:179–196.

Tilman, D.; Downing, J.A., 1994. Biosiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367:363-365.

Tilman, D.; Peter, B.R.; Knops, J.; Wedin, D.; Mielke, T; Lehman, C., 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294:843–845.  
Tilman, D.; Reich, P. B.; Knops, J.M.H., 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade – long grassland experiment. *Nature*, 441:629–632.

Wilsey, B.J.; Potvin, C., 2000. Biodiversity and ecosystem functioning importance of species evenness in an old field. *Ecology*, 81:887-892, 2000.

## CAPITULO 01 - FLORÍSTICA E ESTRUTURA DE ÁREAS DE CAATINGA CONSERVADA E SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO<sup>1</sup>

M. I. AGUIAR<sup>2;3</sup>; J. S. FIALHO<sup>2;4</sup>; M. M. CAMPANHA<sup>5</sup>; T. S. OLIVEIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Manuscrito submetido a revista Ciência Florestal (ISSN 0103-9954) em 10 de fevereiro de 2012;

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará; <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí;

<sup>4</sup>Universidade Estadual do Ceará; <sup>5</sup>Embrapa Milho e Sorgo; <sup>6</sup>Universidade Federal de Viçosa

**RESUMO** - Os sistemas agroflorestais (SAFs) são propostos como alternativas aos cultivos tradicionais adotados na região semiárida brasileira, que causam grande perda de diversidade e degradação ambiental. Foi avaliada a composição florística e estrutura da comunidade dos componentes herbáceos e arbóreo/arbustivo, com o objetivo de verificar se durante os períodos de pousio estas retornam a sua condição inicial; bem como avaliar se os SAFs as mantêm semelhantes à vegetação conservada. Foram estudados dois SAFs: agrossilvipastoril (ASP) e silvipastoril (SP), um sistema de manejo tradicional (AG), áreas em pousio de seis (P6) e nove (P9) anos e uma área de caatinga conservada (CAT). Os indivíduos presentes nos estratos herbáceo e arbóreo/arbustivo foram identificadas e quantificadas. Foram determinadas densidade absoluta e frequência absoluta das espécies, e os indivíduos arbóreos/arbustivos foram distribuídos em classes de diâmetros. A comparação das áreas quanto à similaridade florística foi obtida por análise de agrupamento. Observou-se que ASP manteve a composição florística semelhante à caatinga conservada. Porém a densidade do estrato herbáceo em ASP foi maior do que a observada em CAT, enquanto a densidade do estrato arbóreo/arbustivo foi menor em ASP, representando aproximadamente 10% da densidade de CAT. No estrato herbáceo, as espécies de maior frequência e densidade foram *Alternanthera ficoidea* e *Commelina nudiflora*, em ASP, e *Commelina nudiflora* e *Herissantia tiubae* em CAT. No estrato arbóreo/arbustivo as espécies de maior densidade e frequência foi a *Cordia oncocalyx* nas áreas ASP, CAT e SP. SP modificou a composição florística em relação a CAT e as áreas em pousio, apresentando menor número de espécies arbóreas e maior número de espécies herbáceas. AG causou modificações na estrutura e composição florística em relação ao ecossistema conservado. Nas áreas em pousio por seis e nove anos ocorreram recuperação da vegetação quanto a composição florística, porém as áreas em pousio apresentam maior número de indivíduos por hectare, com menores diâmetros em relação a CAT. *Mimosa*

*caesalpinifolia* e *Croton blachetianus* foram as espécies de maiores densidades em P6 e P9, respectivamente.

**Palavras chaves:** Sistemas Agroflorestais. Semiárido. Cultivo tradicional. Agroecologia.

## **FLORA AND VEGETATION STRUCTURE OF PRESERVED CAATINGA AND VARIOUS MANAGEMENT SYSTEMS**

**ABSTRACT** - Agroforestry systems (AFS) are proposed as alternatives to traditional cropping practiced in Brazil's semiarid region. Such traditional systems lead to great losses of diversity and environmental degradation. We assessed the species composition and community structure of the herbaceous and tree/shrub strata, with the goal of evaluating whether areas under fallow are restored to their initial condition. Also, we assessed whether areas under AFS are similar to preserved vegetation. Two AFS were studied: agrosilvopastoral (ASP) and silvopastoral (SP). We also evaluated a traditional cropping system (AG) and areas under fallow for six (F6) and nine (F9) years as well as an area under preserved *caatinga* vegetation (CAT). Individuals present in the herbaceous and tree/shrub strata were identified and quantified. We determined the absolute density and frequency of species, and individual trees/shrubs were separated into diameter size classes. The flora of the various areas was compared using cluster analysis. The flora of ASP was similar to that of CAT. However, the density of the herbaceous stratum under ASP was greater than under CAT, while the density of the tree/shrub stratum was lesser under ASP and represented approximately 10% of the density under CAT. In the herbaceous stratum, the most frequent species and those occurring at the greatest densities were *Alternanthera ficoidea* and *Commelina nudiflora* under ASP, and *Commelina nudiflora* and *Herissantia tiubae* under CAT. The most frequent and densely occurring species in the tree/shrub stratum of ASP, CAT and SP was *Cordia oncocalyx*. The flora under SP differed from that of CAT and areas under fallow, with fewer tree species and more herbaceous species. Under AG, the structure and composition of the vegetation also differed from those under the preserved ecosystem. Fallow periods of six and nine years allowed the recovery of vegetation in terms of species composition, but fallow areas had a greater number of individuals per hectare, with

smaller diameters when compared to CAT. *Mimosa caesalpinifolia* and *Croton blachetianus* occurred at the greatest densities under F6 and F9, respectively.

**Keywords:** Agroforestry. Semiarid. Traditional cultivation. Agroecology.

## 1.1 Introdução

Níveis satisfatórios de produtividade obtidos em agroecossistemas convencionais ocorrem devido ao aporte contínuo de recursos energéticos externos, na forma de adubos e fertilizantes sintéticos e alto grau de perturbação, com retirada constante da vegetação nativa e utilização de defensivos químicos. No entanto, a preocupação com a manutenção da biodiversidade, tendo em vista sua fundamental importância para o funcionamento adequado dos ecossistemas, aponta para a necessidade de se utilizar os agroecossistemas como locais de conservação da biodiversidade (Araújo Filho; Carvalho, 2001; Vandermeer; Perfecto, 2007), uma vez que somente as áreas legalmente protegidas são insuficientes para preservar a diversidade biológica e os serviços ecossistêmicos. A persistência da biodiversidade, nos agroecossistemas, é fundamental para manter a integridade biológica, que regula processos e serviços ecológicos essencialmente biológicos (Altieri, 1999; Tilman et al., 2006), sendo importante não somente para o agroecossistema em questão, mas para a preservação da biodiversidade das paisagens locais (Anglaeagle et al., 2011; Souza et al., 2010).

Neste sentido, Araújo Filho e Carvalho (2001) propuseram um modelo de produção agroflorestal que visa manter a diversidade de espécies arbóreas nativas, por meio da interação entre as atividades agrícola, silvícola e pastoril. De acordo com este modelo, árvores nativas são mantidas em áreas de cultivo e de pastagem, utilizando-se técnicas de raleamento e rebaixamento das espécies arbóreo-arbustivas. A utilização desse tipo de manejo visa promover maior equilíbrio do agroecossistema, a partir do aumento da diversidade de espécies vegetais cultivadas e nativas, e/ou animais. O cultivo e/ou a criação de animais consorciado com árvores constitui um sistema agroflorestal (SAF). Os SAFs são considerados estratégias agroecológicas para restaurar a diversidade agrícola, pois potencializam a biodiversidade, os processos ecológicos e a valorização do conhecimento local (Altieri, 2004; Anglaeere et al., 2011).

Nos SAFs onde se utiliza a cobertura florestal feita por espécies nativas a riqueza de espécies e composição florística pode mostrar-se semelhante a vegetação nativa conservada (Bhagwat et al., 2008). No entanto, pode existir modificações na composição das espécies, uma vez que geralmente é feita uma seleção segundo alguns critérios, como valor econômico das espécies, compatibilidade com as espécies cultivadas, produção de biomassa, produção de madeira para lenha, produção de alimentos, atração de insetos, ausência de toxidade e valor forrageiro (Anglaaere et al., 2011; Araújo; Carvalho, 2001; Souza et al., 2010). Assim, para avaliar o quanto a produção agroflorestal realmente contribui para a manutenção da diversidade vegetal, são necessários estudos que avaliem a composição florística das espécies vegetais, comparativamente às áreas nativas conservadas. Campanha et al. (2011) estudou o potencial de conservação de espécies arbóreas da caatinga em um sistema agrossilvipastoril com 12 anos de uso e observou que apesar de reduzir a densidade e alterar a frequência das espécies, o manejo nos SAFs foi capaz de manter a riqueza de espécies semelhante a vegetação nativa conservada.

Na região semiárida brasileira, onde predomina a vegetação do tipo caatinga (savana caducifolia espinhosa, Cole, 1960), tem-se grande variação fisionômica, principalmente quanto a densidade e ao porte de plantas lenhosas (Alves et al., 2009; Amorim et al., 2005). Também se observam variações quanto a composição de espécies. Santos et al. (2008) verificaram que de 225 espécies arbóreas registradas para o semiárido brasileiro, apenas quatro são de ampla distribuição, sendo 188 de ocorrência restrita. Desta forma, a conservação dessas espécies na matriz agrícola torna-se extremamente necessária, uma vez que elas são componentes essenciais da biodiversidade, e as áreas legalmente protegidas são insuficientes para preservação conservação das mesmas.

No entanto, o histórico de uso da região semiárida brasileira, revela que a utilização intensiva pela agricultura e/ou pecuária ocasiona elevadas perdas de biodiversidade, causando degradação ambiental (Sá et al., 2004; Alves et al., 2009). Os sistemas de cultivo tradicionalmente utilizados nessa região são caracterizados pelo desmatamento e queimada de toda a vegetação, seguida de cultivo por dois ou três anos consecutivos. A partir do terceiro ano, essas áreas são deixadas em pousio por aproximadamente 10 anos, sendo geralmente utilizadas para pastejo (Araújo Filho, 2002). Além disso, a pressão pela maior produção de alimentos tem

intensificado o uso dessas áreas, com redução do tempo de pousio e assim, acelerando ainda mais o processo de degradação da região. Estudos mostram que a vegetação nas áreas de caatinga em regeneração tem estrutura e composição florística diferente da anterior ao desmatamento, mesmo muitos anos depois (Pereira et al., 2002; Andrade et al., 2009). Este fato indica que Desta forma, este estudo parte das seguintes perguntas: O tempo de pousio (6 e 9 anos) é suficiente para trazer de volta a composição florística e a estrutura da vegetação conservada? Os sistemas agroflorestais e a agricultura tradicional mantêm a estrutura e a composição florística da vegetação conservada? Para responder a essas perguntas, avaliou-se o tempo de pousio em áreas com agricultura tradicional e a estrutura e composição florística entre sistemas agroflorestais, agricultura tradicional e vegetação conservada. Propoe-se como hipóteses que as áreas de caatinga apresentam resiliência e assim, após o distúrbio, recuperam sua composição e estrutura vegetal, passando por vários estágios sucessionais até atingir condição semelhante a inicial. E que em sistemas agroflorestais a composição florística é mantida concomitantemente com as práticas de agricultura e pecuária.

## **1.2 Material e métodos**

### **1.2.1 Caracterização da área**

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da EMBRAPA, situada em Sobral, Ceará. A temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais do município de Sobral são 27°C e 821 mm (IPECE, 2011), respectivamente. A área do experimento localiza-se entre as coordenadas 9582600S – 9583600S e 352200W-352800W. Nesta área, a precipitação pluviométrica em 2010 foi de 638 mm e a média anual dos últimos 10 anos foi de 989 mm, distribuída principalmente entre os meses de janeiro a junho, porém com grande parte entre os meses de fevereiro a abril (67% do volume precipitado). O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen. O solo da área é representado por manchas de Luvisolos Crômico Órtico típico e Luvisolo

Hipocrômico Órtico típico (Aguiar et al., 2010). A vegetação é composta por savana caducifólia espinhosa, regionalmente conhecida como Caatinga (Cole, 1960).

Desde 1997, na Fazenda Crioula, mantêm um experimento de longa duração que avalia SAFs como sistemas de produção sustentáveis propostos como alternativas aos sistemas tradicionais da região (Araujo Filho; Carvalho, 2001). Dentro desse experimento, comparou-se os sistemas de manejo: Agrossilvipastoril (ASP), onde se cultiva milho e sorgo em aléias formadas por leucena ou gliricídia; Silvipastoril (SP), área de caatinga releada e rebaixada, utilizada para pastejo de cabrinos e ovinos; Cultivo tradicional (AG), plantio de milho e sorgo em monocultura; Áreas de cultivo tradicional a seis e nove anos de pousio (P6 e P9) e área sob caatinga conservada (CAT). Os sistemas de cultivo e o histórico de manejo das áreas estão descritos na Tabela 1.1. Os sistemas de manejo estudados são adjacentes uns aos outros, sendo separados por corredores de aproximadamente um metro e meio de largura.

**Tabela 1.1.** Descrição dos sistemas agroflorestais, cultivos tradicionais e caatinga conservada.

Áreas	Sistemas de cultivo	Histórico e manejo do solo
<i>Agrossilvipastoril</i> (ASP) (3,5 ha)	Cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) (estação chuvosa) em aléias formadas por leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) R. de Wit.) e gliricídia ( <i>Gliricida Sepium</i> (Jacq.) Steud). As leguminosas são podadas duas vezes ao ano. Durante o período seco, a área é utilizada como banco de proteínas para as matrizes ovinas (22) e caprinas (17), que permanecem na área uma hora por dia.	1997 - Rebaixamento e raleamento da vegetação nativa com preservação de 20% da cobertura vegetal arbórea. Formação das aléias de leucena a cada 3 m, perpendicular ao declive predominante. 2005 – substituição de parte das leucenas por gliricídias e cultivo de sorgo. Utilizam-se capinas manuais (com enxada) para controle das herbáceas. A área é sub dividida em duas subáreas, de tamanhos iguais, para produção caprina e ovina, respectivamente.
<i>Silvipastoril</i> (SP) (9,2 ha)	Pastagem nativa para um rebanho de 20 matrizes caprinas e 20 matrizes ovinas, alocadas, respectivamente, em duas subáreas, de tamanhos iguais.	Em 1997 a vegetação lenhosa foi raleada e rebaixada, preservando, aproximadamente, 38% da cobertura vegetal arbórea (260 árvores ha <sup>-1</sup> ). Uma poda das rebrotações das plantas rebaixadas é feita anualmente.
<i>Cultivo Tradicional</i> (AG) (1,0 ha)	Monocultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) no período chuvoso de 2010.	Em 2009 (período seco) fez-se desmatamento e queima de toda a vegetação. Em 2010 foi realizado o preparo manual do solo (com enxada) e plantio das culturas.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de seis anos</i> (P6) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2002 e 2003, seguido de pastejo por 10 matrizes caprinas (período seco).	Desmatamento e queima de toda a vegetação em 2001, preparo manual do solo e cultivo de milho em 2002 e 2003. Durante os dois anos, após a colheita, um rebanho de 10 matrizes caprinas tiveram acesso a área para consumirem os restos vegetais, e a partir de 2004, a área foi deixada em pousio, para permitir a regeneração da vegetação nativa.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de nove anos</i> (P9) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2000 e 2001, seguido de pastejo por 10 matrizes.	Histórico semelhante a P6, porém com as práticas de desmatamento e queima realizada em 1999, e plantio em 2000 e 2001.
<i>Vegetação nativa</i> (CAT) (1,2 ha)	Vegetação nativa regionalmente conhecida como Caatinga, composta por uma savana caducifólia espinhosa. Utilizada como referência para as áreas manejadas. Esta área faz parte do modelo agroflorestal proposto por Araújo Filho e Carvalho (2001)	Vegetação conservada (mais de 50 anos), com registros de corte de algumas árvores anterior a 1981 e pastejo eventual no final do período seco e início do chuvoso.

### 1.2.2. Procedimentos metodológicos e análise dos dados

Para o estudo da composição florística adotou-se o método de parcelas (Mueller-Dombois; Ellenberg, 1974). Para análise do componente arbóreo/arbustivo, em cada área de estudo, foram delimitadas, aleatoriamente, 10 parcelas de 10 m x 10 m dentro das quais foram identificados e contados todos os indivíduos que se enquadraram nos critérios adotados. Dentro de cada parcela de 100 m<sup>2</sup> foram demarcadas subparcelas de 1 m x 1 m para determinação do componente herbáceo. A suficiência amostral foi obtida por meio da curva espécie-área. No componente arbóreo/arbustivo (lenhoso) foram consideradas todos os indivíduos lignificados com altura maior ou igual a um metro, enquanto, que, no herbáceo avaliaram-se as plantas inferiores a um metro de altura, com caule verde, sem ou com baixo nível de lignificação na parte aérea (Rodal et al., 1992). A identificação foi realizada por meio de morfologia comparada, usando-se bibliografia especializada e/ou análise das exsiccatas do Herbário Professor Francisco José de Abreu Matos (HUVA), da Universidade Estadual Vale do Acaraú. A identificação taxonômica completa (nível de espécie) de todas as plantas (principalmente as do estrato herbáceo) nem sempre foi possível, uma vez que muitos indivíduos não floriram no período avaliado, neste caso os indivíduos foram classificados ao nível de gênero. O levantamento dos indivíduos foi realizado de janeiro a abril de 2010. Os indivíduos identificados foram listados registrando-se presença ou ausência nas áreas estudadas. Posteriormente, a similaridade florística entre as áreas foi analisada por meio da análise de agrupamentos (método de ligação completa), que permite reunir as áreas em grupos homogêneos.

Para o estudo dos aspectos estruturais das comunidades foram calculados os parâmetros densidade absoluta (DA) e frequência absoluta (FA) das espécies (Mueller-Dombois; Ellenberg, 1974), utilizando as equações: 1)  $DA = n_i/A$  e, 2)  $FA = (n_i/p) 100$ , onde:  $n_i$  = número de indivíduos amostrados na espécie;  $A$  = área;  $p_i$  = número de parcelas onde ocorreu a espécie, e  $p$  = número total de parcelas.

Os indivíduos do estrato arbóreo/arbustivo também foram avaliados quanto ao diâmetro ao nível do peito (DNP) (1,3 m de altura). Para cálculo dos diâmetros, com auxílio de uma fita métrica, foram tomadas medidas da circunferência do caule a 1,30 m de altura do solo (CAP). A medida do CAP foi transformada em diâmetro (DAP), considerando-se o caule como circular. No caso das plantas com caules bifurcados abaixo de 1,3 m, foram medidas todas as ramificações. Depois foram

calculadas as áreas basais de cada ramificação e, posteriormente, a área total da planta. Para cada indivíduo foi estimado um diâmetro único, correspondendo a soma da área basal de cada ramificação. Os indivíduos do estrato arbóreo/arbustivo foram agrupadas em cinco classes de diâmetros (<5,0 cm; 5,1-10,0 cm; 10,1-15,0 cm; 15,1-20,0 cm e > 20 cm).

### 1.3 Resultados

#### 1.3.1 Flora herbácea

A flora herbácea foi representada por 17 famílias, 26 gêneros e 28 espécies (Tabela 1.2), com uma densidade que variou de 27 ind. m<sup>-2</sup>, no P9, a 328 ind. m<sup>-2</sup> no SP (Tabela 1.3). Poaceae foi a família com maior número de espécies e gêneros que, na sua grande maioria, ocorreram nas áreas manejadas (ASP, SP e AG). *Alternanthera ficoidea*, *Amaranthus* sp., *Anaphyllopsis* sp., *Commelina viginica* e *Brachiaria plantaginea* foram encontradas em pelo menos cinco das seis áreas estudadas. Na CAT foram identificadas 12 espécies herbáceas, destas apenas três ocorrem no ASP e dez no SP. Observa-se que as áreas sob SAFs favoreceram maior dominância de algumas espécies. No ASP, *Alternanthera ficoidea* e *Commelina nudiflora* representaram 78% dos indivíduos amostrados, ambas com elevada frequência absoluta nesta área (Tabela 1.3). Na área de pastejo agroflorestal (SP), mais de 81% dos indivíduos amostrados eram representados por *Hyptis suaveolens* ou *Amaranthus* sp., sendo estas observadas em 100 e 90% das parcelas, respectivamente (Tabela 1.3). Na área sob cultivo tradicional (AG) as maiores densidade e frequência foram observadas para *Brachiaria plantaginea*, *Amaranthus* sp, *Aristida adscensionis* e *Dactyloctenium aegyptium* (Tabela 1.3).

A espécie cultivada *Sorghum bicolor* L. (sorgo) foi responsável por 1,1 e 3,7% dos indivíduos encontradas no ASP e AG, respectivamente. *L. leucocephala*, *Z. mays* e *G. cepium* são plantas exóticas também presentes nas subparcelas do ASP. Em algumas áreas, foi observada grande ocorrência de indivíduos juvenis das espécies arbóreas/arbustivas, *Cordia oncocalyx*, *Combretum leprosum*, *Croton blachetianus*, *Jatropha pohlian*, *Caesalpineia gardnariana* e *Mimosa caesalpinifolia*. A ocorrência dessas espécies no estrato herbáceo foi mais freqüente nas áreas de

pousio (P6 e P9) e na área de caatinga conservada (CAT). Nesta última, cerca de 33% dos indivíduos encontrados nas parcelas de 1 m<sup>2</sup> eram de *C. oncocalyx*.

Nas áreas em pousio (P6 e P9), e na área de CAT, *C. virginica* foi a espécie de maior densidade, sendo observada em 90% das parcelas amostradas nessas áreas. *C. virginica* também foi amostrada nas áreas sob manejo (ASP, SP e AG), porém com frequência bem menor que a observada nas áreas em pousio e sob caatinga conservada.

**Tabela1.2.** Famílias e espécies (nome comum) encontradas nos estratos herbáceo e arbóreo/arbustivo nos sistemas agrícolas agroflorestais, tradicionais em cultivo e em diferentes épocas de pousio e de caatinga conservada, em Sobral-CE, 2010

Família Espécies	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
<b>Estrato herbáceo</b>						
Amaranthaceae						
<i>Alternanthera ficoidea</i> (L.) R. Br. (erivâncio)	x	x	x	x		X
<i>Amaranthus</i> sp. (breedo)		x	x	x	x	X
Araceae						
<i>Anaphyllopsis</i> sp. (milho de cobra)	x	x		x	x	X
Asteraceae						
<i>Bidens bipinnata</i> cf. L. (carrapicho agulha)	x	x		x		
Boraginaceae						
<i>Heliotropium indicum</i> L. (crista de galo)		x	x			
Commelinaceae						
<i>Commelina nudiflora</i> L. (marianinha)	x	x	x	x		
<i>Commelina virginica</i> L. (remela de cachorro)	x	x	x	x	x	X
Convolvulaceae						
<i>Ipomoea</i> sp. (retirana)		x	x	x	x	X
Cyperaceae						
<i>Rhynchospora contracta</i> (barba de bode)	x				x	
Fabaceae						
<i>Cassia tora</i> L. (CAT pasto)	x	x	x	x		
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth (mato azedo)		x	x	x		X
Labiatae						
<i>Hyptis suaveolens</i> Poit. (bamburral)		x	x	x		
Malvaceae						
<i>Sida cordifolia</i> L. (malva rasteira)		x	x	x	x	X
<i>Wissadula subpeltata</i> cf (Kuntze) R.E.Fr (paco paco)		x	x		x	
<i>Herissantia tiubae</i> (k.Sch.) Briz (melosa)		x		x	x	X
Oxalidaceae						
<i>Oxalis martiana</i> Zucc. (azedinha)					x	
<i>Oxalis</i> sp (trevo)		x				
Poaceae						
<i>Aristida adscensionis</i> L.			x			
<i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitch. (milhã)	x	x	x	x	x	X
<i>Chloris</i> sp. (capim de rodes)	x	x				
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Beauv. (pé de galinha)			x	x		
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.			x			
<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beauv. (rabo de cahorro)			x			
Turneraceae						
<i>Turnera subulata</i> cf sm.	x					
Rubiaceae						
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.F.W. Meyer (vassoura da botão)			x	x	x	x
Scrophulariaceae						
<i>Scoparia dulcis</i> L. (vassourinha)			x			
Urticaceae						
<i>Urtica</i> sp. (urtiga)		x		x	x	x
Verbenaceae						
<i>Stachtarphetta</i> sp (camará de chumbo)		x	x	x	x	x

Continua ...

**Tabela 1.2.** Continuação ...

Família Espécies	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
<b>Estrato arbóreo/arbustivo</b>						
Anacardiaceae						
<i>Myracrodrum urundeuva</i> Allemão (Aroeira)						x
Apocynaceae						
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. (pereiro)	x					
Boraginaceae						
<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão (pau branco)	x	X		x	x	x
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. (Frei Jorge)		X		x	x	
Caesalpiniaceae						
<i>Bauhinia cheilantha</i> Bong (mororó)	x			x	x	x
<i>Caesalpineia ferrea</i> Mart. (jucá)	x					
<i>Caesalpineia gardneriana</i> Benth (catingueira)	x	X		x	x	x
Combretaceae						
<i>Combretum leprosum</i> Baill (mufumbo)				x	x	x
Euphorbiaceae						
<i>Croton blachetianus</i> Mart. (marmeleiro)				x	x	x
<i>Manihot glaziovii</i> Müll Arg. (maniçoba)				x	x	X
Fabaceae						
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Smith (cumaru)	x	X			x	
Mimosaceae						
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenam (angico)				x	x	
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth (sabiá)	x			x	x	X
<i>Mimosa hostilis</i> Benth. (jurema preta)		X		x	x	
Rhamnaceae						
<i>Zyzyphus joazeiro</i> Mart. (juazeiro)	x				x	

ASP: sistema agrossilvipastoril; SP: sistema silvipastoril; AG: cultivo tradicional; P6: cultivo tradicional em pousio de seis anos; P9: cultivo tradicional em pousio de nove anos; CAT: caatinga conservada.

**Tabela 1.3.** Densidade absoluta (DA) e frequência absoluta (DA) das dez espécies herbácea e arbóreas/arbustivas mais representativas dos sistemas agrícolas agroflorestais, tradicionais em cultivo e em diferentes épocas de pousio e caatinga conservada, em Sobral-CE, 2010

<b>Estrato herbáceo</b>						
Espécie	Densidade absoluta (ind m <sup>-2</sup> )					
	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
<i>Alternanthera ficoidea</i>	36,7	3,0	4,4	0,8	-	2,9
<i>Amaranthus</i> sp	-	120,3	29,6	8,0	1,6	1,2
<i>Anaphyllopsis</i> sp	0,2	-	-	0,7	0,6	1,2
<i>Aristida adscensionis</i>	-	-	22,8	-	-	-
<i>Bidens bipinnata</i>	0,1	5,3	-	0,8	-	-
<i>Brachiaria plantaginea</i>	1,5	10,6	36,6	12,4	3,0	5,3
<i>Commelina nudiflora</i>	16,5	-	9,1	5,8	-	-
<i>Commelina virginica</i>	8,5	13,8	4,4	16,9	7,1	9,8
<i>Herissantia tiubae</i>	-	3,6	-	1,4	1,4	5,4
<i>Hyptis suaveolens</i>	-	146,5	-	2,1	0,3	-
<b>Total</b>	<b>68,0</b>	<b>328,0</b>	<b>154,0</b>	<b>74,0</b>	<b>27,0</b>	<b>54,0</b>
Frequência absoluta (%)						
<i>Alternanthera ficoidea</i>	100	30	30	30	-	50
<i>Amaranthus</i> sp	-	90	80	60	50	30
<i>Anaphyllopsis</i> sp	20	-	-	40	50	30
<i>Aristida adscensionis</i>	-	-	50	-	-	-
<i>Bidens bipinnata</i>	10	70	-	30	-	-
<i>Brachiaria plantaginea</i>	10	100	100	70	50	60
<i>Commelina nudiflora</i>	80	-	20	40	-	-
<i>Commelina virginica</i>	30	50	30	90	90	90
<i>Herissantia tiubae</i>	-	40	-	70	60	90
<i>Hyptis suaveolens</i>	-	100	-	50	20	-
<b>Estrato arbóreo/arbustivo</b>						
Espécie	Densidade absoluta (ind ha)					
	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
<i>Amburans cearensis</i>	10	10	-	-	-	-
<i>Anadenanthera colubrina</i>	-	-	-	129	71	-
<i>Bauhinia cheilantha</i>	10	-	-	86	443	30
<i>Caesalpineia gardneriana</i>	50	10	-	486	600	60
<i>Combretum leprosum</i>	-	10	-	286	700	430
<i>Cordia oncocalyx</i>	70	90	-	229	429	670
<i>Cordia trichotoma</i>	-	20	-	57	671	-
<i>Croton blachetianus</i>	-	-	-	71	1300	210
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	10	-	-	700	443	500
<i>Mimosa hostilis</i>	-	30	-	129	71	-
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>170</b>	<b>0</b>	<b>2243</b>	<b>4799</b>	<b>1950</b>
Frequência absoluta (%)						
<i>Amburans cearensis</i>	10	10	-	-	-	-
<i>Anadenanthera colubrina</i>	-	-	-	43	43	-
<i>Bauhinia cheilantha</i>	10	-	-	29	71	30
<i>Caesalpineia gardneriana</i>	30	10	-	86	100	20
<i>Combretum leprosum</i>	-	10	-	86	100	70
<i>Cordia oncocalyx</i>	60	50	-	86	100	90

Continua...

**Tabela 1.3.** Continuação...

Espécie	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
	Frequência absoluta (%)					
<i>Cordia trichotoma</i>	-	20	-	29	86	-
<i>Croton blachetianus</i>	-	-	-	14	86	30
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	10	-	-	100	86	90
<i>Mimosa hostilis</i>	-	20	-	71	57	-

ASP: sistema agrossilvopastoril; SP: sistema Silvopastoril; AG: cultivo tradicional; P6: cultivo tradicional em pousio de seis anos; P9: cultivo tradicional em pousio de nove anos; CAT: caatinga conservada

### 1.3.2. Flora arbórea/arbustiva

No estrato arbóreo/arbustivo foram identificadas 15 espécies pertencentes a 12 gêneros e nove famílias (Tabela 1.2). Foram observadas quatro espécies de ampla ocorrência nas áreas estudadas (*Cordia oncocalyx*, *Caesalpineia gardneriana*, *Mimosa caesalpinifolia* e *Bauhinia cheilantha*), exceto em AG (Tabela 1.2). Caesalpinaceae e Mimosaceae foram as famílias com maior número de gêneros e espécies, ambas com dois gêneros e três espécies (Tabela 1.2).

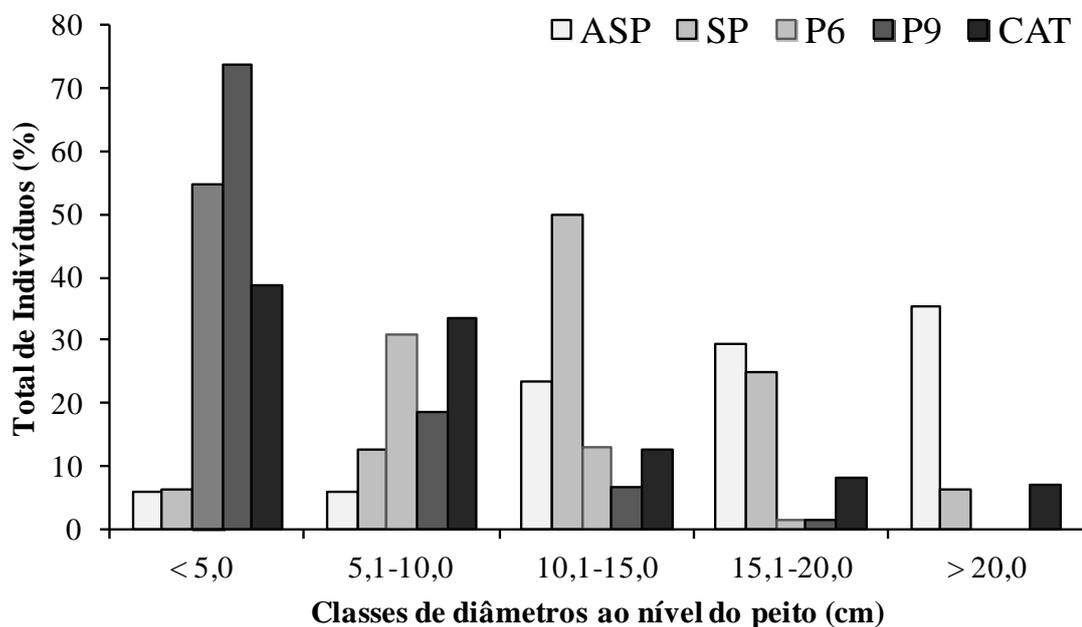
Das oito espécies observadas na CAT, apenas quatro foram encontradas também no ASP e duas no SP. A espécie *C. oncocalyx* representa 36; 39 e 62% dos indivíduos encontrados na CAT, ASP e SP, respectivamente, com 90% de frequência absoluta na CAT, 60% no ASP e 50% no SP (Tabela 1.3). Nas áreas em pousio, os indivíduos de *C. oncocalyx* representam 16% do total de indivíduos observados em P6 e 9% no P9, com frequência absoluta de 86 e 100%, respectivamente. Duas outras espécies que tiveram grande representatividade na área sob caatinga e não ocorreram ou foram pouco representativas nas áreas de SAFs foram a *Combretum leprosum* e *Mimosa caesalpinifolia*. Em contrapartida, *Aspidosperma pyriforme*, *Cordia alliodora*, *Amburana cearensis*, *Caesalpineia ferrea* e *Ziziphus joazeiro* foram encontradas nas áreas em pousio e nas áreas de SAFs, apesar de não terem sido observadas na área sob caatinga conservada.

Depois de *C. oncocalyx*, as espécies da maior frequência absoluta foram *C. gardneriana* e *C. férrea*, no ASP, *M. hostilis* e *C. trichotoma*, no SP, e *M. caesalpinifolia* e *C. leprosum* na CAT. Nas áreas de pousio, as espécies de maior frequência foram *M. caesalpinifolia*, *C. gardneriana*, *C. leprosum* e *C. oncocalyx*, (frequência superior a 85%) no P6, e *C. blachetianus*, *C. leprosum*, *C. trichotoma*, *C.*

*gardneriana*, *M. caesalpinifolia* e *C. onocalyx* (frequência superior a 85%) no P9 (Tabela 1.3).

As áreas sob sistemas agroflorestais (agrossolvipastoril e silvipastoril) mantêm cerca de 9% da densidade arbórea observada na área sob caatinga conservada (Tabela 1.3). Por outro lado, o número de indivíduos por hectare aumentou 18% no P6 e 160% no P9 em relação a CAT.

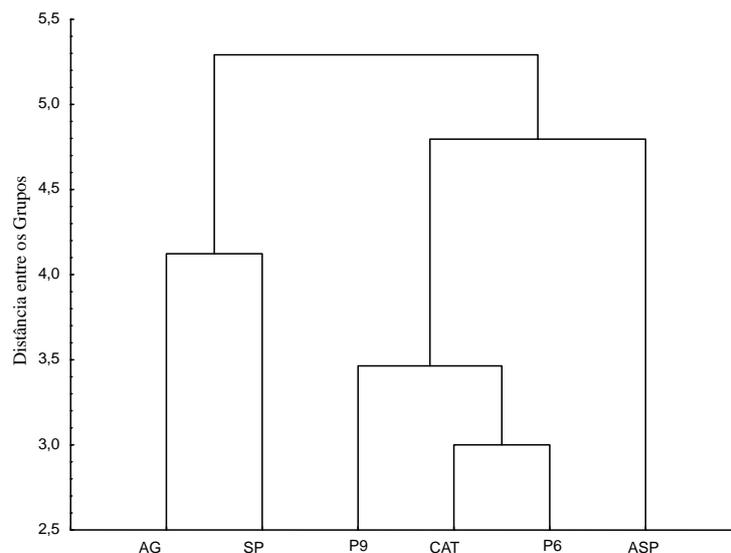
Quanto ao diâmetro (DAP), a comunidade de plantas lenhosas amostradas em todas as áreas variou de 0,95 a 46,15 cm, com médias de 17,0; 14,0; 5,7; 4,5; e 8,6 cm, para ASP, SP, P6, P9 e CAT, respectivamente. Nas áreas manejadas sob SAF, a maioria dos indivíduos apresenta diâmetro superior a 10 cm (Figura 1.1). No ASP, a classe > 20 cm foi a mais representativa, enquanto que no SP, a maior quantidade de indivíduos foi observada na classe 10,1 a 15,0 cm. Já nas áreas em pousio e na CAT, o maior número de indivíduos encontra-se na classe < 5,0 cm. Em P6, P9 e CAT, 54,9; 73,8 e 38,6% dos indivíduos encontram-se nessa classe, respectivamente. Todos os indivíduos encontrados em P6 e P9 tiveram diâmetros inferiores a 20 cm.



**Figura 1.1.** Distribuição das plantas amostradas no estrato arbóreo de acordo com DNP nos sistemas agrícolas agroflorestais (ASP e SP), tradicionais em diferentes épocas de pousio (P6 e P9) e caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE, 2010.

### 1.3.3 Similaridade florística

A área sob seis anos de pousio (P6) foi a que apresentou maior similaridade florística com a CAT, seguida de P9 e ASP (Figura 1.2). Estas áreas formam um grande grupo, que difere do grupo formado por SP e AG. Desta forma, pode-se afirmar que P6, P9 e ASP são as que mantêm maior quantidade de espécies encontradas na caatinga conservada (CAT), enquanto que o manejo imposto no silvipastoril e cultivo tradicional favorece modificações na composição de espécies



**Figura 1.2.** Similaridade florística baseada na análise de agrupamento entre os sistemas agrícolas agroflorestais (ASP e SP), tradicionais cultivado (AG), em diferentes épocas de pousio (P6 e P9) e caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE, 2010.

## 1.4 Discussão

### 1.4.1 Os SAFs mantêm estrutura e composição florística semelhante a vegetação nativa conservada?

Quanto ao estrato herbáceo, as capinas e a utilização do fogo, em AG, e o pastejo, no SP, podem ser os mecanismos responsáveis pela diferenciação dessas áreas em relação às demais. Maior densidade herbácea é esperada em ambientes antropizados, uma vez que a abertura da área favorece a colonização de novas espécies (Chandrasekaran; Swamy, 2002; Andrade et al., 2009;). É provável que o

pastejo, no SP, funcione como mecanismo seletor de espécies herbáceas, uma vez que o consumo de algumas espécies, preferidas pelos animais, favorece o aumento de densidade de outras (Pereira Filho et al., 2007). Por outro lado, a maior frequência de apenas duas espécies (*H. suaveolens* e *Amaranthus* sp.) sugere degradação da capacidade produtiva do pastejo. Desta forma, apesar de outros estudos indicarem boas condições de qualidade do solo para esta área (Maia et al., 2006, 2007; Nogueira et al., 2008; Aguiar et al., 2010), a capacidade da mesma em manter os animais pode estar sendo comprometida. Seriam necessários estudos mais detalhados sobre a capacidade produtiva (quantidade e qualidade) dos recursos forrageiros disponíveis, bem como avaliações da capacidade de recuperação natural via banco de sementes, para se comprovar este fato. Estudos realizados por Mamede e Araújo (2008) mostram que 67,8% do banco de sementes destas áreas é composto por espécies herbáceas e que a utilização do fogo reduz sua densidade e diversidade, porém não existem trabalhos que avaliem o efeito do pastejo sobre o banco de sementes destas áreas.

Assim como em SP, Milchunas e Lauenroth (1993) encontraram aumento de dominância (poucas espécies com grande frequência e densidade) em ambientes pastejados de diversas partes do mundo. Porém, em região semiárida da Austrália, Fensham et al. (2010) não observaram diminuição de riqueza de espécies em resposta à pressão de pastejo, indicando não haver degradação, nem perda de espécies no ecossistema pastejado. Para os autores acima citados, as espécies apresentam estratégias de vida efêmera em resposta às chuvas irregulares e esta estratégia tem se tornado mais efetiva como a pressão do pastejo, o que parece não estar ocorrendo em SP.

A espécie *A. adscensionis*, citada como de alta incidência em áreas pouco conservadas (Andrade et al., 2009) ocorreu exclusivamente na área de cultivo tradicional (AG), representando 14% dos indivíduos amostrados. Andrade et al. (2009) destacam Poaceae e Cyperaceae como as famílias mais expressivas no estrato herbáceo em áreas de caatinga, na região semiárida do Nordeste brasileiro. Porém, o mesmo não ocorreu em AG, pois enquanto observou-se o predomínio de Poaceae, nenhuma Ciperaceae foi observada nesta área. Espécies pertencentes a família das Poaceae, por terem dispersão anemocórica, e por se estabelecerem em ambientes abertos (alta luminosidade) encontrem nestes ambientes perturbados condições favoráveis ao seu desenvolvimento e estabelecimento (Gotelli, 2007).

Destaca-se que esta área bem como a de cultivo agroflorestal sofre capinas periódicas durante as fases iniciais e de estabelecimento das culturas, assim, o estrato herbáceo se encontra em constante fase de renovação, favorecendo a permanência de espécies mais adaptadas a estas condições.

As diferenças observadas entre as áreas manejadas e a caatinga conservada, em relação à composição de espécies, arbóreas/arbustivas reflete a seleção imposta pelo produtor, por seu potencial como fonte de alimento para os animais ou para produção de madeira, bem como pela toxicidade. A modificação da composição de espécies em áreas de manejo agroflorestal também foi observada por Anglaaere et al., (2011). De acordo com os sistemas de manejo propostos neste estudo, alguns indivíduos das espécies lenhosas forrageiras são rebaixadas, ficando fora dos critérios adotados para a amostragem das árvores (menor que 1,0 m), enquanto que espécies que tem suas folhas consumidas somente quando fenadas ou que produzem madeira útil são preservadas na forma arbórea (Araújo Filho; Carvalho, 2001). Mesmo ficando fora dos critérios de amostragem, os indivíduos rebaixados representam importante componente da biodiversidade do sistema. Estes servem como fonte de alimento para os animais, contribuem com aporte de matéria orgânica para o solo (Maia et al., 2007), devido o corte das rebrotações e auxiliam na manutenção da qualidade do solo pelo efeito de seus sistemas radiculares. Por outro lado, o raleamento seletivo das árvores alterou o padrão de distribuição diamétrica das árvores nas áreas sob manejo agroflorestal (ASP e SP). O predomínio de indivíduos de maiores diâmetros, nessas áreas indica a redução de indivíduos juvenis, o que pode comprometer a renovação natural do componente arbóreo/arbustivo da vegetação dessas áreas.

1.4.2 O tempo de pousio é suficiente é suficiente para recompor a composição florística e a estrutura da vegetação conservada?

Os períodos de pousio de seis e nove anos foram suficientes para recuperar a composição florística nas áreas após corte e queima (P6 e P9). Nessas áreas, outras espécies foram encontradas além daquelas que compõem a maioria presente na CAT. Quanto ao componente arbóreo, as espécies encontradas nessas áreas são semelhantes as observados em outras regiões de caatinga conservada (Amorim et al., 2005; Andrade et al., 2005; Santana; Souto, 2006; Cavalcante et al., 2009).

Contudo, a composição florística não é o principal indicativo de reestabelecimento da vegetação de uma área que sofreu corte e queima. Cavalcanti et al. (2009) apontam que 20 anos após corte e queima da vegetação, a mesma ainda se encontra em estágio de regeneração. Isso se deve, principalmente pelo aumento de densidade e ganhos em área basal e biomassa. Desta forma, as maiores densidade de plantas nas áreas em pousio (P6 e P9), e maior frequência de espécies como *C. blachetianus* e *C. leprosum* são indicativos de que as mesmas ainda se encontram em fase de recuperação, uma vez que estas espécies ocorrem em maior frequência em áreas de caatinga que sofreram cortes da vegetação.

As áreas em pousio são consideradas importantes reservatórios de biodiversidade, pois, muitas vezes, apresentam igual ou maior número de espécies que a vegetação nativa (Anglaere et al., 2011). A introdução de novas espécies nas áreas em pousio é favorecida pelo espaço aberto devido ao corte da vegetação, que permite a ocupação por novos indivíduos e espécies (Sampaio et al. 1998; Gotelli, 2007). A recolonização dessas áreas é facilitada devido à existência de áreas de vegetação conservada nas proximidades. Assim, mesmo se tratando de manejo que utiliza corte raso e queima, as áreas agrícolas em pousio (P6 e P9) constituem-se em ilhas, facilitando a dispersão vinda de áreas vizinhas que não foram afetadas pela perturbação. Almeida et al. (2009) também observaram possível influência de áreas de vegetação nativa sobre pequenas áreas de cultivo situadas nas proximidades. Provavelmente, quando existem grandes extensões de terras cultivadas com este manejo (corte e queima), o restabelecimento e a colonização com novas espécies podem ser mais demorados, uma vez que o banco de sementes em áreas queimadas é reduzido substancialmente em quantidade e diversidade (Mamede; Araújo, 2008), e o suprimento de novos indivíduos através da dispersão de propágulos por meio de áreas vizinhas torna-se menos provável por se tratar de uma área reduzida. Isso porque, de acordo com o equilíbrio da biogeografia de ilhas de MacArthur (Gotelli, 2007), seria necessária extensão de áreas conservadas maior que a cultivada para servir de reservatório fonte de espécies. Essa dispersão torna-se mais difícil em se tratando de espécies naturalmente menos abundantes, como é o caso de *Myracrodrum urundeuva* Allemão, observada somente na CAT. Destaca-se que esta espécie é bastante utilizada como medicinal (Albuquerque et al., 2007), sendo naturalmente de baixa densidade de indivíduos (Santos et al., 2008) e atualmente encontra-se ameaçada de extinção.

## 1.5 Conclusões

O manejo adotado nos sistemas agroflorestais (ASP e SP) promove modificações na estrutura e composição de espécies da comunidade vegetal, visto que favorece a presença de árvores com maiores diâmetros e reduz a densidade e frequência das espécies.

As perturbações impostas pelo manejo tradicional (AG) provoca modificações na composição florística das espécies herbáceas e altera a densidade e a frequência entre as espécies, favorecendo a introdução de espécies não presentes nos outros ambientes avaliados.

Os pousios de seis e nove anos promoveram recuperação da composição florística, porém a estrutura da vegetação ainda se apresenta diferente da área de caatinga conservada.

## Referências

Aguiar, M. I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A.; Oliveira, T.S., 2010. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforest Systems*, 79:277–289.

Albuquerque, U.P.; Monteiro, J.M.; Ramos, M.A.; Amorim, E.L.C., 2007. Medicinal and Magic plants from a public market in Northeastern Brazil. *Journal Ethnopharmacology*, 110:76-91.

Almeida, M.V.R.; Oliveira, T.S.; Bezerra, A.M.E., 2009. Biodiversidade em sistemas agroecológicos no município de Choró, CE, Brasil. *Ciência Rural*, 39:1080-1087.

Altieri, M. A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.74, n.1, p. 19–31, 1999.

Altieri, M. A., 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2:35-42, 2004.

Alves, J. J. A.; Araújo, M. A.; Nascimento, S. S., 2009. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, 22:126-135, 2009.

Amorim, I. L.; Sampaio, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L., 2005. Flora e estrutura da vegetação arbustiva-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta Botânica Brasilica*, 19:616-623.

Andrade, M. V. M.; Andrade, A.P.; Divan, S. S.; Bruno, R. L.A.; Guedes, D.S., 2009. Levantamento florístico e estrutura fitossociológica do estrato herbáceo e subarbustivo em áreas de caatinga no Cariri paraibano. *Revista Caatinga*, 22:229-237.

Anglaaere, L.C.N.; Cobbina, J.; Sinclair, F.L.; Mcdonald, M.A., 2011. The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforest Systems*, 81:249–265.

Araújo Filho, J.A., 2002. Histórico do uso dos solos da caatinga. PP. 329-337. In: 500 anos de uso do solo no Brasil (Araujo, Q.R., org.). Ilhéus: Editus.

Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C., 2001. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. PP.101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e sub tropicais (Carvalho, M.M.; Alvim, M.J.; Carneiro, J.C., Org.). Brasília: FAO.

Bhagwat, S. A.; Willis, K.J.; John, H.; Birks, B.; Whittaker, R.J., 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23:261-267.

Campanha, M.M.; Araújo, F.S.; Meneses, M.O.T.; Silva, V.M.R.; Medeiros, H.R., 2011. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral, CE. *Revista Caatinga*, 24:94-101.

Cavalcante, A.D.C.; Rodal, M.J.N.; Sampaio, E.V.S.B.; Costa, K.C.C., 2009. Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Botânica Brasiliense* 23:1210-1212.

Chandrasekaran, S.; Swamy, P.S., 2002. Biomass, litterfall and aboveground net primary productivity of herbaceous communities in varied ecosystems at Kodayar in the western ghats of Tamil Nadu. *Agriculture Ecosystems Environment*, 88:61-71.

Cole, M.M., 1960. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. *The Geografic Journal*, 126:168-179.

Fensham, R.J.; Fairfax, R. J.; Dwyer, J.M., 2010. Vegetation responses to the first 20 years of cattle grazing in an Australian desert. *Ecology*, 91:681–692.

Gotelli, N.J., 2007. Ecologia. Londrina: Editora Planta.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará., 2011. Perfil Básico Municipal, Sobral. Fortaleza: SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará.

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

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonca, E.S.; Araujo 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.

Mamede, M.A.; Araujo, F.S., 2008. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga in Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 72:458-470.

Milchunas, D.G.; Lauenroth, W.K., 1993. Quantitative Effects of Grazing on Vegetation and Soils Over a Global Range of Environments. *Ecological Monographs*, 63:327–366.

Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H., 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York: John Wiley & Sons, 547 p.

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. *Revista Ceres*, 55:327-337.

Pereira, I.M.; Andrade, L.A.; Barbosa, M.R.; Sampaio, E.V.S.B., 2002. Composição florística e análise fitossociológica do componente arbustivo-arbóreo de um remanescente florestal no agreste paraibano. *Acta Botanica Brasilica*, 16:357-369.

Pereira, I.M.; Andrade, L.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Barbosa, M.R.V., 2003. Use-history effects on structure and flora of caatinga. *Biotropica*, 35:154-165.

Pereira Filho, J.M. Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C.; Rego, M.C., 2007. Disponibilidade de fitomassa do estrato herbáceo de uma caatinga raleada submetida ao pastejo alternado de ovino-caprino. *Livestock Research for Rural Development*, 19, Disponível em: (<http://www.lrrd.org/lrrd19/1/pere19002.htm>) > Acesso em: 12 de agosto de 2009.

Rodal, M.J.N.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Figueiredo, M.A., 1992. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema Caatinga. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil. 24p.

Sá, I.B.; Riché, G.R.; Fortius, G.A., 2004. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. pp.17-36. In: Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. (Silva, J.M.C.; Tabarelli, M.; Fonseca, M.T.; Lins, L.V., org.) Brasília: Ministério do Meio Ambiente: UFPE.

Sampaio, E.V.S.B.; Araujo, 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.

Santana, J.A.S.; Souto, J.S., 2006. Diversidade e estrutura fitossociológica da Caatinga na estação ecológica do Seridó-RN. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6:232-242.

Santos, J.P.; Araújo, E.L.; Albuquerque, U.P., 2008. Richness and distribution of useful oody plants in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 72:652-663.

Souza, H.N.; Cardoso, I.M.; Fernandes, J.M.; Garcia, F.C.P.; Bonfim, V.R.; Santos, A.C.; Carvalho, A.F.; Mendonça, E.S., 2010. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Coastal Rainforest biome. *Agroforestry Systems*, 80:1-16.

Tilman, D.; Reich, P. B.; Knops, J.M.H., 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade – long grassland experiment. *Nature*, 441:629–632.

Vandermeer, J.; Perfecto, I., 2007. The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation. *Conservation Biology*, 21:274–277.

## CAPÍTULO 2 - A PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM COMUNIDADES VEGETAIS DEPENDE DE SUA DIVERSIDADE VEGETAL?<sup>1</sup>

M. I. AGUIAR<sup>2;3</sup>; J. S. FIALHO<sup>2;4</sup>; F. C. S. ARAÚJO<sup>2</sup>; M. M. CAMPANHA<sup>5</sup>; T. S. OLIVEIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Manuscrito publicado em inglês na revista *Agroforestry Systems* (ISSN 0167-4366), sob o título "Does biomass production depend on plant community diversity?" (DOI 10.1007/s10457-012-9590-9)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará; <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí;

<sup>4</sup>Universidade Estadual do Ceará; <sup>5</sup>Embrapa Milho e Sorgo; <sup>6</sup>Universidade Federal de Viçosa

**RESUMO** - Para manter a sustentabilidade dos agroecossistemas, buscam-se sistemas agrícolas que priorizem a biodiversidade, exemplo dos sistemas agroflorestais (SAFs) que mantêm árvores em sua composição. Este estudo avaliou a diversidade e a produção de biomassa vegetal com o objetivo de verificar se áreas em pousio após monocultivo tradicional retornam a sua condição inicial; e se os SAFs são semelhantes a vegetação conservada quanto a diversidade e a produção de biomassa. Objetivou-se, também verificar a influência da diversidade sobre a produção de biomassa das comunidades vegetais e da população de maior importância (*Cordia oncocalyx*). Foram avaliadas a diversidade (riqueza de espécies, índices de Shannon (H') e de Pielou (J')) e a biomassa das plantas presentes em dois SAFs: agrossilvipastoril (ASP) e silvipastoril (SP), um sistema de manejo tradicional (AG), áreas em pousio de seis (P6) e nove (P9) anos e uma área de caatinga conservada (CAT). Observou-se que a área sob ASP apresentou a menor diversidade e número de espécies, principalmente as espécies arbóreas, porém manteve a produtividade de biomassa semelhante a CAT. A área SP, apesar da menor diversidade (H' e J'), tem o número de espécies semelhante a CAT e aos tradicionais cultivado (AG) e em pousio (P6 e P9), porém promove menor produtividade. P6 e P9 recuperaram a produtividade de biomassa vegetal tal como a da vegetação conservada, porém apresentam-se diferentes da CAT quanto aos índices de diversidade. Não houve efeito da diversidade vegetal sobre a produtividade dos agroecossistemas. Da mesma forma, a produção anual de biomassa por *Cordia oncocalyx* independe da diversidade, porém se altera de acordo com o estágio de desenvolvimento dos indivíduos.

**Palavras chaves:** Agroecologia. Diversidade Vegetal. Sistemas Agroflorestais. Semiárido.

## **DOES BIOMASS PRODUCTION DEPEND ON PLANT COMMUNITY DIVERSITY?**

**ABSTRACT** - In order to ensure the sustainability of agroecosystems, biodiversity must be a priority. Agroforestry, which includes trees, is an example of such diverse systems. We evaluated plant diversity and aboveground biomass production to assess whether areas under fallow following traditional cultivation return to their initial condition. Also, plant diversity and aboveground biomass production were assessed in agroforestry systems (AFS) to determine if these were similar to unmanaged ecosystems. Another objective of the study was to observe the influence of plant diversity on aboveground biomass production in plant communities and also in the population of the dominant species, *Cordia oncocalyx*. Plant diversity was evaluated by assessing species richness, as well as using Shannon's ( $H'$ ) and Pielou's ( $J'$ ) indices. Aboveground plant biomass was evaluated in two AFS: agrosilvopastoral (ASP) and silvopastoral (SP), and also in a traditionally managed agricultural system (AG), areas that had been under fallow for six years (F6) and nine years (F9) and an area of unmanaged caatinga (CAT) vegetation. We observed that the ASP system had a lower diversity and number of species, especially tree species. However, it sustained the same total biomass production as CAT and fallow areas. The SP system, despite having lower  $H'$  and  $J'$  indices as well as lower total biomass production, had a similar number of species to CAT and cropped and fallow systems AG, F6 and F9. Plant biomass in F6 and F9 had recovered to productivity levels of unmanaged CAT vegetation; however the diversity indices were not restored to the same level. Plant diversity did not have an effect on the productivity of the agroecosystems. Likewise, annual biomass production by *C. oncocalyx* is not dependent upon diversity, but it is influenced by the growth stage of individuals.

**Keywords:** Agroecology. Diversity index. Agroforestry systems. Semiarid.

### **2.1. Introdução**

Diversos autores têm estudado a diversidade levando em consideração seu valor econômico e sua influência no funcionamento eficiente de alguns ecossistemas (Swift; Izac; Noordwijk, 2004; Tilman; Polasky; Lehman, 2005; Smukler et al., 2010).

Nesses estudos, um dos aspectos mais utilizados como parâmetro para avaliar o funcionamento dos ecossistemas é a produtividade de biomassa. De acordo com Lehman e Tilman (2000), à medida que aumenta a diversidade vegetal, aumenta a produtividade da comunidade, embora exista a possibilidade de redução da produtividade por espécie.

Experimentos realizados em campo com plantas anuais mostraram que o efeito benéfico da diversidade sobre a produtividade torna as comunidades mais eficientes no uso de seus recursos, principalmente nutrientes do solo e, por isso, as comunidades heterogêneas são superiores em produtividade em relação às monoculturas (Tilman; Pacala, 1993; Smith; Gross; Robertson, 2008). Já Tilman et al. (2005) enfatizam que a diminuição da diversidade local pode levar a menor produtividade do ecossistema e menor estabilidade temporal. O aumento da diversidade pode levar a maior eficiência do uso de recursos limitados (Wilsey; Potvin 2000; Keer; Zedler 2002; Tilman et al., 2005) , bem como a maior resistência ou resiliência às perturbações ao longo do tempo (Tilman; Downing, 1994; Tilman et al., 2005; Nakamura, 2008).

A diversidade favorece a produtividade porque a coexistência de diversas espécies permite a ocorrência de mecanismos como complementaridade funcional e facilitação, o que possibilita a partilha de recursos, a mitigação de efeitos ambientais severos e os suprimentos de recursos de uma espécie para outra (Nakamura, 2008). Os efeitos negativos da competição, que podem acarretar menor produtividade por espécie, são compensados pela complementariedade e/ou facilitação, permitindo maior produtividade da comunidade (Lehman; Tilman, 2000). Sendo assim, espera-se que em sistemas agroflorestais (SAFs), onde culturas anuais são consorciadas com árvores e/ou animais, a produtividade seja favorecida pelo efeito da diversidade, uma vez que haverá melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço (Nair, 1993).

Sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser definidos como uma forma de múltiplos cultivos de espécies anuais ou perenes em consórcio com árvores (Somarriba, 1992). Contudo, diversos modelos de SAFs são adotados em todo o mundo e a diversidade dentro desses sistemas pode variar consideravelmente. Souza et al. (2012) estudaram SAFs que utilizam árvores nativas da Mata Atlântica e concluíram que os mesmos são agroecossistemas diversificados que favorecem a biodiversidade, conciliada à produção de café. Vários outros estudos avaliam a

diversidade em sistemas agroflorestais, a exemplo de Bhagwat et al. (2008), Anglaaere et al. (2011) e Assogbadjo et al. (2012). Outros pesquisaram a produtividade das espécies agrícolas cultivadas sob SAF, sem uma relação direta com a diversidade (Ogol et al., 1999; Singh; Mutha; Bala 2007; Deheuvels et al 2012), No entanto, faltam estudos que avaliem a produção de biomassa total dos SAFs, incluindo a biomassa das árvores, e sua relação com a diversidade mantida nesses agroecossistemas. Estudos dessa natureza podem esclarecer aspectos ecológicos relacionados com o efeito da diversidade sobre as funções do agroecossistema (Smith; Gross; Robertson, 2008), bem como favorecer a adoção de sistemas agrícolas que constituam locais de conservação da biodiversidade (Vandermeer; Perfecto, 2007).

Neste sentido, Araújo Filho e Carvalho (2001) propuseram um modelo de SAF alternativo aos sistemas de cultivos locais do semiárido brasileiro. Nesses sistemas, a produção agroflorestal de grãos integrada a criação de caprinos ou ovinos pode manter o ambiente conservado, permitindo a manutenção das espécies arbóreas nativas da região (Campanha et al., 2011). Já o modelo tradicional vem causando grande perda de biodiversidade, pois é caracterizado pelo desmatamento e queima de toda vegetação, seguido de cultivo por dois ou três anos consecutivos. Depois do cultivo a área é deixada em pousio por aproximadamente 10 anos, sendo geralmente utilizada para pastejo (Araújo Filho, 2002). Alguns estudos foram feitos comparando os SAFs propostos por Araújo Filho e Carvalho (2001) com os modelos tradicionais. Estes estudos mostram efeitos benéficos dos SAFs para a qualidade do solo (Maia et al., 2006, 2007, 2008; Nogueira et al., 2008; Aguiar et al., 2010; Silva et al., 2011). Porém ainda não se sabe como a diversidade vegetal mantida nessas áreas interfere na produção de biomassa das comunidades de plantas.

Assim, objetivou-se: (i) avaliar a diversidade vegetal e a produtividade de dois sistemas de manejo agroflorestais, um sistema de monocultivo tradicional, duas áreas em pousio de seis e nove anos e uma área sob vegetação nativa de caatinga conservada; (ii) verificar a influência da diversidade (riqueza de espécies e diversidade de Shannon) sobre a produtividade da comunidade de árvores/arbustos e herbáceas nessas áreas; e, (iii) verificar o efeito da diversidade sobre o crescimento em biomassa de *Cordia oncocalyx*.

## 2.2. Material e métodos

### 2.2.1 Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da EMBRAPA, situada em Sobral, Ceará. A temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais do município de Sobral são 27°C e 821 mm (IPECE, 2011), respectivamente. Na área do experimento (9582600S – 9583600S e 352200W – 352800S) a precipitação pluviométrica anual média dos últimos 10 anos foi de 989 mm, distribuída principalmente entre os meses de janeiro a junho, porém com 67% do volume precipitado entre os meses de fevereiro e abril. O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen (Brasil, 1981). O solo da área é representado por manchas de Luvisolos Crômico Órtico típico e Hipocrômico Órtico típico (Aguiar et al., 2010). A vegetação é composta por uma savana caducifólia espinhosa, regionalmente conhecida como Caatinga (Cole, 1960).

Desde 1997, na Fazenda Crioula, mantém-se um experimento de longa duração que avalia SAFs como sistemas de produção sustentáveis propostos alternativamente aos sistemas tradicionais da região (Araujo Filho; Carvalho, 2001). Dentro desse experimento, comparou-se os sistemas de manejo: Agrossilvopastoril (ASP), onde se cultiva milho e sorgo em aléias formadas por leucena ou gliricídia, que são utilizadas como banco de proteínas para caprinos e ovinos; Silvopastoril (SP), áreas de pastejo para caprinos e ovinos, composta por árvores nativas da caatinga, que foi raleada e rebaixada, para permitir melhor desenvolvimento das espécies herbáceas; Cultivo tradicional (AG), plantio de milho e sorgo em monocultura; Pousio de seis e nove anos (P6 e P9), áreas que foram cultivadas tradicionalmente com milho em monocultura e deixadas em pousio a seis e nove anos, respectivamente; e, caatinga conservada (CAT), área sob vegetação nativa conservada, que constitui a reserva legal. Os sistemas de cultivo e o histórico de manejo das áreas citadas acima estão descritos na Tabela 2.1 e a caracterização do solo, em cada manejo, na Tabela 2.2. Os agroecossistemas avaliados são adjacentes uns aos outros, sendo separados por corredores de aproximadamente 1,5 m de largura (Figura 2.1).

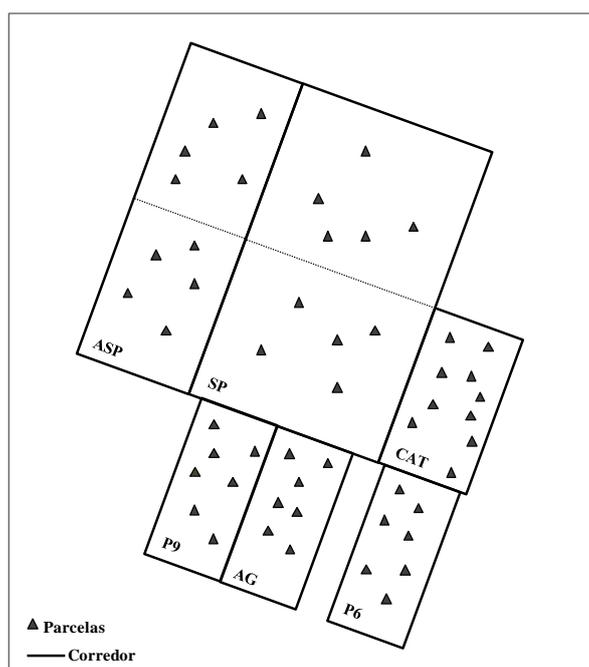
**Tabela 2.1.** Descrição dos sistemas agroflorestais estudados, sistemas de cultivo tradicionais e vegetação nativa conservada

Áreas	Sistemas de cultivo	Histórico e manejo do solo
<i>Agrossilvipastoril</i> (ASP) (3,5 ha)	Cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) (estação chuvosa) em aléias formadas por leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) R. de Wit.) e gliricídia ( <i>Gliricida Sepium</i> (Jacq.) Steud). As leguminosas (leucena e gliricídia) são podadas, duas vezes ao ano, permanecendo sempre como subarbustos. Durante o período seco, a área é utilizada como banco de proteínas para as matrizes ovinas (22) e caprinas (17), que permanecem na área uma hora por dia.	Em 1997 foi realizado rebaixamento e raleamento da vegetação nativa com preservação de 20% da cobertura vegetal arbórea (200 árvores ha <sup>-1</sup> ). Foram formadas as aleias de leucena a cada 3 metros, perpendicular ao declive predominando. Em 2005, parte das leucenas foram substituídas por gliricídias e iniciou-se o cultivo de sorgo. O controle de plantas herbáceas é realizado utilizando-se capinas manuais (com enxada). O esterco colhido nos apriscos é utilizado como adubo para esta área. A área é sub dividida em duas subáreas para produção caprina e ovina, respectivamente.
<i>Silvipastoril</i> (SP) (5,2 ha)	Pastagem nativa para um rebanho de 20 matrizes caprinas e 20 matrizes ovinas, alocadas, respectivamente, em duas subáreas.	Em 1997 a vegetação lenhosa foi raleada e rebaixada, preservando, aproximadamente, 38% da cobertura vegetal arbórea (260 árvores ha <sup>-1</sup> ). Anualmente é feito uma poda das rebrotações das plantas rebaixadas.
<i>Cultivo Tradicional</i> (AG) (1,0 ha)	Monocultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) no período chuvoso de 2010.	Em 2009 (final do período seco), foi feito desmatamento seguido de queima de toda a vegetação. No início do período chuvoso de 2010 foi realizado o preparo manual do solo (com enxada) e plantio das culturas.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de seis anos</i> (P6) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2002 e 2003, seguido de pastejo por 10 matrizes caprinas (período seco).	Desmatamento e queima de toda a vegetação em 2001, preparo manual do solo e cultivo de milho em 2002 e 2003. Durante os dois anos, após a colheita, um rebanho de 10 matrizes caprinas tiveram acesso a área para consumirem os restos vegetais, e a partir de 2004, a área foi deixada em pousio, permitindo a regeneração da vegetação nativa.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de nove anos</i> (P9) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2000 e 2001, seguido de pastejo por 10 matrizes caprinas (período seco).	Desmatamento e queima de toda a vegetação em 1999, preparo manual do solo e cultivo de milho em 2000 e 2001. Durante os dois anos, após a colheita, um rebanho de 10 matrizes caprinas tiveram acesso a área para consumirem os restos vegetais, e a partir de 2002, a área foi deixada em pousio, permitindo a regeneração da vegetação nativa.
<i>Vegetação nativa</i> (CAT) (1,2 ha)	Vegetação de Caatinga, utilizada como referência para as áreas manejadas. Faz parte do modelo agroflorestal proposto por Araújo Filho e Carvalho (2001)	Vegetação conservada (mais de 50 anos), com registros de corte de algumas árvores anterior a 1981 e pastejo eventual no final do período seco e início do chuvoso.

**Tabela 2.2.** Caracterização do solo (0,0-0,2 m) nas áreas de manejo agroflorestal, cultivo tradicional, pousios vegetação nativa conservada

Característica do solo	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	633,0	557,0	610,0	463,0	573,0	537,0
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	173,0	200,0	183,0	207,0	240,0	203,0
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	193,0	243,0	207,0	330,0	187,0	260,0
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1
COT (g kg <sup>-1</sup> )	11,3	21,7	14,7	17,2	15,7	16,5
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,1	1,6	1,2	1,4	1,2	1,5
P (mg dm <sup>-3</sup> )	14,7	3,7	10,6	11,7	2,4	3,4
pH em H <sub>2</sub> O	6,8	6,4	6,9	6,7	6,2	6,5
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,7	11,4	12,6	22,1	8,5	15,2
V (%)	91,5	79,6	87,8	93,8	74,4	87,0

ASP: agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; AG: cultivo convencional; P6: área de cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: área de cultivo tradicional em pousio a nove anos; CAT caatinga conservada. Ds: densidade do solo; COT: Carbono orgânico total (Yeaman; Bremner, 1988); P: fósforo total, Extrator Mehlich<sup>-1</sup>(Defelipo; Ribeiro, 1981) pH: 1:2,5; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.



**Figura 2.1.** Representação esquemática dos agroecossistemas avaliados. Parcelas onde se avaliou a diversidade e a biomassa das plantas (▲). ASP: agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; AG: cultivo convencional; P6: área de cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: área de cultivo tradicional em pousio a nove anos; CAT caatinga conservada.

### 2.2.2 Diversidade vegetal

Para avaliação da diversidade vegetal adotou-se o método de parcelas (Mueller-Dombois; Ellenberg, 1974), de acordo com o qual, dez parcelas foram delimitadas aleatoriamente nas áreas ASP, SP e CAT, e sete parcelas nas áreas AG, P6 e P9. Para determinação do componente arbóreo/arbustivo utilizou-se parcelas de 10 m por 10 m (100 m<sup>2</sup>), enquanto que o componente herbáceo foi analisado em subparcelas de 1 m por 1 m (1 m<sup>2</sup>), alocadas dentro das parcelas de 100 m<sup>2</sup>. No componente arbóreo/arbustivo da vegetação foram consideradas todas as árvores/arbustos com perímetro do caule no nível do solo (PNS) ≥ 9 cm e altura maior ou igual a um metro, enquanto, que, no herbáceo avaliaram-se as plantas inferiores a um metro de altura, com caule verde, sem ou com baixo nível de lignificação na parte aérea (Rodal et al.,1992). Obedecendo-se a estes critérios, todas as plantas presentes dentro das parcelas foram contadas e identificadas. Plantas com perfilhos foram consideradas como um indivíduo quando apresentaram base comum no nível ou acima do solo (Rodal et al.,1992).

Para estudo da diversidade foi calculado riqueza de espécies (Magurran, 2004), que quantifica o número de espécies presentes em cada área, índice de equabilidade de Pielou (J') que retrata a distribuição dos indivíduos dentro das espécies, e índice de Shannon (Magurran, 2004), que considera a riqueza de espécies e sua abundância relativa. A riqueza de espécies (S) foi obtida pela soma de todas as espécies presentes nas parcelas. Os índices de Shannon (H') e Pielou (J') foram obtidos pelas equações 1 e 2, respectivamente. Inicialmente, os índices foram calculados para os estratos arbóreo/arbustivo e herbáceo, separadamente. Em seguida os mesmos foram calculados considerando a soma de todos os indivíduos e espécies encontrados a fim de se obter a diversidade vegetal total dos sistemas.

$$H' = -\sum_{e=1}^S pe \times \ln(pe) \dots\dots\dots (1)$$

onde:  $H'$  = índice de Shannon,  $pe$  = abundância relativa da espécie ( $pe = \frac{ne}{N}$ ),  $ne$  = número de indivíduos da espécie  $e$ ,  $N$  = número total de indivíduos e  $S$  = número total de espécies.

$$J' = \frac{H'}{\text{Log}S} \dots\dots\dots (2)$$

onde:  $J'$  = índice de Pielou;  $H'$  = índice de Shannon e  $S$  = número total de espécies.

### 2.2.3 Produção de biomassa

A biomassa aérea produzida pelas espécies arbóreas/arbustivas foi obtida empregando-se equações alométricas a partir de medidas do diâmetro ao nível do peito (Silva; Sampaio, 2008). Todos os indivíduos presentes nas parcelas de 100 m<sup>2</sup>, descritas para avaliação da diversidade, tiveram os diâmetros a 1,3 m do solo (diâmetro ao nível do peito - DAP) medidos no início (janeiro) e no final (agosto) dos períodos chuvosos de 2010 e 2011, totalizando quatro medições. A biomassa contida nas árvores foi estimada utilizando-se as equações propostas por Silva e Sampaio (2008):  $B = 0,2368 \text{ DAP}^{2,219}$  (para espécies de grande porte) e  $B = 0,2627 \text{ DAP}^{1,9010}$  (para espécies de pequeno porte), onde B=biomassa (kg) e DAP = diâmetro ao nível do peito (cm). A biomassa total acumulada nas áreas foi composta pelo somatório de todas as plantas amostradas e a produção de biomassa em cada período foi obtida pela diferença entre cada medição em relação a anterior.

A biomassa aérea das espécies herbáceas foi obtida utilizando-se uma moldura de 1 m<sup>2</sup> para delimitar a área da qual todas as plantas foram cortadas ao nível do solo. Para coleta das plantas a moldura foi alocada sempre em uma das extremidades das parcelas de 100 m<sup>2</sup>. O material coletado foi levado para estufa a 65°C, por 72 horas e, em seguida, pesado para obtenção da massa seca total, produzida durante o período avaliado. A coleta da biomassa das plantas herbáceas foi realizada durante os períodos chuvosos de 2010 e 2011.

### 2.2.4. Análise dos dados

Para análise dos dados, as parcelas foram consideradas como amostras da população representada pela área total sob cada sistema de manejo avaliado. As áreas foram comparadas por meio de análise de variância seguida de teste Tukey com nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 (Martins; Santos, 1999).

A regressão linear, indicada para descrever a relação entre uma variável preditora e uma variável resposta (Gotelli; Ellison, 2004) foi utilizada para evidenciar se a produção de biomassa aérea é dependente da diversidade de plantas. Nesta análise a diversidade, variável preditora, foi representada pelo Índice de Shannon e riqueza de espécies. Além da diversidade outros fatores podem influenciar a produção de biomassa aérea das comunidade de plantas, como, por exemplo a densidade de indivíduos, devido a competição por recursos (Tilman et al., 2005).

Desta forma, avaliou-se, também, efeito da densidade de plantas sobre a produtividade da comunidade. Por outro lado, o comportamento das espécies pode ser diferente do efeito da comunidade, e pode variar também, de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas. Assim, verificou-se a influencia da diversidade da comunidade, da densidade e do estágio de desenvolvimento da espécie *Cordia oncocalyx*, por ser esta a de maior ocorrência em todas as áreas. O estágio de desenvolvimento foi analisado por meio da espessura do diâmetro ao nível do peito (DAP).

## **2.3. Resultados**

### **2.3.1. Diversidade vegetal**

A riqueza média de espécies arbóreas/arbustivas foi maior em P6, seguido de P9 e CAT (Tabela 2.3). Os sistemas agroflorestais (ASP e SP) detêm menor riqueza específica média devido ao controle feito pelo manejo agrícola e pastoril. Quanto ao componente herbáceo, as áreas SP, AG e P6 apresentaram maior riqueza. A área de pousio de nove anos (P9) apresentou riqueza específica semelhante a CAT. ASP foi a área onde houve menor número de espécies herbáceas. No entanto, quanto a riqueza total (espécies herbáceas + arbóreas/arbustivas + cultivadas), as áreas SP, AG, P9 e CAT são semelhantes. Essas áreas apresentaram valores intermediários entre P6, que proporcionou maior riqueza, e ASP, onde foi observada menor riqueza específica. Porém, considerando-se a soma de todas as parcelas amostradas (1000 m<sup>2</sup>), ASP apresenta número de espécies semelhante a CAT, enquanto SP mantém três espécies arbóreas/arbustivas a menos e seis espécies herbáceas a mais que na área conservada (CAT).

**Tabela 2.3** Índices de diversidade nos sistemas agrícolas agroflorestais, tradicionais em cultivo e em diferentes épocas de pousio e de caatinga conservada, em Sobral-CE, 2010

Índices	Estrato	Áreas					
		ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
Riqueza específica média (S; N° de espécies por 100 m <sup>2</sup> )	Arb	1,8 <sup>d</sup>	1,1 <sup>cd</sup>	0,0 <sup>e</sup>	8,6 <sup>a</sup>	6,0 <sup>b</sup>	3,7 <sup>c</sup>
	Herb.	4,1 <sup>d</sup>	12,2 <sup>a</sup>	10,0 <sup>ab</sup>	11,3 <sup>ab</sup>	7,7 <sup>c</sup>	8,5 <sup>bc</sup>
	Cult.	3,8	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	Total	9,7 <sup>c</sup>	13,3 <sup>b</sup>	11,3 <sup>bc</sup>	19,9 <sup>a</sup>	13,7 <sup>b</sup>	12,2 <sup>b</sup>
Riqueza específica total (S; N° de espécies em 1000 m <sup>2</sup> )	Arb	8,0	5,0	0,0	12,0	12,0	8,0
	Herb.	9,0	19,0	19,0	17,0	13,0	12,0
Índice de Shannon médio (H'; nats ind <sup>-1</sup> )	Arb	0,51 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>	-	1,77 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	0,95 <sup>b</sup>
	Herb.	0,99 <sup>c</sup>	1,31 <sup>b</sup>	1,59 <sup>ab</sup>	1,62 <sup>ab</sup>	1,86 <sup>a</sup>	1,53 <sup>b</sup>
	Total	1,03 <sup>cd</sup>	0,78 <sup>d</sup>	0,91 <sup>cd</sup>	1,56 <sup>ab</sup>	1,85 <sup>a</sup>	1,27 <sup>bc</sup>
Índice de Pielou (J')	Arb	0,97 <sup>a</sup>	0,92 <sup>ab</sup>	-	0,83 <sup>b</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	0,76 <sup>b</sup>
	Herb.	0,59 <sup>cd</sup>	0,53 <sup>d</sup>	0,71 <sup>bc</sup>	0,67 <sup>bc</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,73 <sup>ab</sup>
	Total	0,73 <sup>ab</sup>	0,53 <sup>c</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,74 <sup>ab</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,74 <sup>ab</sup>

ASP: sistema agrossilvipastoril; SP: sistema silvipastoril; AG: cultivo tradicional; P6: cultivo tradicional em pousio de seis anos; P9: cultivo tradicional em pousio de nove anos; CAT: caatinga conservada. Arb.: estrato arbóreo; Herb.: estrato herbáceo; Cult.: Espécies cultivadas. Letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Turkey, a 0,05 de probabilidade.

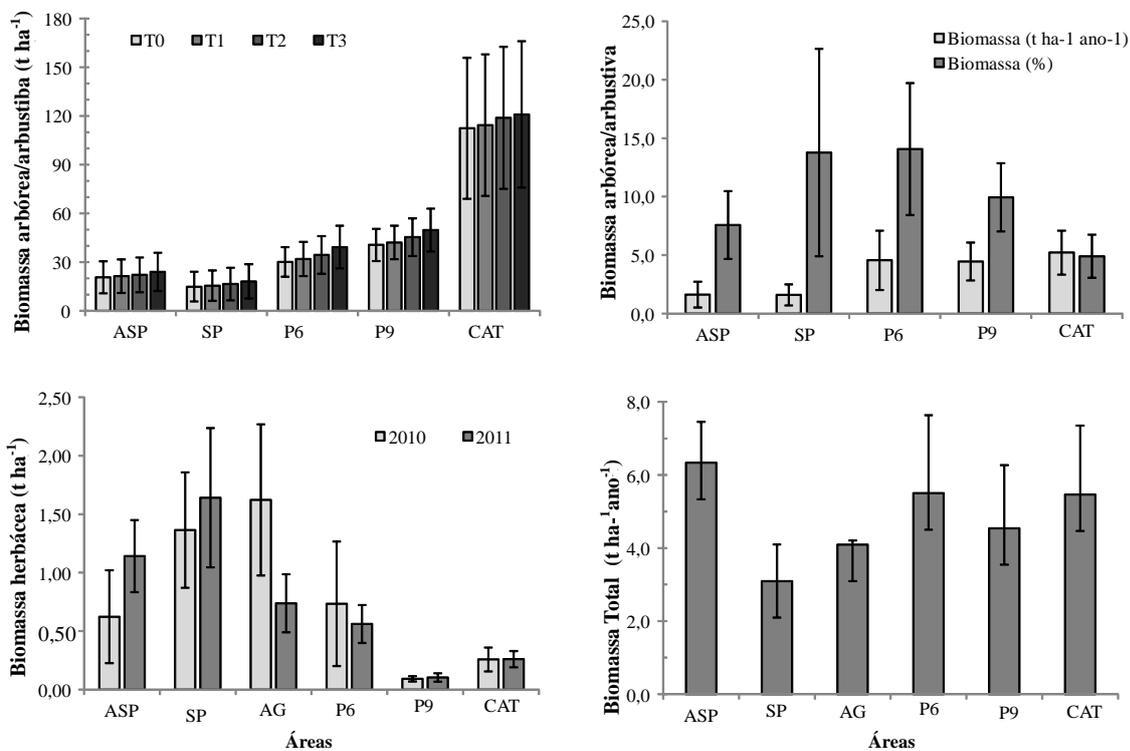
Quanto à diversidade do estrato herbáceo, o índice de Shannon (H') revela menores valores para área sob plantio agroflorestal (ASP) comparativamente com a CAT e os tradicionais, em pousio (P6 e P9) e cultivado (AG; Tabela 2.2). A área sob manejo agroflorestal da pastagem (SP) promoveu diversidade semelhantes a CAT, AG e P6 e superior a ASP. Considerando o estrato arbóreo/arbustivo, o manejo agroflorestal (ASP e SP) foi eficiente em manter a diversidade semelhante à da vegetação nativa conservada (CAT), muito embora, inferior às áreas em processo de recuperação (P6 e P9). Avaliando a diversidade total, a área cultivada sob manejo agroflorestal (ASP) apresentou diversidade semelhante a CAT, porém inferiores as áreas em pousio (P6 e P9). Já a área sob pastagem agroflorestal (SP) não manteve níveis de diversidade semelhante a vegetação nativa de caatinga (Tabela 2.3).

Apesar do menor número de espécies e da baixa diversidade de Shannon, ASP apresentou alta uniformidade de Pielou, semelhante a SP e P9 e superior a P6 e CAT, o que indica boa distribuição de indivíduos entre as espécies (Tabela 2.2).

### 2.3.2. Biomassa

Considerando-se o último período avaliado, a vegetação conservada (CAT) acumulou 120 (±45) t.ha<sup>-1</sup> de biomassa arbórea/arbustiva (Figura 2.2). As áreas sob manejo agroflorestal, ASP e SP, acumularam, respectivamente, cerca de

20 e 15% da biomassa arbórea/arbustiva contida na CAT, enquanto que P6 deteve 32% e P9, 41%, em relação a CAT (Figura 2.2a). Os sistemas agroflorestais (ASP e SP) tiveram aumento bruto de 3 toneladas ao longo de período avaliado (jan/10-ago/11), enquanto que nas áreas em pousio (P6 e P9) e na CAT este aumento foi de 9 toneladas (Figura 2.2a). Com isso tem-se uma taxa anual média de produção de biomassa arbórea/arbustiva equivalente a  $1,6 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para as áreas sob manejo agroflorestal (ASP e SP), inferior aos valores observados nas áreas de pousio e sob vegetação conservada, que foram de 4,8; 4,4 e  $5,4 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para P6, P9 e CAT, respectivamente (Figura 2.2b). Porém, em termos de porcentagem a produtividade do estrato arbóreo/arbustivo no SP foi semelhante aos observados em P6 e P9, enquanto que ASP promoveu aumento proporcional a CAT.



**Figura 2.2.** (a) Biomassa arbórea acumulada nos períodos avaliados: T0: janeiro/2010; T1: agosto/2010; T2: janeiro/2011; T3: agosto/2012; (b) Taxa de produção bruta de biomassa arbórea em toneladas por hectare por ano e produção relativa de biomassa (porcentagem de ganho) durante o período de janeiro de 2010 a agosto de 2012; (c) Biomassa herbácea observada em 2010 e 2011; (d) Biomassa total produzida. ASP: sistema agrossilvipastoril; SP: sistema silvipastoril; AG: cultivo tradicional; P6: cultivo tradicional em pousio de seis anos; P9: cultivo tradicional em pousio de nove anos; CAT: caatinga conservada. As barras verticais representam o desvio padrão da média.

De modo geral, as áreas com pequena ou nenhuma cobertura arbórea (ASP, SP e AG) foram as que produziram maior quantidade de biomassa herbácea (Figura 2.2c). Em 2010 as maiores quantidades de biomassa herbácea foram observadas em SP e AG, enquanto que em 2011, ASP e SP foram as áreas com maior quantidade de biomassa herbácea. Nos dois anos avaliados, a menor quantidade de biomassa herbácea foi observada em P9, seguida da CAT.

A biomassa total (arbóreo/arbustivo + herbáceo + cultivadas) na área de cultivo agroflorestal (ASP) foi semelhante aos tradicionais em pousio (P6 e P9) e a CAT (Figura 2.2d). As áreas SP e AG apresentaram valores médios inferiores a ASP, P6 e CAT, e semelhantes a P9. Em relação às culturas (milho e sorgo) o manejo agroflorestal (ASP) proporcionou produtividade de  $3,6 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto que no sistema tradicional de corte e queima (AG) a produtividade foi de  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Destaca-se que o ASP já está no 13º ano de cultivo consecutivo, enquanto que AG, apenas no segundo ano de cultivo.

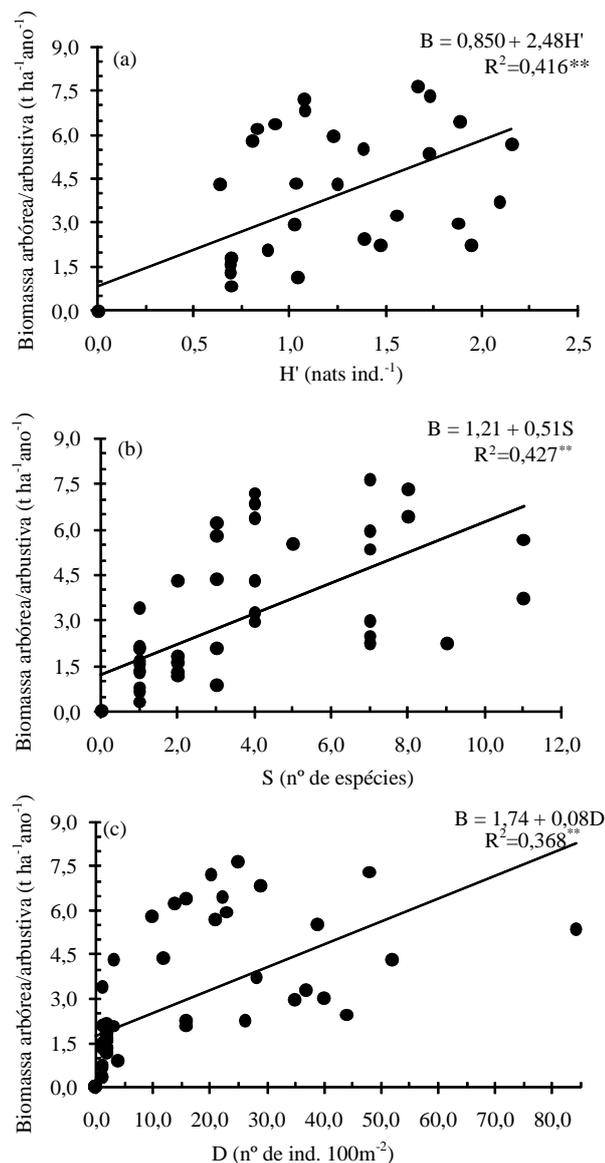
### 2.3.3. Biomassa em função da diversidade

Observou-se uma relação linear entre diversidade e produção de biomassa arbórea/arbustiva (Figura 2.3a e 2.3b), indicando que a produção de biomassa aérea é uma função positiva da diversidade. Porém os valores de  $R^2$ , para esta relação, são considerados baixos. Também não foi observado bons ajustes para a relação entre densidade de indivíduos arbóreos/arbustivo e produtividade, sendo este menor do que o observado para a diversidade (Figura 2.3c).

Para o estrato herbáceo não foi observada relação entre biomassa e índice de Shannon ( $H'$ ), apenas uma tendência de efeito positivo da riqueza de espécies sobre a produção de biomassa (Figuras 2.4a e 2.4b). Há indicativos de que a densidade de indivíduos influencia positivamente a produção de biomassa (Figura 2.4c), uma vez que os ajustes para as curvas, apesar de baixos, foram significativos. Para este estrato, a maior densidade de indivíduos possibilita melhor utilização de recursos, como luz, favorecendo maior produção, como é observado em SP e AG (Figura 2.2e).

Não foi observado influência da diversidade total sobre a produção de biomassa total (Figura 2.5a; 2.5b). Por outro lado, observa-se relação linear negativa da densidade de plantas (arbóreas + herbáceas) sobre a produção de biomassa

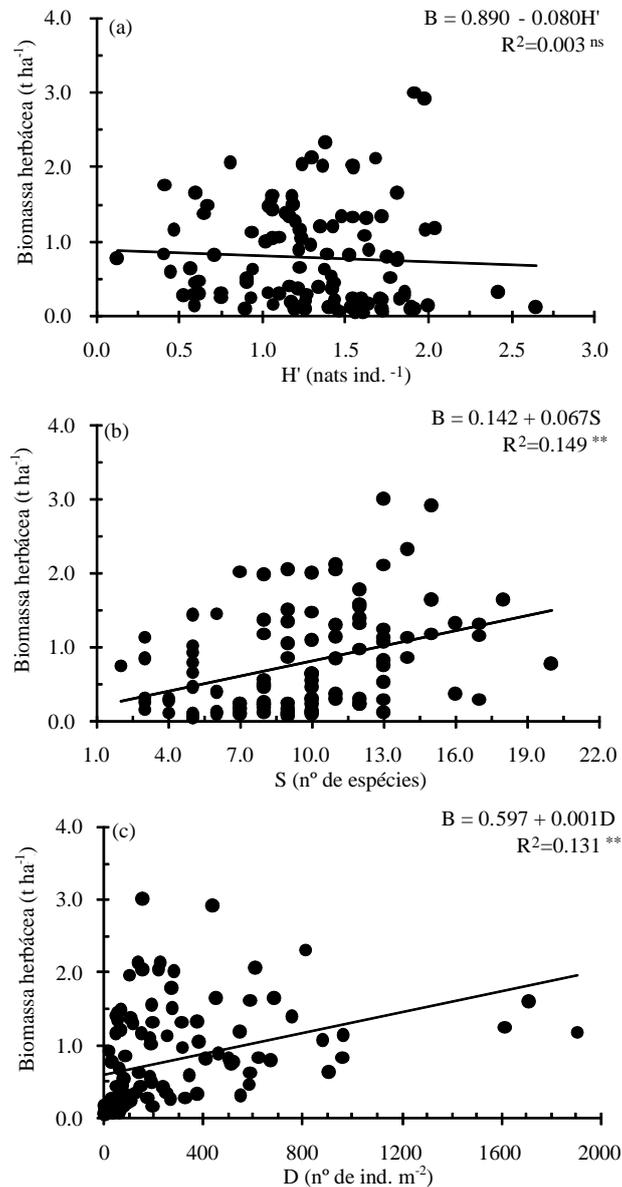
(Figuras 2.5c), indicando que maiores produções de biomassa ocorreram em ambientes onde há menor densidade. Os maiores valores de densidade ocorrem devido ao maior número de herbáceas, que ocorrem onde há menor número de árvores/arbusto. As árvores/arbustos tem uma produção de biomassa bem maior do que as plantas herbáceas, assim, a produção de biomassa cresce à medida que diminui a densidade total de plantas.



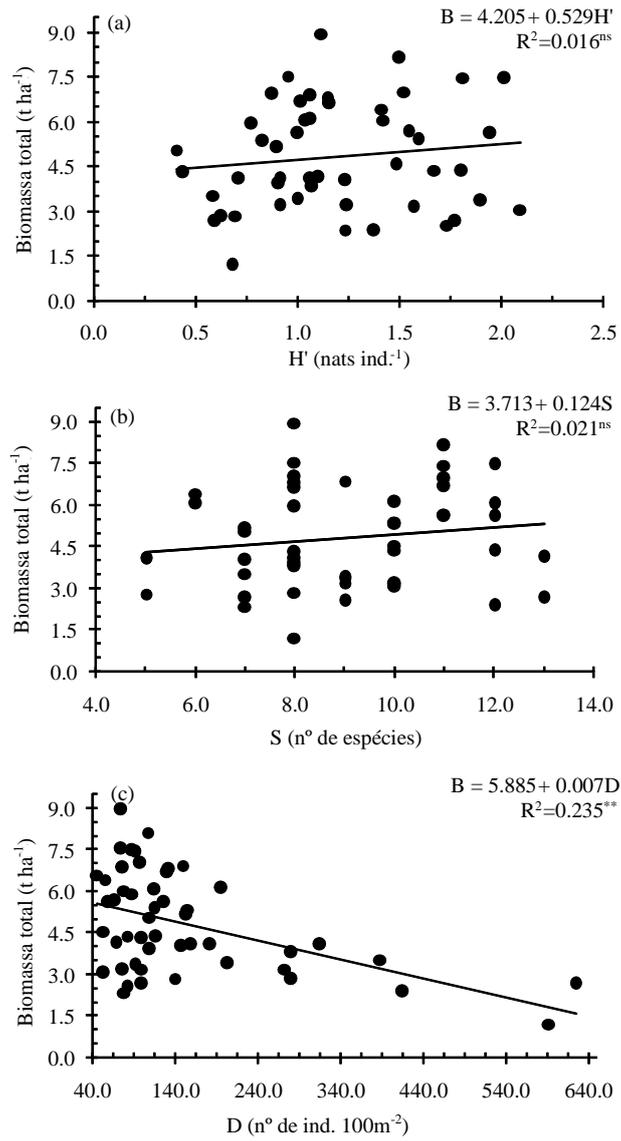
**Figura 2.3.** (a) Produção anual de biomassa aérea arbórea/arbustiva por hectare (b) em resposta ao índice de Shannon ( $H'$ ); (b) riqueza de espécies ( $s$ ), e (c) densidade de indivíduos ( $d$ )  $n = 44^{**}$   $p \leq 0.01$ .

A produção de biomassa das populações de *Cordia oncocalyx* não foi afetada pela diversidade de Shannon (Figura 2.6a), porém se observa uma tendência a decréscimo de biomassa à medida que aumenta o número de espécies na

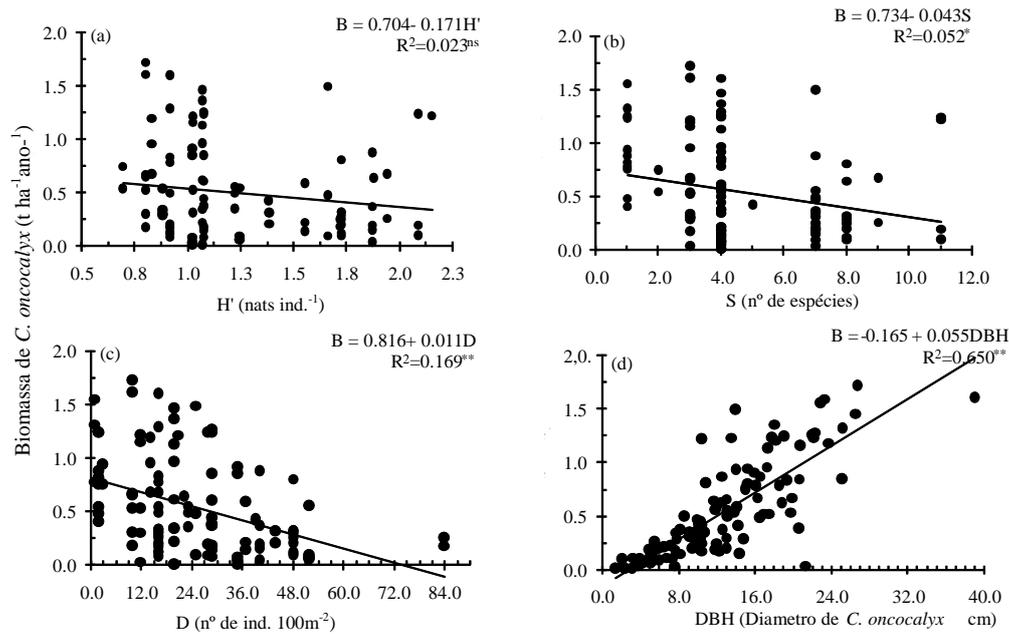
comunidade (Figura 2.6b). Nota-se influência negativa da densidade de indivíduos arbóreos/arbustivos sobre a produção de biomassa de *Cordia oncocalyx* (Figura 2.6c). Melhor ajuste foi obtido para a relação entre diâmetros dos indivíduos de *Cordia oncocalyx* com a biomassa (Figura 2.6d), o que indica ser o estágio de desenvolvimento da planta que influencia sua produção de biomassa.



**Figura 2.4.** (a) Produção de biomassa herbácea (B) em resposta ao índice de Shannon ( $H'$ ); (b) riqueza de espécies (S), e (c) densidade de indivíduos (D)  $n = 88$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*  $p \leq 0.05$ ; ns não significativo.



**Figura 2.5.** (a) Produção de biomassa total (B) em resposta ao índice de Shannon ( $H'$ ); (b) riqueza de espécies (S), e (c) densidade de indivíduos (D)  $n = 44$ ;  $** p \leq 0.01$ ;  $* p \leq 0.05$ ;  $^{ns}$  não significativo.



**Figura 2.6.** (a) Biomassa produzida por *Cordia onconcalys* (B) em resposta ao índice de Shannon ( $H'$ ); (b) riqueza de espécies (S), (c) densidade de indivíduos (D); e (d) diâmetro de *C. onconcalys* na altura do peito (DBH) \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*  $p \leq 0.05$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

## 2.4. Discussão

### 2.4.1 Diversidade vegetal

A menor diversidade observada nos SAFs deve-se à dominância de poucas espécies. Na implantação dessas áreas foi realizado raleamento, preservando-se todas as espécies presentes originalmente na área, porém suas densidades foram reduzidas. No entanto, essa redução foi proporcional a densidade original de espécies. Assim, a espécie arbórea de maior dominância no ASP e SP (*Cordia onconcalys*) é a mesma observada como de maior dominância na CAT e nas áreas de pousio. Desta forma, a diversidade nos SAFs torna-se menor devido ao reduzido número de espécies amostradas por parcela ( $100 \text{ m}^2$ ), o que reflete o raleamento feito nas áreas. Além disso, o estrato herbáceo no ASP é bastante influenciado pelas capinas, o que contribui para reduzir a diversidade e a riqueza de espécies. Porém, a riqueza de espécies é compensada pela introdução das espécies agrícolas

(*Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Leucaena leucocephala* e *Gliricidia sepium*). As espécies *L. leucocephala* e *G. Sepium*, pertencentes a família das Fabáceas, são componentes chaves para a sustentabilidade dos agroecossistemas, pois além de serem usadas na suplementação alimentar dos animais, têm a capacidade de fixação biológica do nitrogênio (Paulino et al., 2005), são fonte de matéria orgânica do solo (Maia et al., 2007) e contribuem para redução dos efeitos erosivos (Aguiar et al., 2010). Porém, deve-se ter cuidado a fim de evitar que estas espécies tornem-se invasoras das áreas nativas (Rejmanek; Richardson, 1996), podendo prejudicar a diversidade local.

Os valores de diversidade de Shannon observados em ASP são semelhantes aos observados por Almeida et al. (2009) em áreas de caatinga sob manejo agroflorestal. No entanto, ao contrário do observado neste trabalho, os autores destacam maior riqueza de espécies arbóreas nas áreas cultivadas em relação às áreas de vegetação nativa. Porém ressaltam que esse aumento deve-se a introdução de espécies frutíferas nas áreas cultivadas.

A maior diversidade (S e H') e uniformidade (J') observadas nas áreas em pousio deve-se a um aumento inicial de diversidade e riqueza de espécies que normalmente ocorrem em áreas que estão em sucessão secundária, como foi observado por Anglaaere et al. (2011) em áreas após incidência de fogo. Este fato deve ocorrer porque, inicialmente, as áreas recém perturbadas podem ser recolonizadas por espécies oriundas de áreas adjacentes que mantêm sua vegetação conservada, conforme observado por Almeida et al. (2009). À medida que o ecossistema se estabiliza, os nichos se tornam bem definidos, permanecendo as espécies competitivamente superiores, que se tornam mais abundantes (Libano; Filfili, 2006). Por isso na CAT, onde a comunidade vegetal encontra-se mais estável, ocorre menor diversidade e menor riqueza de espécies, comparativamente às áreas em pousio. Mani e Parthasarathy (2009) também observaram redução da diversidade de árvores, com perda de algumas espécies nas florestas mais antigas, porém atribuíram as mudanças ao efeito cumulativo da qualidade das áreas, das atividades humanas e de mudanças nos padrões de uso de áreas adjacentes. A maior diversidade observada para P6 e P9 em relação a CAT está de acordo com a hipótese do distúrbio intermediário (Connell, 1978) a qual preconiza haver maior diversidade de árvores em estado de não equilíbrio. Estudos realizados em outras florestas secas após diferentes períodos de pousio mostram resultados

controversos. Kalacska et al. (2004) relatam maior diversidade de espécies em áreas de estágios intermediários de sucessão secundária, enquanto outros autores observaram que a diversidade aumenta continuamente com a idade (Lebrija-Trejos; Bongers, 2008; Ruiz et al., 2005) e que a riqueza média e a diversidade nos períodos de pousio é menor do que na floresta madura (Lebrija-Trejos; Bongers, 2008).

#### 2.4.2. Biomassa

Os valores de biomassa arbórea/arbustiva acumulados em ASP, SP estão abaixo da ampla faixa citada por Cavalcante et al. (2009) para áreas de caatinga pouco antropizadas, enquanto que os observados em P6, P9 e CAT estão de acordo os valores citados pelos autores.

O incremento de biomassa pode ser resultado tanto do desempenho produtivo de cada planta, como da densidade existente nas áreas. Assim, as maiores produtividades arbóreas/arbustivas observadas em P6, P9 e CAT, ocorreram devido as maiores densidades de indivíduos nessas áreas. Em ASP e SP as árvores são mais eficientes por estarem mais espaçadas umas das outras, porém, o menor número de indivíduos implica em menor produção total. A maior produtividade das espécies agrícolas (milho e sorgo) em ASP ( $3,6 \text{ t.ha}^{-1}$ ), comparativamente ao AG ( $3,0 \text{ t.ha}^{-1}$ ), indica a maior eficiência desse tipo de manejo e os benefícios da manutenção da diversidade em ambientes agrícolas.

A biomassa da vegetação de caatinga da região semiárida brasileira é bastante variável. Nas áreas de CAT, P6 e P9, observaram-se valores inferior a descrita por Sampaio et al (1998), para áreas de caatinga após seis anos de pousio. Apesar das áreas em pousio de seis e nove anos, apresentarem menor quantidade biomassa aérea em relação a CAT, essas têm maior crescimento anual. O maior ganho anual de biomassa nas áreas que estão em processo de regeneração deve-se, provavelmente, ao maior número de plantas jovens que, nestes estágios, apresentam crescimento mais rápido, bem como de maiores populações de espécies de pequeno porte e rápido crescimento, como *Cordia alliodora* e *Croton blanchetianus*, de maior frequência em P6 e P9. Por outro lado, esse maior ganho em biomassa indica que os períodos de pousio foram insuficientes para promoverem a total recuperação das áreas, comparativamente com a área sem intervenção

antrópica. Maior incremento de biomassa, assim como maior densidade de indivíduos arbóreos, são considerados características de áreas que passaram por processo de corte e queima e encontram-se em fase de reestabelecimento da vegetação (Cavalcante et al., 2009), mas que ainda não atingiram um equilíbrio.

Maior produção de biomassa herbácea em áreas antropizadas (assim como em ASP, SP e AG), foi observada por Chandrasekaran e Swamy (2002) e ocorre devido a maior incidência de luz e mais rápida ciclagem de nutrientes nessas áreas.

#### 2.4.3. Produção de biomassa em função da diversidade

O maior aumento de biomassa em áreas com maior diversidade indica ocorrência de relações positivas entre as espécies. Diversos estudos mostram que o efeito da diversidade sobre a produtividade ocorre devido a mecanismos de complementaridade entre as espécies, relacionados com utilização eficiente de recursos, tais como água e nutrientes, partição de nicho, facilitação e controle de herbívoros e agentes causadores de doenças (Zhu et al., 2000; Cardinale et al., 2002; Anderson, 2005; Ruijven; Berendse 2005; Cardinale et al., 2007; Flombaum; Sala 2008;). No entanto, a magnitude desses efeitos é variável para distintos ecossistemas e espécies envolvidas. Em ambiente agrícola, Smith; Gross; Robertson (2008) ressaltam que o efeito da diversidade de espécies sobre a produção depende de cada espécie. Estes autores indicam a introdução de espécies fixadoras de nitrogênio como sendo as espécies funcionais que determinaram a melhoria na produtividade de sistemas com maior diversidade, por favorecerem maior disponibilidade de nitrogênio no solo. Não há um consenso em relação ao real efeito da diversidade sobre a produção de biomassa. Uma metanálise realizada por Cardinale et al (2007) mostra efeitos positivos da diversidade de plantas sobre a produção de biomassa, mas também que em algumas policulturas a biomassa é menor que nas monoculturas de melhor desempenho. Assim, a tendência observada neste trabalho de aumento de biomassa arbórea em ambientes mais diversos pode ser devido a outros fatores, como a dinâmica da sucessão dos ambientes, que é um aspecto ainda pouco estudado (Cardinale et al., 2007).

Os efeitos da diversidade de plantas herbáceas sobre sua produtividade também não foram esclarecidos em outros estudos. Liu et al. (2010) estudaram a influencia da diversidade sobre a produtividade de biomassa herbácea em escala

regional e concluíram que a hipótese de diversidade- produtividade (Tilman et al., 1996; Hooper et al., 2005), foi explicada apenas parcialmente. Já Nakamura (2008) não observou efeito positivo da riqueza de espécies sobre a produtividade de plantas herbáceas, e atribui este resultado a similaridade funcional das espécies estudadas. No presente estudo é provável que a produtividade das plantas herbáceas foi mais influenciada pela disponibilidade de luz, uma vez que as maiores produções foram observadas nas áreas com pouco ou sem nenhuma cobertura arbóreas.

Apesar dos resultados indicarem tendência de aumento da produção de biomassa das árvores em locais com maior diversidade arbórea, reais efeitos positivos da diversidade sobre a produtividade dos sistemas não puderam ser evidenciados, uma vez que a dinâmica de sucessão e o manejo aplicado às áreas influenciaram os resultados. Por outro lado, é provável que as condições edafoclimáticas locais estejam impedindo a coexistência de um número grande de espécies competidoras, o que permitiria maiores diversidades e conseqüentemente maiores produtividades (Tilman; Pacala, 1993; Tilman, 1999; Lehman; Tilman, 2000; Tilman; Polasky; Lehman, 2005).

Espera-se que, ao contrário da biomassa da comunidade, a biomassa específica diminua em ambientes mais diversos (Lehman; Tilman, 2000), porém a produção de biomassa de *C. oncocalyx*, mostrou-se muito mais influenciada por seu estágio de desenvolvimento do que pela diversidade, uma vez que as plantas que apresentam maiores diâmetros proporcionaram maior produção de biomassa anual.

Em ambientes sem intervenção antrópica a relação positiva entre diversidade e produção de biomassa irá ocorrer somente em ecossistemas que não estão em estágio de equilíbrio ou que sofreram alguma perturbação, uma vez que em comunidades estáveis não há variação temporal de biomassa (Pimm, 1984; Cavalcante et al., 2009). Desta forma, as variações observadas em P6 e P9, indicam que as mesmas encontram-se em processos de regeneração. Em ambientes perturbados pode ocorrer a entrada de novas espécies, aumentando a diversidade e conseqüentemente a biomassa da comunidade.

## 2.5 Conclusões

O manejo adotado nos sistemas agroflorestais (ASP e SP) altera a diversidade e a produção de biomassa das comunidades vegetais, principalmente das plantas presentes no estrato herbáceo. Porém, mantém alguns parâmetros de diversidade do componente arbóreo/arbustivo semelhante a vegetação nativa conservada. Por outro lado, considerando-se os componentes agrícolas, a área sob cultivo agroflorestal (ASP) torna-se semelhante a CAT em produção de biomassa e diversidade vegetal.

Os pousios de seis e nove anos foram suficientes para recuperar a produtividade de biomassa vegetal tal como a da vegetação conservada, porém ainda não restauraram a biomassa total acumulada no estrato arbóreo/arbustivo e promoveram maiores índices de diversidade.

A diversidade vegetal não apresenta influencia sobre a produção de biomassa das comunidades vegetais. A produção anual de biomassa por *Cordia oncocalyx* é influenciada pela espessura do diâmetro ao nível do peito e não pela diversidade da comunidade.

## Referencias

Aguiar, M.I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A.; 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.

Almeida, M.V.R.; Oliveira, T.S.; Bezerra, A.M.E., 2009. Biodiversidade em sistemas agroecológicos no município de Choró, CE, Brasil. *Ciência Rural*, 39:1080-1087.

Anderson, R.L., 2005. Improving sustainability of cropping systems in the Central Great Plain. *Journal Sustain Agric*, 26:97-114.

Anglaaere, L.C.N.; Cobbina, J.; Sinclair, F.L.; Mcdonald, M.A., 2011. The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforest Systems*, 81:249–265.

Araújo Filho, J.A., 2002. Histórico do uso dos solos da caatinga. In.: 500 anos de uso do solo no Brasil (Araújo, Q.R., org). Ilhéus: Editus.

Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C., 2001. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. pp101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e sub tropicais (Carvalho, M.M., Alvim, M.J., Carneiro, J.C., eds.), Brasília: FAO.

Assogbadjo, A.E.; Glèlè Kakaï, R.; Vodouhê, F.G.; Djagoun, C.A.M.S.; Codjia, J.T.C.; Sinsi, B., 2012. Biodiversity and socioeconomic factors supporting farmers' choice of wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). *Forest Policy and Economics*, 14:41–49.

Bhagwat, S.A.; Willis, K.J.; Birks, H.J.B.; Whittaker, R.J., 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23: 264-267.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe/Natal 1981. Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 740p. (Levantamento de Recursos Naturais).

Campanha, M.M.; Araújo, F.S.; Meneses, M.O.T.; Silva, V.M.R.; Medeiros, H.R., 2011. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral, CE. *Revista Caatinga*, 24:94-101.

Cardinale, B.J.; Palmer, M.A.; Collins, S.L., 2002. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. *Nature*, 415:426-429.

Cardinale, B.J.; Wright, J.P.; Cadotte, M.W.; Carroll, I.T.; Hector, A.; Srivastava, D.S.; Loreau, M.; Weis, J.J., 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104:18123–18128.

Cavalcante, A.D.C.; Rodal, M.J.N.; Sampaio, E.V.S.B.; Costa, K.C.C., 2009. Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Botânica Brasiliense* 23:1210-1212.

Chandrasekaran, S.; Swamy, P.S., 2002. Biomass, litterfall and aboveground net primary productivity of herbaceous communities in varied ecosystems at Kodayar in the western ghats of Tamil Nadu. *Agriculture Ecosystems Environment*, 88:61-71.

Cole, M.M., 1960. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. *The Geografic Journal*, 126:168-179.

Connell, J.H., 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1978.

Deheuvels, O.; Avelino, J.; Somarriba, E.; Malezieux, E., 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149:181– 188.

Flombaum, P.; Sala, O.E., 2008. Higher effect of plant species diversity on productivity in natural than artificial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:6087–6090.

Gotelli, N.J.; Ellison, A.M., 2004. A primer of ecological statistics. Sinauer Associates.

Hooper, D.U.; Chapin, F.S.; Ewell, J.J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S.; Lawton, J.H.; Lodge, D.M.; Loreau, M.; Naeem, S.; Schmid, B.; Setälä, H.; Symstad, A.J.; Vandermeer, J.; Wardle, D.A., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75:3–35.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2011. Perfil Básico Municipal, Sobral. SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza.

Kalacska, M.; Sanchez-Azofeifa, G.A.; Calvo-Alvarado, J.C.; Quesada, M.; Rivard, B.; Janzen, D.H., 2004. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 200:227–247.

Keer, G.; Zedler, J.B., 2002. Salt marsh canopy architecture differs with the number and composition of species. *Ecological applications*, 12:456-473.

Lebrija-Trejos, E.; Bongers, F.; Pérez-García, E.A.; Meave, J.A., 2008. Successional Change and Resilience of a Very Dry Tropical Deciduous Forest Following Shifting Agriculture. *Biotropica* 40: 422–431.

Lehman, C.L.; Tilman, D., 2000. Biodiversity, Stability, and Productivity in Competitive Communities. *The American Naturalist*, 156:534-552.

Libano, A.M.; Felfili, J.M., 2006. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta Botânica Brasiliense*, 20:927-936.

Liu, Z.; Fu, B.; Zheng, X.; Liu, G., 2010. Plant biomass, soil water content and soil N:P ratio regulating soil microbial functional diversity in a temperate steppe: A regional scale study. *Soil Biology & Biochemistry*, 42:445-450.

Magurran, A.E., 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Science Ltd.  
Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A., 2006. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 30:837-848

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonca, E.S.; Araujo 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.F.; Xavier, F.A.S.; 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 Ciências do Solo*, 32:381-392.

Mani, S.; Parthasarathy, N., 2009. Tree population and above-ground biomass changes in two disturbed tropical dry evergreen forests of peninsular India. *Tropical Ecology*, 50:249-258.

Martins, F.R.; Santos, F.A.M., 1999. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. *Revista Holos*, Edição especial:236-267.

Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H., 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley & Sons.

Nair, P.K.R., 1993. *An introduction to agroforestry*. Kluwer, Dordrecht.

Nakamura, N., 2008. Species richness and aggregation effects on the productivity of ruderal plant communities under drought perturbation. *Bioscience Horizons*, 1:128-135.

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. *Revista Ceres*, 55:327-337.

Ogol, C.K.P.O.; Spence, J.R.; Keddie, A., 1999. Maize stem borer colonization, establishment and crop damage levels in a maize-leucaena agroforestry system in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 76:1–15.

Paulino, G.M.; Alves, B.J.R.; Barroso, D.G.; Urquiaga, S.; Espindola, J.A.A., 2009. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomares orgânicos de mangueira e gravioleira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:1598-1607.

Pimm, S.L., 1984. The complexity and the stability of ecosystems. *Nature*, 307:321-326.

Rejmanek, M.; Richardson, D.M., 1996. What attributes make some plant species more invasive? *Ecology*, 77:1655-1661.

Rodal, M.J.N.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Figueiredo, M.A., 1992. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema Caatinga. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil.

Ruijven, J.V.; Berendse, F., 2005. Diversity–productivity relationships: Initial effects, long-term patterns, and underlying mechanisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:695–700.

Ruiz, J.; Fandiño, M.C.; Chazdon, R.L., 2005. Vegetation Structure, Composition, and Species Richness Across a 56-year Chronosequence of Dry Tropical Forest on Providencia Island, Colombia. *Biotropica*, 37: 520–530.

Sampaio, E.V.S.B.; Araujo, 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.

Silva, G.C.; Sampaio, E.V.S.B., 2008. Biomassas de partes aéreas em plantas da Caatinga. *Revista Árvore*, 32:567-575.

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*, 167-168:61-70.

Singh, G.; Mutha, S.; Bala, N., 2007. Effect of tree density on productivity of a *Prosopis cineraria* agroforestry system in North Western India. *Journal of Arid Environments*, 70:152–163.

Smith, R.G.; Gross, K.L.; Robertson, G.P., 2008. Effects of crop diversity on agroecosystem function: crop yield response. *Ecosystems*, 11:355–366

Smukler, S.M.; Sánchez-Moreno, S.; Fonte, S.J.; Ferris, H.; Klonsky, K.; O'geen, A.T.; Scow, K.M.; Steenwerth, K.L.; Jackson, L.E., 2010. Biodiversity and multiple ecosystem functions in an organic farmscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139:80–97.

Somarriba, E., 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems*, 19:233-240.

Souza, H.N.; Goede, R.G.M.; Brussaard, L.; Cardoso, I.M.; Duarte, E.M.G.; Fernandes, B.A.; Gomes, L.C.; Pulleman, M.M., 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146:179–196.

Swift, M.J.; Izac, A.M.N.; Van Noordwijk, M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104:113-134.

Tilman, D.; Downing, J.A., 1994. Biosiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367:363-365.

Tilman, D.; Lehman, C.L., 2000. Biodiversity stability and productivity in competitive communities. *The American naturalist*, 156:534-552.

Tilman, D.; Pacala, S., 1993. The mainterance of species richness in plant communities. In: *Species Diversity in Ecological communities* (Ricklefs, R.E., Schluter, D., eds.). Chicago: University of Chicago Press.

Tilman, D.; Palosky, S.; Lehman, C., 2005. Diversity, productivity and temporal stability in the economies of humans nature. *Journal of Environmental Economics and Management*, 49:405-426.

Tilman, D.; Wedin, D.; Knops, J., 1996. Productivity and sustainability inslucenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379:718-720.

Vandermeer, J.; Perfecto, I., 2007. The agricultural matrix and a future paradigm for Conservation. *Conservation Biology*, 21:274–277.

Wilsey, B.J.; Potvin, C., 2000. Biodiversity and ecosystem functioning importance of species evenness in an old field. *Ecology*, 81:887-892.

Zhu, Y.Y.; Chen, H.R.; Fan, J.H.; Wang, Y.Y.; Li, Y.; Chen, J.B.; Fan, J.X.; Yang, S.S.; Hu, L.P.; Leung, H.; Mew, T.M.; Teng, O.S.; Wang, Z.H.; Mundt, C.C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406:718-722.

## **CAPÍTULO 03 - SEQUESTRO DE CARBONO E RESERVA DE NUTRIENTES EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA<sup>1</sup>**

M. I. AGUIAR<sup>2;3</sup>; J. S. FIALHO<sup>2;4</sup>; M. M. CAMPANHA<sup>5</sup>; T. S. de OLIVEIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Manuscrito submetido a Revista *Árvore* (ISSN 0100-6762) em 21 de setembro de 2012;

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará; <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí;

<sup>4</sup>Universidade Estadual do Ceará; <sup>5</sup>Embrapa Milho e Sorgo; <sup>6</sup>Universidade Federal de Viçosa.

**RESUMO** - Objetivou-se conhecer a contribuição de sistemas agroflorestais (SAFs) e tradicionais para o sequestro de carbono e a reserva de nutrientes presentes nas plantas, serrapilheira e solo. O estudo foi realizado na região semiárida brasileira em experimento de longa duração conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Caprinos e Ovinos. Estudaram-se dois sistemas agroflorestais: agrossilvipastoril (ASP) e silvipastoril (SP) e um tradicional (AG), sendo também utilizadas duas áreas sob pousio após manejo tradicional (seis anos – P6 e nove anos - P9) e uma área de caatinga conservada (CAT). Nessas áreas, foram realizadas coletas de solo, serrapilheira e plantas. Os teores de C, N, P, K, Ca e Mg foram quantificados em cada um desses compartimentos. Os SAFs (ASP e SP) apresentaram estoques de nutrientes em média 21% superiores ao tradicional e representam 64% dos estoques da caatinga conservada. No ASP 67% dos nutrientes extraídos pelas colheitas volta ao sistema por meio das entradas via serrapilheira, capinas das herbáceas e poda das leguminosas. Os estoques no solo, na serrapilheira e nas plantas herbáceas após os períodos de pousio de seis e nove anos foram semelhantes aos da caatinga conservada, porém, os estoques do estrato arbóreo foram 65% inferiores aos da condição natural.

**Palavras-chave:** Agroecologia. Agricultura familiar. Sistemas agroflorestais. Semiárido. ciclagem de nutrientes.

## **CARBON SEQUESTRATION AND NUTRIENT STORAGE UNDER CONTRASTING LAND USE SYSTEMS**

**ABSTRACT** - The goal of this work was to determine the contribution of agroforestry systems (AFS) and traditional cropping systems for carbon sequestration and

nutrient reserves occurring in standing vegetation, litter and soil. The work took place in Brazil's semiarid region on long-term research plots of Embrapa Goats and Sheep's experimental farm. Two AFS were studied: agrosilvopastoral (ASP) and silvopastoral (SP). Traditional systems were also analyzed including traditional cropping (AG), areas under fallow for six (F6) and nine (F9) years following AG, as well as preserved *caatinga* vegetation (CAT). In all areas soil, litter and plant samples were collected. Sample contents of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium were measured. Nutrient stocks under AFS (ASP and SP) were on average 21% greater than under AG, and amounted to 64% of stocks found under CAT. Under ASP, 67% of nutrients in biomass are recycled in the system through litter deposition, slashing of herbaceous vegetation and the pruning of leguminous plants. Stocks in soil, litter and herbaceous plants under F6 and F9 were similar to CAT, however stocks in the tree stratum were 65% lesser.

**Keywords:** Agroecology. Family farming. Agroforestry systems. Semiarid. Nutrient cycling.

### 3.1 Introdução

Os ecossistemas se mantêm estáveis ao longo do tempo através do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da regulação de suas populações. Neles, os nutrientes movem-se em ciclos a partir dos componentes bióticos para os abióticos (Odum, 1969). Nos ecossistemas agrícolas convencionais, essa ciclagem é mínima devido à grande quantidade de nutrientes imobilizada em produtos vegetais e/ou animais que são exportados (Gliessman et al., 2007). Assim, a produção desses sistemas torna-se dependente da entrada constante de nutrientes via fertilizantes. Por isso, o consórcio de árvores com culturas agrícolas e/ou pastagens vem recebendo atenção nas últimas décadas, pois permite a produção de biomassa, estocagem e ciclagem de nutrientes, assim recompondo o desequilíbrio provocado com a saída dos produtos agrícolas e animais desses agroecossistemas (Gliessman, 2005).

Alguns estudos comprovam a contribuição de árvores na ciclagem de nutrientes por meio da avaliação indireta dos teores e/ou estoques de nutrientes em

sistemas agroflorestais (Maia et al., 2006, 2007, 2008; Lima et al., 2010; Iwata et al., 2012). Através dos estoques de nutrientes contidos nos vários componentes da biomassa vegetal (viva e morta) é possível quantificar a ciclagem de seus elementos químicos e avaliar a sustentabilidade desses sistemas (Delitti, 1995). Outro aspecto a ser considerado nos sistemas agroflorestais (SAFs) se refere à quantificação do carbono (C), pois medir os estoques de C significa avaliar as técnicas que são aplicadas nos SAFs para mitigar os efeitos das mudanças climáticas provocadas por práticas que provocam aumento das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Soto-Pinto et al., 2010). Além disso, a manutenção dos estoques de C nas áreas agrícolas representa uma fonte alternativa de renda para agricultores, que poderão se inserir no mercado de carbono (Antle et al., 2007; Perez et al., 2007). Para Mantagnini e Nair (2004), os SAFs contribuem para o sequestro de carbono por causa de seu potencial de armazenamento de C nas variadas espécies de árvores que são mantidas, além do armazenamento desse elemento em solos por permanecerem mais conservados. Porém, para os citados autores, esse potencial ainda não foi adequadamente reconhecido e explorado.

No semiárido brasileiro, os SAFs vêm sendo pesquisados como alternativa ao manejo agropecuário tradicional, amplamente adotado por agricultores da região (Araújo Filho; Carvalho, 2001; Drumond et al., 2004; Marin et al., 2006). Estudos realizados por Maia et al. (2006, 2008), Nogueira et al. (2008), Aguiar et al. (2010), Silva et al. (2011) e Iwata et al. (2012) comprovam os efeitos benéficos dos sistemas agroflorestais para as qualidades química, física e biológica do solo, e também, para a manutenção da diversidade vegetal (Almeida et al., 2009; Campanha et al., 2011). Alguns desses estudos acima citados foram desenvolvidos em áreas experimentais do Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da EMBRAPA Caprinos e Ovinos, localizado no norte do estado do Ceará, onde se desenvolve pesquisas com sistemas agroflorestais, como alternativa ao manejo adotado pela agricultura familiar da região.

O manejo tradicionalmente adotado na agricultura familiar desta região é baseado no desmatamento, com extração de madeira útil, queimada dos restos (lenhoso e folhoso), seguida de cultivo por dois anos, pastejo animal e pousio. A utilização deste manejo ao longo dos anos vem causando sérios problemas de degradação (Araujo Filho, 2002). Desta forma, o manejo agroflorestal proposto pelo

CNPCO, visa promover a integração das atividades tradicionalmente adotadas para manter um fluxo entre as áreas destinadas a cada atividade na mesma propriedade e promover a conservação da caatinga. Dentro desse modelo identifica-se áreas com manejo agrosilvipastoril onde são mantidas árvores (20%) associadas à práticas agrícolas e banco de proteínas para ovinos e caprinos; áreas Silvipostoris com pastagem nativa para caprinos e ovinos e manutenção de 38% da cobertura arbórea e área sob caatinga conservada onde não há intervenção humana. Paralelamente, mantêm-se áreas com cultivo tradicional com diferentes tempos de uso, onde se adotou o modelo de corte e queima. Apesar de muitos estudos terem sido realizados nessas áreas, nenhum quantifica seu potencial de sequestro de carbono, bem como as reservas de nutrientes mantidas nesses agroecossistemas. Desta forma, este artigo objetiva conhecer a contribuição dos manejos agroflorestais e tradicionais para o sequestro de carbono e as reservas de nutrientes presentes nas plantas, na serrapilheira e no solo.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Caracterização da área e sistemas de manejo avaliados**

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Crioula, pertencente ao CNPCO-EMBRAPA Caprinos e Ovinos, situada em Sobral, Ceará. A temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais do município de Sobral são 27°C e 821 mm (IPECE, 2011a), respectivamente. O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen (BRASIL, 1981). O período chuvoso se estende de janeiro a maio (IPECE, 2011a). Na área do experimento (9582600S – 9583600S e 352200W – 352800S), a precipitação pluviométrica média anual dos últimos 10 anos foi de 989 mm. A vegetação é composta por uma savana caducifólia espinhosa, regionalmente conhecida como Caatinga (Cole, 1960). O solo da área é representado por manchas de Luvisolos Crômico Órtico típico e Luvisolo Hipocrômico Órtico típico, originado de Gnaisse (Aguiar et al., 2010). O pH das camadas avaliadas situa-se entre 6,2 e 6,9 e a

textura entre franco arenosa e franco argilo arenosa. Caracterização mais detalhada do solo nas áreas avaliadas encontra-se na Tabela 3.1.

Os seguintes sistemas de manejo foram avaliados: (1) *Agrossilvipastoril* (ASP), onde se cultiva milho (*Zea mays* L.), desde 1998, e sorgo (*Sorghum bicolor* L.), desde 2005, em aléias formadas por leguminosas (*Leucaena leucocephala* (Lam) R. de Wit. e *Gliricida sepium* (Jacq.) Steud). Nesta área, em 1997, a vegetação nativa foi rebaixada e raleada, preservando 20% da cobertura vegetal arbórea (Maia et al., 2006). A mesma possui 3,5 ha subdivididos em duas subáreas, de tamanhos iguais, uma para produção caprina e outra ovina. No manejo das culturas (milho e sorgo), capinas manuais são realizadas para controle das herbáceas. Durante o período seco, as áreas são utilizadas como banco de proteínas (formado pelas leguminosas *L. leucocephala* e *G. sepium*) para as matrizes ovinas e caprinas, que pastejam diariamente por uma hora; (2) *Silvipastoril* (SP), área de 9,2 ha, subdividida em duas subáreas para pastejo de matrizes caprinas e ovinas. Conforme Maia et al. (2006), este manejo foi adotado em 1997 quando a vegetação lenhosa foi raleada e rebaixada, preservando, aproximadamente, 38% da cobertura vegetal arbórea; (3) *Cultivo tradicional* (AG): área de 1,0 ha, desmatada e queimada em 2009 (período seco) e cultivada com milho e sorgo em monocultura, com preparo manual do solo, durante o período chuvoso de 2010; (4) *Cultivo tradicional com seis anos de pousio* (P6): área de 1,0 ha submetida a desmatamento e queima de toda a vegetação em 2001, preparo manual do solo e cultivo de milho e feijão em 2002 e 2003. Durante os dois anos, após a colheita, um rebanho de 10 matrizes caprinas tiveram acesso a área para consumirem os restos vegetais, e, a partir de 2004, a área foi deixada em pousio, para permitir a regeneração da vegetação nativa; (5) *Cultivo tradicional com nove anos de pousio* (P9): histórico semelhante a P6, porém com as práticas de desmatamento e queima realizadas em 1999, e plantios em 2000 e 2001, estando em pousio desde 2002; (6) *Área sob caatinga conservada* (CAT): vegetação nativa, regionalmente conhecida como Caatinga, composta por uma savana caducifólia espinhosa, tendo sido utilizada como referência para as áreas manejadas. Esta área encontra-se sem intervenção antrópica por mais de 50 anos e faz parte do modelo SAF proposto por Araújo Filho e Carvalho (2001). Os sistemas de manejo são adjacentes uns aos outros, sendo separados por corredores de 1,5 m de largura.

**Tabela 3.1.** Caracterização do solo (0,0-0,2 m) nas áreas de manejo agroflorestal, cultivo tradicional, pousios vegetação nativa conservada

Característica do solo	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	633,0	557,0	610,0	463,0	573,0	537,0
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	173,0	200,0	183,0	207,0	240,0	203,0
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	193,0	243,0	207,0	330,0	187,0	260,0
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1
COT (g kg <sup>-1</sup> )	11,3	21,7	14,7	17,2	15,7	16,5
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,1	1,6	1,2	1,4	1,2	1,5
P (mg dm <sup>-3</sup> )	14,7	3,7	10,6	11,7	2,4	3,4
pH em H <sub>2</sub> O	6,8	6,4	6,9	6,7	6,2	6,5
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,7	11,4	12,6	22,1	8,5	15,2
V (%)	91,5	79,6	87,8	93,8	74,4	87,0

ASP: agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; AG: cultivo convencional; P6: área de cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: área de cultivo tradicional em pousio a nove anos; CAT caatinga conservada. Ds: densidade do solo; COT: Carbono orgânico total (Yeomans; Bremner, 1988); P: fósforo total, Extrator Mehlich<sup>-1</sup> (Defelipo; Ribeiro, 1981) pH: 1:2,5; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

### 3.2.2. Estoques de carbono e nutrientes no solo

Para quantificação dos estoques de N, P, K, Ca, Mg e carbono orgânico total do solo (COT) foram coletadas seis amostras deformadas de solo em cada área. As coletas foram realizadas nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de profundidade. As análises dos teores de nutrientes do solo foram realizadas de acordo com métodos propostos por EMBRAPA (1997) e por Yeomans e Bremner (1988). Os estoques de COT e N foram calculados pela multiplicação de seus respectivos teores (g kg<sup>-1</sup>) pela massa contida nas camadas avaliadas. Os estoques de P, K, Ca e Mg foram obtidos pela multiplicação de seus respectivos teores (g dm<sup>-3</sup>) pelo volume do solo nas camadas avaliadas. Para os cálculos dos teores de nutrientes considerou-se a massa ou o volume do solo em um hectare.

### 3.2.3. Estoques de carbono e nutrientes na serrapilheira

A coleta da serrapilheira produzida pelas árvores e arbustos foi realizada em cada área em 10 coletores de 0,5 m<sup>3</sup> (1,0 m x 0,5 m x 1,0 m) instalados a aproximadamente, 1,1 m de altura em relação à superfície do solo. O material senescente interceptado pelos coletores foi coletado mensalmente durante um ano. Após a coleta o material foi acondicionado e levado ao laboratório, seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas, pesado e moído. Foram obtidos

dados de produção por área por ano e realizadas determinações dos teores de nutrientes (C, N, P, K, Ca e Mg), de acordo com Malavolta et al. (1989). O aporte anual de nutrientes via serrapilheira foi calculado pela multiplicação dos teores de nutrientes presentes na serrapilheira pelo total de serrapilheira produzida em cada área.

#### 3.2.4. Estoques de carbono e nutrientes nas plantas

A parte aérea das herbáceas espontâneas presentes em parcelas de 1m<sup>2</sup> foi coletada durante o período chuvoso de dois anos. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos e levado ao laboratório para serem secados, pesados, moídos e, posteriormente, analisados quanto ao teor dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e C (Malavolta et al., 1989). Os estoques de carbono e nutrientes contidos nas plantas do estrato herbáceo foram obtidos pela multiplicação dos teores de nutrientes pela biomassa total das plantas.

As diferentes partes das plantas arbóreas (tronco, galhos e folhas) foram coletadas para quantificação dos nutrientes estocados. Os galhos (com diâmetro aproximado de 3 cm) e as folhas foram coletados, com o auxílio de um podão, na posição mediana da copa localizados nas posições norte, sul, leste e oeste da copa. O material do tronco das árvores foi coletado a 1,30 m de altura, utilizando-se um trado de incremento, sendo extraído material da casca até o cerne. Os materiais coletados foram acondicionados em sacolas de papel e levados para o laboratório, submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e em seguida, pesadas e moídas. O material seco foi analisado em relação aos teores dos nutrientes C, N, P, K, Ca e Mg (Malavolta et al., 1989). Os estoques de nutrientes nas árvores foram calculados pela multiplicação dos teores de nutrientes pela biomassa das plantas segundo as diferentes partes (tronco, galhos e folhas). A biomassa das plantas foi determinada por meio de equações alométricas baseadas em medições de diâmetro ao nível do peito (1,3 m de altura) (Silva; Sampaio, 2008). Considerou-se que da biomassa aérea total das plantas 70% está no tronco, 25% nos galho e 5% nas folhas (Silva; Sampaio, 2008).

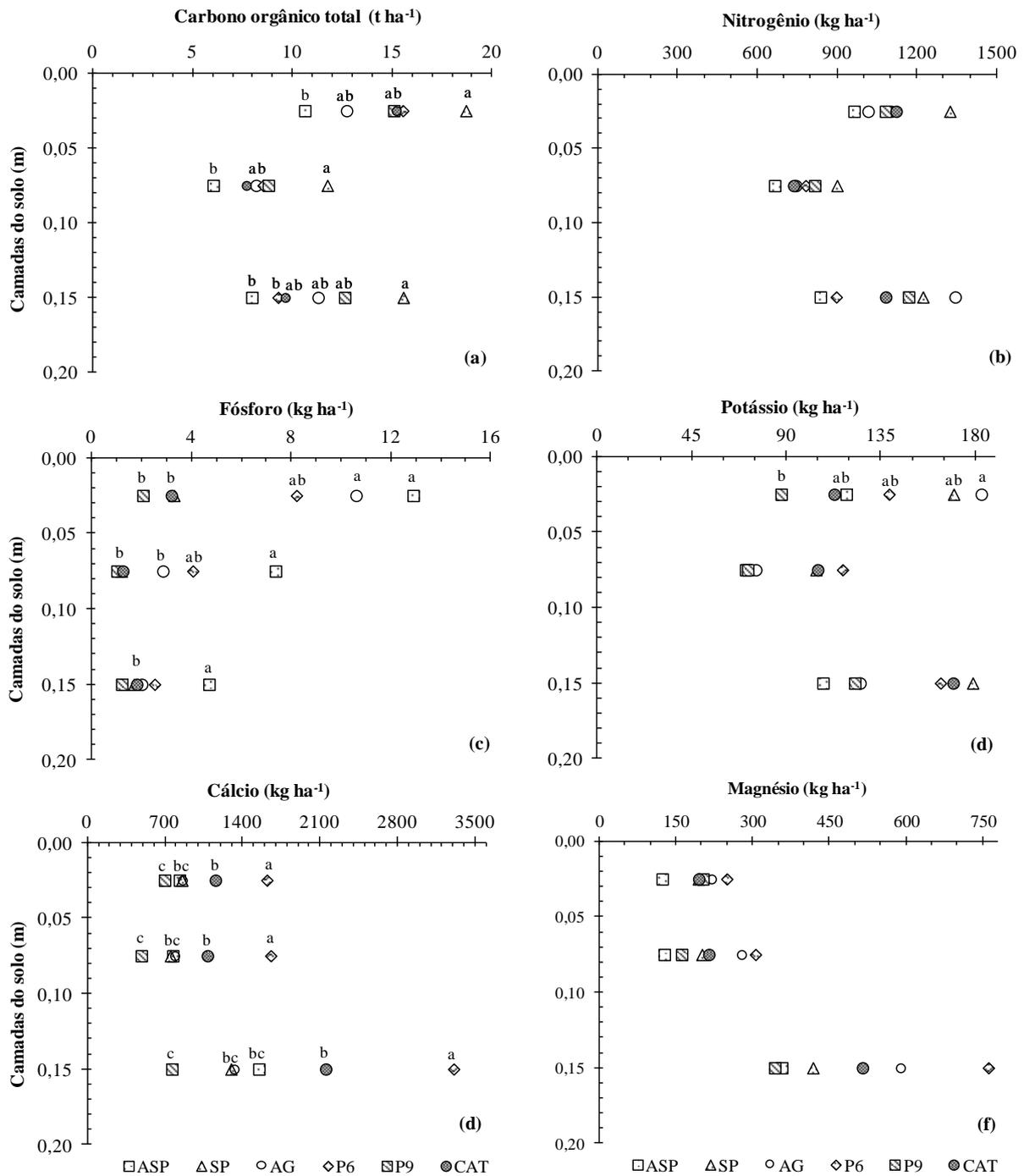
Os estoques de nutrientes e C nas espécies agrícolas foram determinados nas amostras de leucena, gliricídia, milho e sorgo no sistema agrossilvipastoril (ASP) e de milho e sorgo no cultivo tradicional (AG). O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos e levado ao laboratório para serem secados, pesados, moídos e, posteriormente, analisados quanto aos teores de C, N, P, K, Ca, e Mg, conforme Malavolta et al. (1989).

Para verificar os efeitos dos sistemas de manejo, os dados de estoques de carbono e nutrientes obtidos nos diferentes compartimentos (solo, serrapilheira e plantas) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

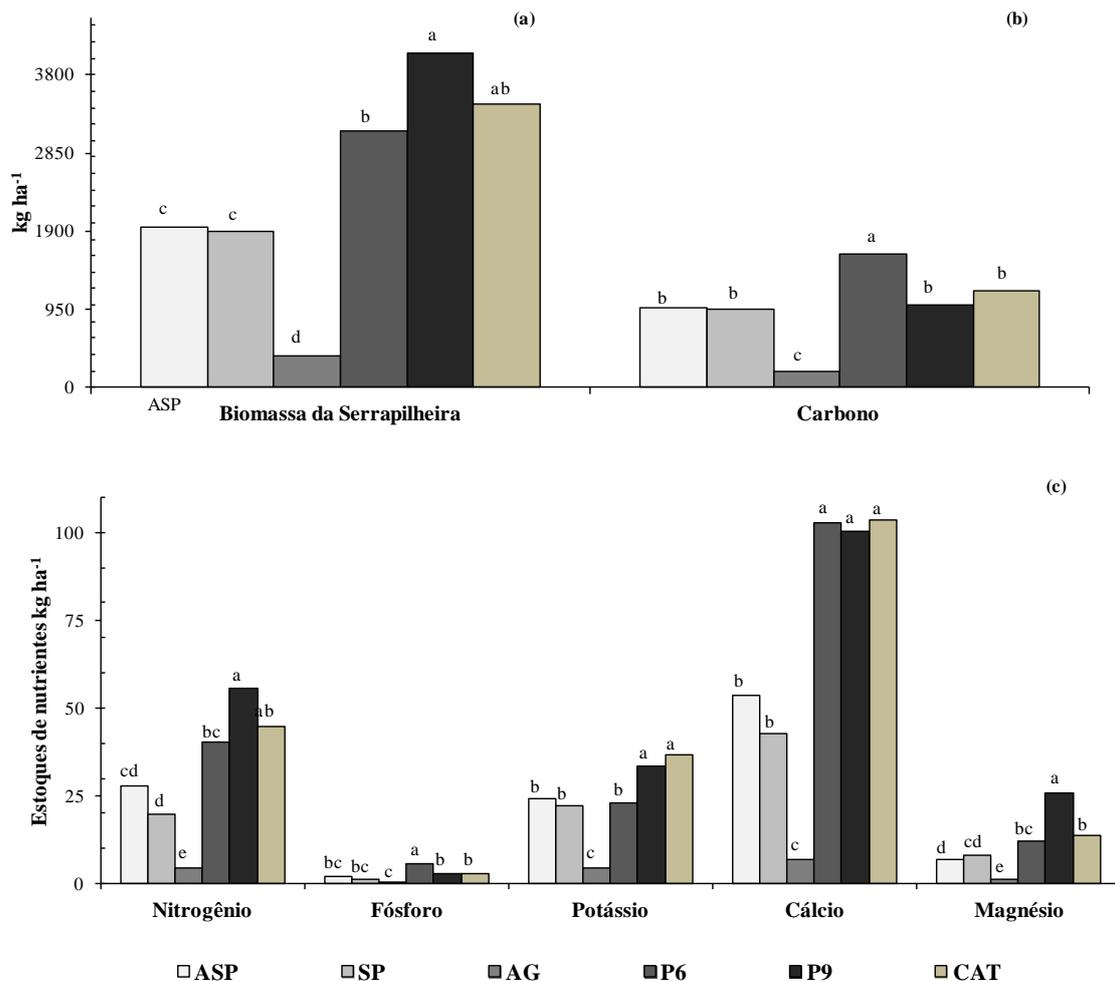
### **3.3. Resultados**

#### **3.3.1 Estoques de C e nutrientes nos diferentes compartimentos dos sistemas de manejo**

Dentre as duas áreas sob manejo agroflorestal, SP apresentou estoques semelhantes a caatinga conservada em relação ao C e nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) presentes no solo (Figura 3.1) e ao C e P da serrapilheira (Figuras 3.2b e 3.2c). Porém nessa área houve aumento nos estoques de C e nutrientes nas plantas herbáceas (Figura 3.3) e redução nos estoques do componente arbóreo da vegetação (Figura 3.4). Em ASP os estoques de C, N, K, Ca e Mg no solo foram iguais aos observados em CAT (Figura 3.1), enquanto que o estoque de P foi maior em ASP. Esta área também promoveu estoques de C e P da serrapilheira e de C, Ca e Mg das herbáceas semelhantes à condição natural. No entanto, os estoques de C e nutrientes das árvores, bem como os de N, K, Ca e Mg na serrapilheira foram reduzidos em comparação a CAT. Apesar de ASP ter promovido os mesmos estoques de C no solo em relação a CAT, seus resultados para esta variável foram inferiores aos observados em SP.



**Figura 3.1.** Estoques de carbono orgânico total (COT), N, P, K, Ca e Mg nas camadas do solo nos sistemas agrosilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP), cultivo tradicional (AG), cultivo tradicional em pousio por seis (P6) e nove (P9) anos e sob vegetação de caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE.

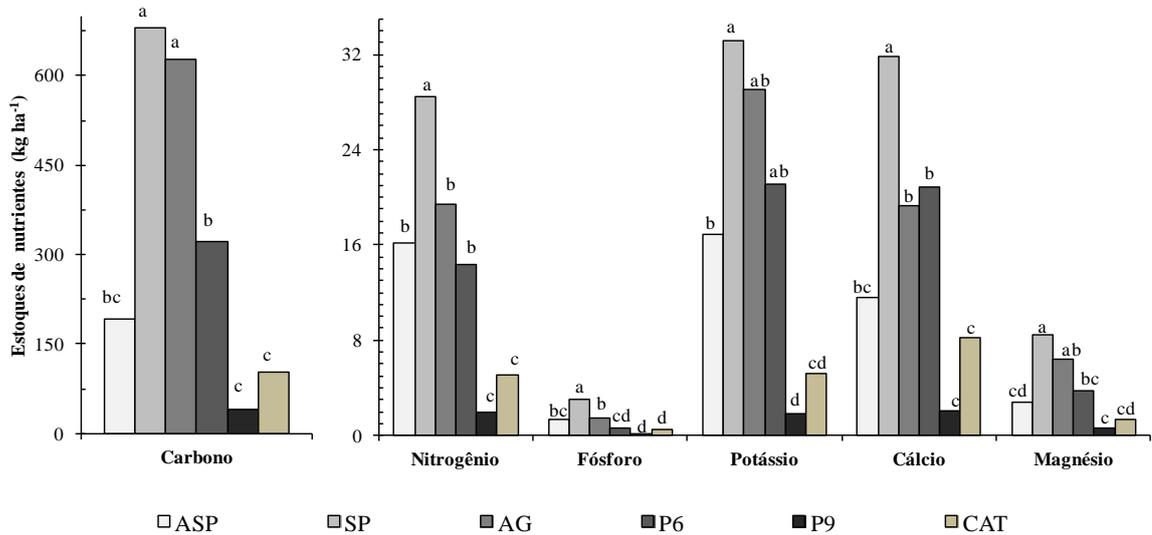


**Figura 3.2.** Produção anual de biomassa da serrapilheira e estoque de C, N, P, K, Ca e Mg nos sistemas agrosilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP), cultivo tradicional (AG), cultivo tradicional em pousio por seis (P6) e nove (P9) anos e sob vegetação de caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE.

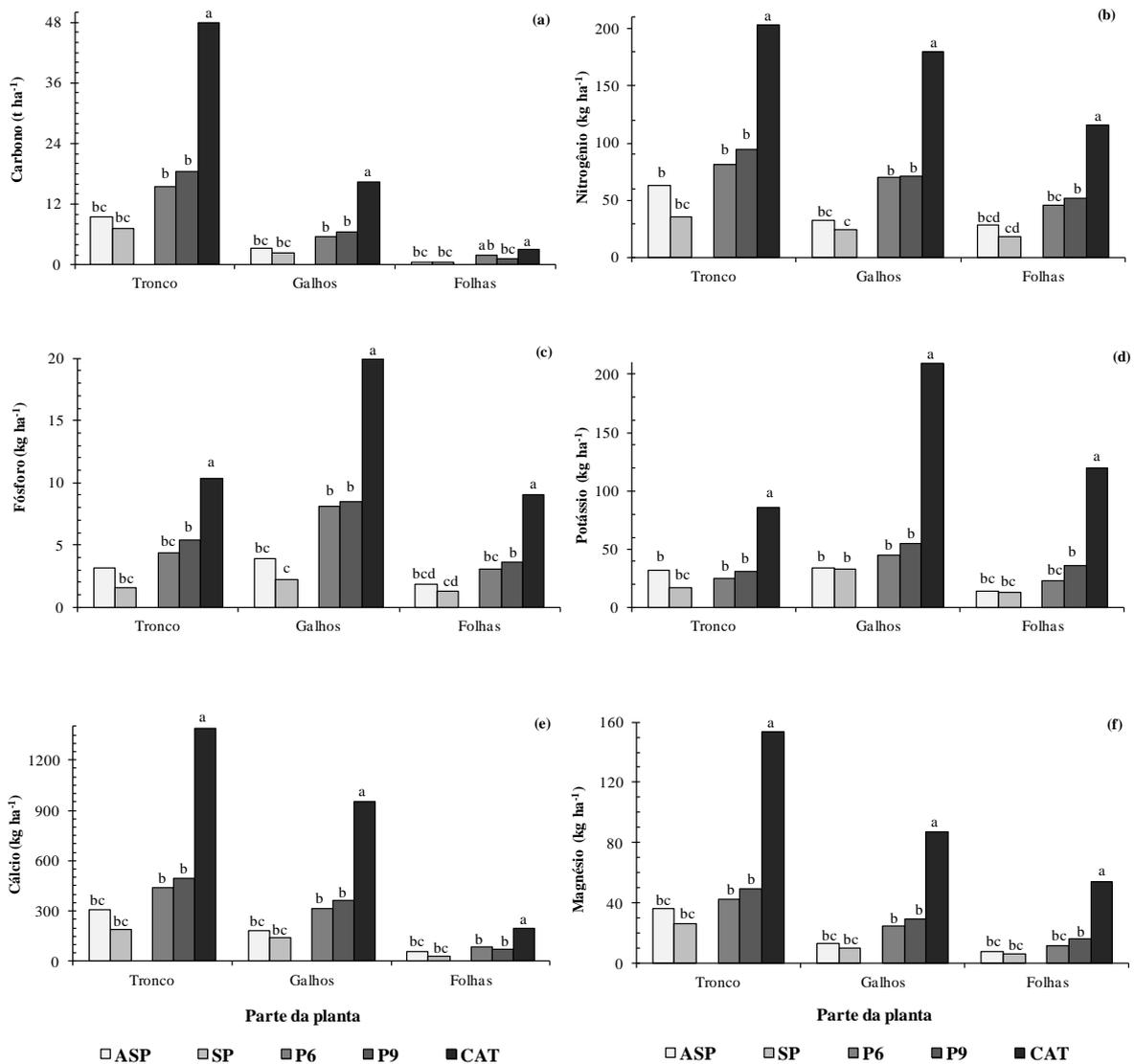
A área de cultivo tradicional não promoveu modificações nos estoques de C e nutrientes do solo (Figura 3.1), comparativamente a caatinga conservada, porém aumentou os estoques do estrato herbáceo (Figura 3.3) e reduziu os da serrapilheira (Figura 3.2). Destaca-se que esta área (AG) não apresenta nenhuma contribuição para os estoques de C e nutrientes no componente arbóreo, uma vez que no seu manejo este foi eliminado totalmente.

Os estoques das áreas em pousio (P6 e P9) foram semelhantes a CAT para o compartimento solo (Figura 3.1). A área em pousio a nove anos também se assemelha à condição nativa quanto aos estoques presentes na serrapilheira (Figura 3.2) e nas plantas herbáceas (Figura 3.3). Porém a área em pousio a seis anos

promoveu maiores estoques de C, P e Mg na serrapilheira (Figura 3.2) e C, N, P, K e Ca nas plantas herbáceas (Figura 3.3) quando comparados aos observados na caatinga conservada. Entretanto, quanto ao componente arbóreo, os dois períodos de pousio foram insuficientes para promoverem estoques semelhantes a CAT (Figura 3.4).



**Figura 3.3.** Estoque de C, N, P, K, Ca e Mg na biomassa das plantas herbáceas nos sistemas agrosilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP), cultivo tradicional (AG), cultivo tradicional em pousio por seis (P6) e nove (P9) anos e sob vegetação de caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE.



**Figura 3.4.** Estoque de C, N, P, K, Ca e Mg na biomassa das plantas arbóreas (caule, galhos e folhas) nos sistemas agrosilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP), cultivo tradicional (AG), cultivo tradicional em pousio por seis (P6) e nove (P9) anos e sob vegetação de caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE.

### 3.3.2. Proporção dos estoques de Carbono e nutrientes nos compartimentos solo, serrapilheira e plantas

Nas áreas que sofreram intervenção antrópica (AG, ASP, SP, P6 e P9), a maior parte do C estava estocada no solo. Em AG 89,5% do carbono se encontrava no solo (Tabela 3.1). Já na área sob ASP, assim como em P6 e P9, a proporção de C no solo foi menor, em torno de 57%. A área sob CAT apresentou padrão contrário

às demais áreas, uma vez que a maior parte do carbono se encontra na vegetação (66,7%).

**Tabela 3.1.** Porcentagem dos estoques de C, N, P, K, Ca e Mg nos compartimentos serrapilheira, solo e vegetação nos sistemas agrosilvipastoril (ASP), silvipastoril (SP), cultivo tradicional (AG), cultivo tradicional em pousio por seis (P6) e nove (P9) anos e sob vegetação de caatinga conservada (CAT), em Sobral-CE

Compartimento	Áreas						
	ASP	SP	AG	P6	P9	CAT	
----- Carbono (%) -----							
Serrapilheira	2,3	1,6	0,5	2,8	1,6	1,2	
Solo (0-0,20 m)	57,7	79,6	89,5	57,1	57,2	32,1	
Plantas	Árvores	31,3	17,6	-	39,6	41,2	66,6
	Herb.	0,5	1,2	1,75	0,6	0,1	0,1
	Cult.	8,3	-	8,2	-	-	-
Total	t ha <sup>-1</sup>	42,6	57,8	35,9	58,4	63,8	101,2
----- Nitrogênio (%) -----							
-							
Serrapilheira	1,0	0,6	0,1	1,3	1,7	1,3	
Solo (0-20 cm)	90,2	96,4	96,4	91,7	91,8	84,3	
Plantas	Árvores	4,5	2,2	-	6,5	6,5	14,3
	Herb.	0,6	0,8	0,6	0,5	0,1	0,2
	Cult.	3,7	-	2,9	-	-	-
Total	t ha <sup>-1</sup>	2,7	3,6	3,2	3,0	3,3	3,5
----- Fósforo (%) -----							
Serrapilheira	3,7	9,1	1,3	15,5	12,0	6,0	
Solo (0-20 cm)	46,4	39,3	47,4	40,4	17,1	12,6	
Plantas	Árvores	16,5	32,7	-	42,6	70,4	80,4
	Herb.	2,6	18,9	4,5	1,6	0,5	1,0
	Cult.	30,8	-	46,8	-	-	-
Total	kg ha <sup>-1</sup>	53,8	15,7	32,6	36,6	24,9	49,4
----- Potássio (%) -----							
Serrapilheira	4,9	3,9	1,0	4,2	7,66	4,35	
Solo (0-20 cm)	59,5	79,3	79,0	75,5	64,25	45,93	
Plantas	Árvores	15,9	11,0	-	16,6	27,67	49,11
	Herb.	3,4	5,8	6,0	3,8	0,4	0,6
	Cult.	16,3	-	14,1	-	-	-
Total	kg ha <sup>-1</sup>	498,5	570,8	485,5	555,5	438,8	843,3
----- Cálcio (%) -----							
Serrapilheira	1,4	1,3	0,2	1,4	3,4	1,5	
Solo (0-20 cm)	83,4	87,0	98,7	87,2	65,3	62,3	
Plantas	Árvores	14,4	10,8	-	11,1	31,2	36,1
	Herb.	0,3	1,0	0,6	0,3	0,1	0,1
	Cult.	0,5	-	0,5	-	-	-
Total	t ha <sup>-1</sup>	3,8	3,3	3,0	7,5	3,0	7,0
----- Magnésio (%) -----							
Serrapilheira	1,0	0,9	0,1	0,9	3,1	1,1	
Solo (0-20 cm)	88,6	93,2	98,4	93,3	85,4	74,9	
Plantas	Árvores	8,4	4,9	0,0	5,6	11,5	23,9
	Herb.	0,4	1,0	0,6	0,3	0,1	0,1
	Cult.	1,6	-	0,9	-	-	-
Total	t ha <sup>-1</sup>	0,7	0,9	1,1	1,4	0,8	1,2

Herb.: herbáceas; Cult.: cultivadas; ASP: sistema agrossilvipastoril; SP: sistema silvipastoril; AG: cultivo tradicional; P6: cultivo tradicional em pousio de seis anos; P9: cultivo tradicional em pousio de nove anos; CAT: caatinga conservada.

Assim como o C, a maior proporção dos estoques de N, Ca e Mg nos agroecossistemas se encontram no solo (Tabela 3.1). O K também é mais abundante no solo para as áreas manejadas e em pousio, porém em CAT é observado em maiores proporções na vegetação (Tabela 3.1). Já o P foi estocado em maior proporção no solo apenas para as áreas ASP, SP e AG, nas demais áreas, se encontra, principalmente, na vegetação (Tabela 3.1). Os estoques de nutrientes nas plantas herbáceas e na serrapilheira foram bem menores que nos demais compartimentos (Tabela 3.1).

### **3.4 Discussão**

A menor quantidade de COT presente em ASP em relação à SP pode ser decorrente das práticas de manejo adotadas em ASP, como por exemplo, capinas das espécies herbáceas, que revolve o solo e favorece a decomposição dos resíduos orgânicos constantemente adicionados. O não revolvimento do solo e a permanente cobertura promovida pela vegetação em SP asseguram maiores teores de COT e, conseqüentemente, culminam em maiores estoques desse elemento. Esse resultado confirma o encontrado por Maia et al.(2007), quando avaliaram o estoque de carbono orgânico nessas áreas oito anos atrás.

Outro aspecto a ser observado se refere aos componentes vegetais vivos (árvores e herbáceas) e morto (serrapilheira). Geralmente, em sistemas agroflorestais, a produção de biomassa e o estoque de C dependem da idade desses sistemas e da estrutura e forma de manejo adotado (Albrecht; Kandji, 2003; Takimoto et al., 2008). Para os dois sistemas agroflorestais avaliados, a estrutura formada pelo componente herbáceo foi significativamente maior no SP do que no sistema ASP. Apesar de pastejado, o estrato herbáceo de SP é formado por um número maior de indivíduos e espécies (Capítulo 1), bem como maior biomassa (Aguiar et al., 2012), por isso a contribuição de C via plantas herbáceas foi substancialmente maior nesta área.

Sistemas silvipastoris podem ser importantes sumidouros de carbono, via solo, porém alguns sistemas agroflorestais intensamente gerenciados com culturas anuais apresentam reduções em relação aos estoques de COT (Mantagnini; Nair,

2004). Os estoques totais de C verificados nos sistemas agroflorestais estudados foram altos em comparação a outras regiões semiáridas, conforme Mantagnini e Nair (2004). No período de treze anos de uso, ASP e SP armazenaram nos compartimentos estudados um total de 3,3 e 4,4 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando somente o armazenado na biomassa arbórea e assumindo que uma tonelada de carbono na biomassa arbórea representa 3,67 t de dióxido de carbono a menos na atmosfera (Turner; Koerper, 1995), a redução potencial das emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera por SP e ASP corresponde a 5,0 e 8,8 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores representam 26 e 47% do sequestro de carbono que ocorre na vegetação arbórea em área de caatinga conservada.

Além disso, os SAFs também podem ter efeito indireto sobre o sequestro de C, por ajudarem a diminuir a pressão sobre áreas de vegetação nativas, que são os maiores sumidouros terrestres de C. Outra importante contribuição dos SAFs para o sequestro de carbono, especialmente para a região semiárida do Nordeste brasileiro, está em evitar a queima da vegetação, prática comum nos sistemas tradicionais. Projetando-se os dados coletados no ASP para os treze anos em que esse manejo é adotado, estima-se que ASP já evitou o desmatamento de aproximadamente 23 hectares. Considerando que em cada hectare de cultivo tradicional são queimados 16,2 t de material lenhoso (Maia et al. 2006), evitou-se a emissão de mais de 1000 toneladas de CO<sub>2</sub>, caso o equivalente ASP fosse cultivado sob manejo tradicional.

Em geral, nos agroecossistemas o C é armazenado em maior quantidade no solo. A proporção do C do solo aumenta em relação aos componentes da vegetação em áreas com pouca e nenhuma cobertura arbórea (Manlay et al., 2002; Takimoto et al., 2008), como foi observado em AG, onde 89,5% do C foi estocado no solo. Apesar de no AG ter sido observado elevados estoques de C no solo, seus estoques totais de C foram reduzidos em 16% quando comparados aos estoques em ASP e em 65% quando comparado com a CAT. Outros estudos realizados em áreas de manejo tradicional confirmam esta tendência de redução, sobretudo para o compartimento solo (Maia et al., 2007; Veum et al., 2011; Novara et al., 2012).

As áreas P6 e P9 recuperaram os estoques de C dos compartimentos solo, serrapilheira e herbáceas, sendo mais evidente quando se compara estas áreas com CAT. Apesar desse fato, os estoques contidos na vegetação arbórea presentes nas

áreas de pousio são inferiores, indicando que ainda não estão completamente recuperadas da perturbação ocasionada pelo sistema de corte e queima adotado para a produção agrícola. Outros estudos mostram que as áreas em pousio (P6 e P9) apesar de terem um número maior de indivíduos e espécies arbóreas (Capítulo 1), ainda não recuperou a biomassa em relação à condição nativa (Capítulo 1). Com isso, essas áreas produziram em média, respectivamente, 3,9 e 2,9 t C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, sendo necessários mais 11 e 14 anos para que as mesmas atinjam patamares semelhantes à caatinga nativa (CAT). Desta forma, estima-se em 17 e 23 anos, o tempo necessário para que P6 e P9 alcancem total recuperação quanto ao estoque de carbono no estrato arbóreo. Outro aspecto que deve ser observado é que essas áreas não respondem ao processo de recuperação de forma semelhante e que o tempo estimado para restabelecimento não é o mesmo. Estes resultados mostram que o tempo de pousio de 10 anos, tradicionalmente adotados (Araújo Filho; Carvalho, 2001), é insuficiente para total reestabelecimento das áreas e a dinâmica da recuperação é diferente para as diversas áreas.

A fração de nutrientes contidos na serrapilheira foi pequena quando comparada aos compartimentos solo e plantas. Contudo, essa fração representa uma importante via de transferência de nutrientes para o solo através da vegetação (Hairiah et al., 2006). Luizão et al. (2006) argumentam que os sistemas agroflorestais produzem menor estoque total de serrapilheira em comparação às áreas nativas. Apesar disso, esse material (serrapilheira) é de fácil decomposição e rapidamente é incorporado ao solo, sob a forma de nutrientes. Estes autores observaram maiores estoques de P, Ca e Mg na serrapilheira de um sistema agroflorestais em relação a uma área em pousio.

Maiores estoques de P na serrapilheira das áreas agroflorestais podem ter sido favorecidos pela maior absorção deste elemento uma vez que apresentam maiores teores no solo (Nogueira et al., 2008) e, conseqüentemente, maiores teores na serrapilheira, o que ocasiona maior estoque. Os menores estoques de N, P, Ca e Mg devem-se a menor quantidade de biomassa da serrapilheira produzidas nas áreas de SAFs (Figura 2a). Por outro lado, os SAFs são mais eficientes na incorporação de nutrientes ao solo do que os sistemas tradicionais. Os resultados mostram que o aporte de nutrientes foi maior em ASP e SP em relação a AG. Os SAFs mostram grande potencial de economia de entrada de nutrientes, pelo

fornecimento via serrapilheira, favorecendo os processos de ciclagem e a sustentabilidade do agroecossistema (Lima et al., 2010).

Esperava-se que ASP estocasse no solo e na serrapilheira maiores teores de nutrientes, principalmente N, devido a presença das leguminosas (*L. leucocephala* e *G. sepium*) podadas periodicamente. Em agroecossistemas que utilizam leguminosas em aléias, a poda das mesmas aumenta os fluxos de nutrientes em comparação à floresta natural (Szott, 1991). Além disso, a adição de nutrientes via material podado, pode estimular o aumento de produção das plantas e da serrapilheira. Estudos realizados por Daudin e Sierra (2008), em sistema agroflorestal, mostram que o N proveniente de *G. sepium* é responsável por 57% dos nutrientes absorvidos por *Dichanthium aristatum* e que destes, 31% foram provenientes da fixação biológica. No entanto, essa prática deve ser observada com cautela, pois as intensidades e os intervalos entre podas podem influenciar a dinâmica dos nódulos fixadores. Estudo com *Erythrina poeppigiana*, promovido por Nygren e Ranírez (1995), mostrou que seus nódulos morrem após as podas e levam dez semanas para reaparecerem.

Os sistemas agroflorestais avaliados apresentaram grande potencial para ciclagem de nutrientes, com produção anual de serrapilheira e aporte de nutrientes superiores ao do cultivo tradicional e intermediários em relação ao da vegetação conservada. Em geral, os estoques totais de nutrientes nas plantas e no solo também se apresentaram menores que a vegetação natural e maiores que o tradicional. A pouca expressividade dos estoques de nutrientes no solo provavelmente se deve as retiradas constantes pela colheita (no ASP) e pastejo (no SP). Kass et al. (1997) destacam que em SAFs, as altas taxas de remoção de nutrientes, ocasionam lento acúmulo de N e matéria orgânica do solo. Assim, seriam necessários vários anos de adoção dos SAFs para que esse acúmulo passasse a ser mais evidente. O ASP manteve um nível de produtividade maior que as médias regionais encontradas para os cultivos tradicionais (IPECE, 2011b). Nos sistemas agroflorestais, as condições de desequilíbrio impostas pelas práticas de cultivo e pelas constantes retiradas de nutrientes pelas colheitas são compensadas favoravelmente pelas práticas de manejo adotadas nessa área, a exemplo da incorporação ao solo das plantas adventícias (Kass et al., 1997). Essas condições de desequilíbrio fazem com que haja, por exemplo, maiores conteúdos de nutrientes

aportados ao solo via plantas herbáceas, periodicamente capinadas e depositadas no solo. Luizão et al (2006) também ressalta a importância das plantas adventícias como importantes componentes dos SAFs, pelo impacto positivo nas características do solo.

Na área ASP, a soma das entradas de nutrientes via serrapilheira, estrato herbáceo e poda das leguminosas fez com que retornassem ao solo cerca de 50% do N, 23% do P, 60% do K, 100% do Ca e 100% do Mg, retirados pelos cultivos. Além dessas entradas, os nutrientes podem entrar nesse tipo de manejo através do esterco de animais. Presume-se que a entrada de esterco ao longo do tempo contribui para a manutenção da produtividade deste sistema. Diferente do manejo agroflorestal, a maior contribuição para o retorno de nutrientes no AG foi oriundo das plantas do estrato herbáceo, os quais somados a serrapilheira, retornaram 24% do N, 12% do P, 50% do K, 100% do Ca e 82% do Mg exportado via colheita, valores consideravelmente menores que o retorno promovido no ASP.

### **3.5 Conclusões**

As reservas de nutrientes e os estoques de carbono nos SAFs estudados (ASP e SP) são intermediários à caatinga conservada (CAT) e sistemas tradicionais (AG), o que leva a concluir que os SAFs apresentaram grande potencial para sequestro de carbono e ciclagem de nutrientes. O ASP contribui para a ciclagem de nutrientes por meio das constantes entradas de nutrientes via serrapilheira, capinas do estrato herbáceo e poda das leguminosas, fazendo com que grande parte dos nutrientes extraídos pelas colheitas volte ao sistema. As áreas P6 e P9 são semelhantes à caatinga conservada (CAT) quanto aos estoques de C e nutrientes nos compartimentos solo, serrapilheira e plantas herbáceas, porém, os estoques contidos na vegetação arbórea ainda são inferiores. Para que P6 e P9 tenham estoques arbóreos semelhantes a caatinga conservada, ainda seriam necessários mais 11 e 14 anos, respectivamente.

## Referências

- Aguiar, M.I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A.; 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.
- 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?. *Agroforestry Systems*. DOI 10.1007/s10457-012-9590-9
- Albrecht, A.; Kandji, S.T., 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99:15–27.
- Almeida, M.V.R.; Oliveira, T.S.; Bezerra, A.M.E., 2009. Biodiversidade em sistemas agroecológicos no município de Choró, CE, Brasil. *Ciência Rural*, 39:1080-1087.
- Antle, J.M.; Stoorvogel, J.J.; Valdivia, R.O., 2007. Assessing the economic impacts of agricultural carbon sequestration: Terraces and agroforestry in the Peruvian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122:435-445.
- Araújo Filho, J.A., 2002. Histórico do uso dos solos da caatinga. In.: 500 anos de uso do solo no Brasil (Araújo, Q.R., org). Ilhéus: Editus.
- Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C., 2001. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. pp101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e sub tropicais (Carvalho, M.M., Alvim, M.J., Carneiro, J.C., eds.), Brasília: FAO.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe/Natal 1981. Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Usos Potenciais da Terra. Rio de Janeiro, 740p. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Campanha, M.M.; Araújo, F.S.; Meneses, M.O.T.; Silva, V.M.R.; 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.

Daudin, D.; Sierra, J., 2008. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126:275-280, 2008.

Delitti, W.B.C., 1995. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. *Oecologia Brasiliensis*, 1:469-486.

Drumond, M.A.; Morgado, L.B.; Ribaski, J.; Albuquerque, S.G.; Carvalho, O.M., 2004. Contribuição da Embrapa Semi-árido para o desenvolvimento dos sistemas agroflorestais no Semi-árido brasileiro. *Agrossilvicultura*, 1:145-153.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA., 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 212p.

Gliessman, S. R., 2005. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 653p

Gliessman, S.R.; Rosado-May, F.J.; Guadarrama-Zugasti, C; Jedlicka, J.; Cohn, A.; Mendez, V.E.; Cohen, R.; Trujillo, L.; Bacon, C.; Jaffe, R., 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16:13-23.

Hairiah, K.; Sulistyani, H.; Suprayogo, D.; Widiyanto.; Purnomosidhi, P.; Widodo, R.H.; Van Noordwijk, M., 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management*, 224:45-57.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará., 2011a. Perfil Básico Municipal, Sobral. Fortaleza: SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará., 2011b. Agronegócio Cearense: um balanço de 2010 e desempenho no 1º trimestre de 2011. Fortaleza: SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará.

Iwata, B. F. Leite, L.F.C.; Araújo, A.S.F.; Nunes, L.A.P.L.; Gehring, C.; Campos, L.P., 2012. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16:730–738.

Kass, D.C.L.; Sylvester-Bradley, R.; Nygren, P. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Biology & Biochemistry*, 29:775-785.

Lima, S.S. Leite, L.F.C.; Aquino, A.M.; Oliveira, F.C.; Castro, A.A.J.F., 2010. Serrapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. *Revista Árvore*, 34:75-84.

Luizão, F. J.; Tapia-Coral, S.; Gallardo-Ordinola, J.; Silva, G.C.; Luizão, E.C.C.; Trujilli-Cabrera, L.; Wandelli, E.; Fernandes, E.C.M., 2006. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. pp. 87-100 In: *Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável* (Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Gama-Rodrigues, E.F.; Freitas, M. S. M., Org.). Campos dos Goytacazes, RJ.: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

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

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonca, E.S.; Araujo 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.F.; Xavier, F.A.S.; 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 Ciências do Solo*, 32:381-392.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, A.S., 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201p.

Manlay, R. J. Chotte, J-J.; Masse, D.; Laurent, J-Y.; Feller, C., 2002. Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna III. Plant and soil components under continuous cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:249–269.

Marin, A.M. Menezes, R.S.C.; Silva, E.D.; Sampaio, E.V.S.B., 2006. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistemas agroflorestais no agreste paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:555-564.

Montagnini, F., Nair, P.K.R., 2004 Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61:281-295.

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. *Revista Ceres*, 55:327-337.

Novara, A. La Mantia, T.; Barbera, V.; Gristina, L., 2012. Paired-site approach for studying soil organic carbon dynamics in a Mediterranean semiarid environment. *Catena*, 89:1-7.

Nygren, P.; Ramirez, C., 1995. Production and turnover of N<sub>2</sub> fixing nodules in relation to foliage development in periodically pruned *Erythrina peoppigiana* (Leguminosae) trees. *Forest Ecol. Manage*, 73:59–73.

Odum, E.P., 1996. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164:262-270.

Perez, C. Roncoli, C., Neely, C., Steiner, J.L., 2007. Carbon sequestration markets benefit low-income producers in semi-arid Africa? Potentials and challenges. *Agricultural Systems*, 94:2-12.

Silva, G.C.; Sampaio, E.V.S.B., 2008. Biomassas de partes aéreas em plantas da Caatinga. *Revista Árvore*, 32:567-575.

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*, 167-168:61-70.

Soto-Pinto, L. Anzueto, M.; Mendoza, J.; Ferrer, G. J.; Jong, B., 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, México. *Agroforestry Systems*, 78:39-51.

Szott, L.T.; Fernandes, E.C.M.; Sanchez, P.A., 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45:127-152.

Takimoto, A.; Nair, P.K.R.; Nair, V.D., 2008. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125:159–166.

Turner, D.P.; Koerper, G.J., 1995. Carbon sequestration by forests of the United States: Current status and projections to the year 2040. *Tellus*, 41:232-239.

Veum, K. S. Goyne, K. W.; Holan, S. H.; Motavalli, P. P., 2011 Assessment of soil organic carbon and total nitrogen under conservation management practices in the Central Claypan Region, Missouri, USA. *Geoderma*, 167-168:188-196.

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 4 - ANÁLISE EMERGÉTICA DE SISTEMAS DE USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

M. I. AGUIAR<sup>2;3</sup>; J. S. FIALHO<sup>2;4</sup>; M. M. CAMPANHA<sup>5</sup>; T. S. OLIVEIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Manuscrito submetido a revista Ciência Florestal (ISSN 0103-9954) em 10 de fevereiro de 2012;

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará; <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí;

<sup>4</sup>Universidade Estadual do Ceará; <sup>5</sup>Embrapa Milho e Sorgo; <sup>6</sup>Universidade Federal de Viçosa

**RESUMO** - A análise emergética é utilizada para avaliar sistemas de manejo agrícola a fim de diagnosticar sua eficiência no uso dos recursos econômicos e naturais. Neste sentido, a análise emergética foi utilizada com o objetivo de avaliar um modelo de produção agroflorestal, comparativamente ao modelo de produção tradicional utilizado na região semiárida nordestina. O modelo agroflorestal é composto de três subsistemas: agrossilvopastoril (ASP), silvopastoril (SP) e caatinga conservada (CAT). No modelo tradicional avaliou-se três subsistemas: área em cultivo (AG); área em pousio a seis anos (P6) e área em pousio a nove anos (P9). Em cada modelo e seus respectivos subsistemas, foram identificados todos os fluxos de entrada e saída de energia. Posteriormente estes fluxos foram quantificados e transformados em energia utilizando seus respectivos valores de transformidade. O desempenho emergético dos sistemas e subsistemas foi avaliado por meio dos índices: transformidade (Tr), razão de investimento emergético (EIR), razão de rendimento emergético (EYR), índice de Renovabilidade emergética (%R), taxa de carga ambiental (ELR) e índice de sustentabilidade emergética. Observou-se que o modelo agroflorestal utiliza menor quantidade (-13%) de recursos naturais do que o modelo tradicional. No entanto, o modelo agroflorestal utiliza 64% a mais dos recursos da economia utilizado em AG. Mais de 55% da energia demandada nos subsistemas ASP e AG é proveniente de serviços. Os subsistemas que demandam maior quantidade de energia e obtiveram menor eficiência foram o SP, do modelo agroflorestal, e o AG, do modelo tradicional. Os valores de Tr foram menores em CAT (2,6E+03) e maiores em AG (2,4E+05). O ELR foram baixos em todas as áreas, variando de 0,00 em P6 e P9 à 0,58 em SP. Os valores de R(%) variaram de 60,76 em AG à 99,98 em P6. O sistema agroflorestal teve melhor desempenho emergético devido sua menor Tr, menor ELR e maior renovabilidade.

**Palavras chaves:** Sistemas agroflorestais. Energia. índice de sustentabilidade.

## EMERGY ANALYSIS FOR DIFFERENT LAND USE SYSTEMS OF BRAZIL'S SEMIARID REGION

**ABSTRACT** - Emergy analysis is used to evaluate agricultural management systems, with the goal of assessing their efficiency in the use of economic and natural resources. Here, we used emergy analysis to study an agroforestry production model and compare it to a traditional production model used in the semiarid northeast region. The agroforestry model is composed of three subsystems: agrosilvopastoral (ASP), silvopastoral (SP) and preserved *caatinga* vegetation (CAT). Three sub-systems were also evaluated under the traditional model: traditional cropping (AG), and areas under fallow for six (F6) and nine (F9) years. In each model and its respective subsystems, all influxes and outflows of energy were identified. These fluxes were quantified and transformed into emergy using their respective transformity values. The emergy performance of the systems and subsystems was assessed using several indices: transformity (Tr), emergy investment ratio, emergy yield ratio, emergy renewability index (%R), environmental loading rate (ELR) and emergy sustainability index. We found that the agroforestry model uses less (-13%) natural resources than the traditional model. On the other hand, the agroforestry model uses 64% more economic resources than AG. More than 55% of the emergy used in the ASP and AG subsystems consisted of services. The subsystems which used the most emergy and yielded the lowest efficiency were SP in the agroforestry model and AG in the traditional model. Values for Tr were lowest in CAT ( $2.6E+03$ ) and greatest in AG ( $2.4E+05$ ). The ELR were low in all areas, and varied between 0 in F6 and F9 to 0.58 in SP. Values for R(%) varied between 60.76 in AG and 99.98 in F6. The agroforestry system displayed better emergy performance through lower Tr and ELR, and greater renewability.

**Keywords:** Agroforestry. Emergy. Sustainability index.

### 4.1. Introdução

Energia é toda energia incorporada ao processo de obtenção de um recurso, produto ou serviço (Brown; Ulgiati, 1997; Odum, 1996). A Teoria da Emergia dos sistemas, desenvolvida a mais de três décadas (Odum, 1994, 1996) fornece uma

unidade (Emjoule) e um método (Análise emergética) que possibilitam a conversão de todos os fluxos de energia provenientes de diferentes fontes e qualidades, em uma unidade comum (Odum, 1996). A conversão dos diferentes fluxos para Emjaules solares é feita pela multiplicação do valor disponível na sua unidade original (J, kg, \$\$) por seu respectivo valor de transformidade solar (Sej/unidade). A transformidade é definida como a radiação solar direta ou indiretamente requerida para criar outra forma disponível de energia (Odum, 1996), ou seja, é a energia gasta no processo de produção de um determinado produto. Vários autores utilizaram a análise emergética para avaliar e comparar diferentes sistemas agrícolas (Ortega et al., 2005; Cavalett et al., 2006; Lu et al., 2006; Martin et al., 2006; Agostinho et al., 2008; Cavalett; Ortega, 2009; Lu et al., 2009; Agostinho et al., 2010; Alfaro-Arguello et al., 2010). Alguns destes estudos evidenciam a eficiência das propriedades agrícolas que adotam conceitos agroecológicos na transformação da energia, indicando maior uso de recursos renováveis, coexistência com a natureza e rentabilidade econômica (Lefroy; Rydberg, 2003; Ortega et al., 2005; Agostinho et al., 2008, 2010). Neste sentido, Lu et al. (2006) destacam a importância de se realizar a análise emergética dos sistemas agrícolas considerando as diferentes unidades produtivas como subsistemas. E assim, verificar os fluxos internos de cada subsistemas, suas contribuições em relação ao sistema como um todo, e seus co-produtos, a exemplo de mudanças na qualidade do solo, e seus efeitos dentro do agroecossistema.

Projeções de cenários mundiais mostram que os modelos de desenvolvimento atuais ameaçam a sobrevivência humana (MEA;WRI, 2012). Atualmente, os modelos adotados para a produção agropecuária têm causado degradação das terras, poluição ambiental, dependência de insumos externos, perda da diversidade genética, redução da participação da população rural sobre a produção agrícola e desigualdade global (Gliessman, 2005). Especificamente na região semiárida brasileira, os sistemas agrícolas tradicionalmente utilizados, além de serem de baixa produtividade, causam degradação dos ecossistemas, perda da biodiversidade e êxodo rural (Araújo Filho, 2002). Grande parte das áreas utilizadas na agropecuária nessa região se encontra gravemente afetadas pela desertificação (Gomes et al., 2007; Sá et al., 2004), ocasionando prejuízos econômicos que chegam a 100 milhões de dólares anuais (Lacerda; Lacerda, 2004). A tentativa de reversão deste quadro exige conhecer mecanismos ecológicos e evolutivos para

restauração da biodiversidade destes ambientes e que possibilite a construção de modelos de produção agrícola integrados ao ambiente, minimize os efeitos da degradação ambiental e promovam o desenvolvimento econômico. Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) são considerados como alternativas viáveis.

Os SAFs são sistemas de uso da terra em que culturas tradicionais são consorciadas com árvores e/ou animais, com melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema, no tempo e no espaço (Nair, 1993). Os mesmos vêm sendo pesquisados como alternativa ao manejo agropecuário tradicional, adotado por agricultores do semiárido brasileiro (Araújo Filho; Carvalho, 2001; Drumond et al., 2004; Marin et al., 2006). Araújo Filho e Carvalho (2001) descrevem um sistema que visa conservar a vegetação nativa e aumentar a produtividade agrícola, por meio da interação entre as atividades agrícolas, silvícolas e pastoris. Neste modelo, a área é subdividida em três parcelas: uma mantida como reserva nativa de caatinga e as demais utilizadas para pastejo e cultivos de grãos, respectivamente. As duas áreas manejadas conservam uma porcentagem de cobertura arbórea nativa (de 20 a 38%) e a área de cultivo utiliza aléias de leguminosas (leucena e gliricídia), empregadas como banco de proteínas para os animais e como adubo verde. Diversos estudos foram realizados nessas áreas, ressaltando os aspectos positivos dos SAFs, tais como: melhor qualidade do solo (Maia et al., 2006; 2008, Nogueira et al., 2008; Silva et al., 2011), redução da erosão hídrica (Aguiar et al., 2010), maior produção e aporte de biomassa vegetal no solo (Maia et al., 2007), manutenção da diversidade vegetal (Campanha et al., 2011), maior produtividade das culturas (Araújo Filho e Carvalho, 2001) e viabilidade econômica da produção de ovinos (Bloc, 2008). Todavia, esses estudos foram realizados utilizando-se indicadores e unidades próprios. Falta uma avaliação holística dos efeitos ecológicos e econômicos do sistema, que utilize uma unidade geral e integre as diferentes propriedades dos sistemas, analisando-os como um conjunto. Esta avaliação permitirá melhor definição dos níveis de sustentabilidade dos SAFs, o que pode ser possível utilizando-se o conceito de emergia, proposto por Odum (1996).

Neste trabalho objetiva-se realizar a análise emergética em dois modelos de produção: agroflorestal e tradicional e seus subsistemas, a fim de compará-los quando a eficiência emergética.

## 4.2. Material e métodos

### 4.2.1. Área de estudo e sistemas de manejo avaliados

As áreas estudadas localizam-se na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPACO) da EMBRAPA, situada em Sobral, Ceará, Brasil. A temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais do município de Sobral são 27°C e 821 mm (IPECE, 2011), respectivamente. O clima é tropical equatorial seco, muito quente e semiárido do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen (BRASIL, 1981). O período chuvoso se estende de janeiro a maio (IPECE, 2011). Na área do experimento (9582600S – 9583600S e 352200W – 352800S), a precipitação pluviométrica média anual dos últimos 10 anos foi de 989 mm. O solo da área é representado por manchas de Luvisolos Crômico Órtico típico e Hipocrômico Órtico típico (Aguiar et al., 2010). A vegetação é composta por uma savana caducifólia espinhosa, regionalmente conhecida como Caatinga (Cole, 1960).

Desde 1997, desenvolve-se experimento de longa duração que avalia SAFs como sistemas de produção sustentáveis propostos como alternativas aos sistemas tradicionais da região (Araújo Filho; Carvalho, 2001). O modelo agroflorestal (AGROF) é composto de três subsistemas: Agrossilvipastoril (ASP), onde se cultiva milho e sorgo em aléias formadas por leucena ou gliricídia; Silvipastoril (SP), área de caatinga releada e rebaixada, utilizada para pastejo de caprinos e ovinos; e, caatinga conservada (CAT), área mantida como reserva. O modelo tradicional (TRAD) consiste em desmatamento e queimada de toda a vegetação nativa seguido de cultivo por dois anos (agricultura de corte e queima). Após os dois anos de cultivo a área é deixada em pousio e utiliza-se nova parcela para o plantio. Desta forma, as áreas utilizadas neste manejo são formadas por uma parcela em cultivo e várias outras em diferentes épocas de pousio. Deste sistema de manejo foram selecionadas uma área em cultivo tradicional (AG) de milho e sorgo em monocultura e duas em pousio a seis e nove anos (P6 e P9), respectivamente. Os sistemas de cultivo e o histórico de manejo das áreas estão descritos na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Descrição dos sistemas agroflorestais, cultivos tradicionais e caatinga conservada

Áreas	Sistemas de cultivo	Histórico e manejo do solo
<b>Modelo agroflorestal</b>		
<i>Agrossilvipastoril</i> (AGP) (3,5 ha)	Cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) (estação chuvosa) em aléias formadas por leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) R. de Wit.) e glirícidia ( <i>Gliricida Sepium</i> (Jacq.) Steud). As leguminosas são podadas duas vezes ao ano. Durante o período seco, a área é utilizada como banco de proteínas para as matrizes ovinas (22) e caprinas (17), que permanecem na área uma hora por dia.	1997 - Rebaixamento e raleamento da vegetação nativa com preservação de 20% da cobertura vegetal arbórea. Formação aléias de leucena a cada 3 metros, perpendicular ao declive predominante. 2005 – substituição de parte das leucenas por gliricídias e cultivo de sorgo. Utilizam-se capinas manuais (com enxada) para controle das herbáceas. A área é sub dividida em duas subáreas, de tamanhos iguais, para produção caprina e ovina, respectivamente.
<i>Silvipastoril</i> (SP) (9,2 ha)	Pastagem nativa para um rebanho de 20 matrizes caprinas e 20 matrizes ovinas, alocadas, respectivamente, em duas subáreas, de tamanhos iguais.	Em 1997 a vegetação lenhosa foi raleada e rebaixada, preservando, aproximadamente, 38% da cobertura vegetal arbórea (260 árvores ha <sup>-1</sup> ). Uma poda das rebrotações das plantas rebaixadas é feita anualmente.
<i>Vegetação nativa</i> (CAT) (1,2 ha)	Vegetação nativa regionalmente conhecida como Caatinga, composta por uma savana caducifólia espinhosa. Utilizada como referência para as áreas manejadas	Vegetação conservada (mais de 50 anos), com registros de corte de algumas árvores anterior a 1981 e pastejo eventual no final do período seco e início do chuvoso.
<b>Modelo tradicional</b>		
<i>Cultivo Tradicional</i> (TR) (1,0 ha)	Monocultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) no período chuvoso de 2010.	Em 2009 (período seco) fez-se desmatamento e queima de toda a vegetação. Em 2010 foi realizado o preparo manual do solo (com enxada) e plantio das culturas.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de seis anos</i> (P6) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2002 e 2003, seguido de pastejo por 10 matrizes caprinas (período seco).	Desmatamento e queima de toda a vegetação em 2001, preparo manual do solo e cultivo de milho em 2002 e 2003. Durante os dois anos, após a colheita, um rebanho de 10 matrizes caprinas tiveram acesso a área para consumirem os restos vegetais, e a partir de 2004, a área foi deixada em pousio, para permitir a regeneração da vegetação nativa.
<i>Cultivo Tradicional em pousio de nove anos</i> (P5) (1,0 ha)	Cultivo anual de milho ( <i>Zea mays</i> L.) durante os períodos chuvosos dos anos de 2000 e 2001, seguido de pastejo por 10 matrizes.	Histórico semelhante a TRAD6, porém com as práticas de desmatamento e queima realizada em 1999, e plantio em 2000 e 2001.

#### 4.2.2. Análise emergética

A análise emergética foi realizada conforme Odum (1996; 2000) e Brown; Ulgiati (2004), em três etapas que consistem em construir os diagramas sistêmicos das áreas, quantificar os componentes do fluxo energético e calcular os índices emergéticos. Os diagramas sistêmicos foram elaborados seguindo a linguagem de sistemas conforme Odum (1996). Os diagramas demarcam os limites dos sistemas de manejo e organizam a relação entre os dados coletados, englobando os fluxos, interações e estoques, de massa e de energia, identificados em cada área. Foram elaborados oito diagramas: um considerando os sistemas de manejo agroflorestal, um considerando o sistema de manejo tradicional e seis representando seus respectivos subsistemas (ASP, SP, CAT, AG, P6 e P9). A contribuição dos componentes do fluxo energético foi obtida em trabalhos anteriores e sua conversão em termos de Jaules de energia solares foi realizada usando seu respectivo valor de transformidade (Anexo A).

Os fluxos identificados foram classificados de acordo com a procedência em recursos naturais renováveis, recursos naturais não renováveis, recurso da economia, serviços e produtos (Odum, 1996). Foram consideradas as renovabilidades parciais dos materiais e serviços, conforme Ortega et al. (2002) e Agostinho et al. (2008). As modificações da qualidade do solo foram consideradas como co-produto, quando o manejo promoveu melhoria, ou energia gasta no processo, quando o manejo provocou perda da qualidade (Lu et al., 2006). O desempenho emergético dos sistemas foi avaliado por meio dos índices: transformidade (Tr), razão de investimento emergético (EIR), razão de rendimento emergético (EYR), índice de Renovabilidade emergética (%R), taxa de carga ambiental (ELR) e índice de sustentabilidade emergética (ESI) (Ulgiati et al., 1995; Odum, 1996; Brown; Ulgiati, 1997; Ortega et al., 2002). Uma breve explicação e as fórmulas pelas quais se obtém esses índices são apresentadas na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2.** Índices usados na análise emergética

Índice	Fórmula	Significado
Transformidade (Tr)	Y/E	Energia total incorporada (Y; energia) gasta por energia de produto gerado (E). Avalia a qualidade do fluxo de energia e eficiência do sistema.
R. Rendimento emergético (EYR)	Y/F	Contribuição da energia proveniente dos recursos da economia (F) em relação a energia total. Permite conhecer o benefício líquido.
R. Investimento emergético	F/I	Mede a energia retro-alimentada do setor econômico (F) em relação às entradas da energia do ambiente (I)
Renovabilidade (%R)	$[(R+M_R+S_R)/Y]*100$	Contribuição da energia proveniente dos recursos renováveis (R) sobre o total. Faz inferência a sustentabilidade do sistema.
Taxa de carga ambiental (ELR)	$(N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$	Relação entre as energias não renováveis e as renováveis. Indica o nível de tecnologia utilizado e o impacto causado no ambiente pelos sistemas.
Índice de sustentabilidade emergética (ESI)	EYR/ELR	É a relação entre os índices de rendimento emergético e o de carga ambiental. Indica a sustentabilidade do sistema.

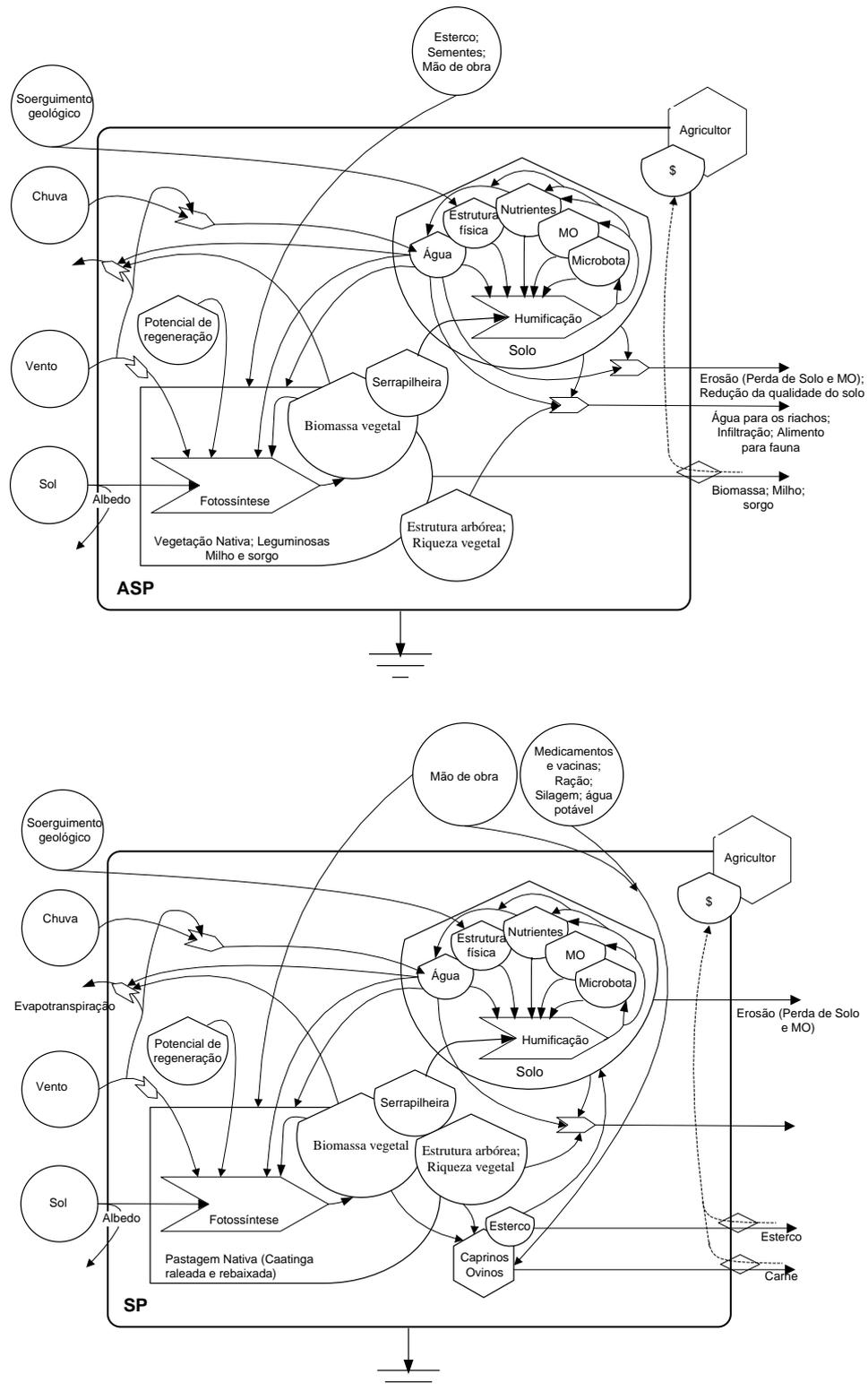
Y = I + F; I = R+N; F = M+S; Y = energia total; I = recursos da natureza; F = recursos do mercado; R = energia proveniente de recursos renováveis; N = energia proveniente de recursos não renováveis; M = energia de materiais; S = energia de serviços;

### 4.3. Resultados e discussão

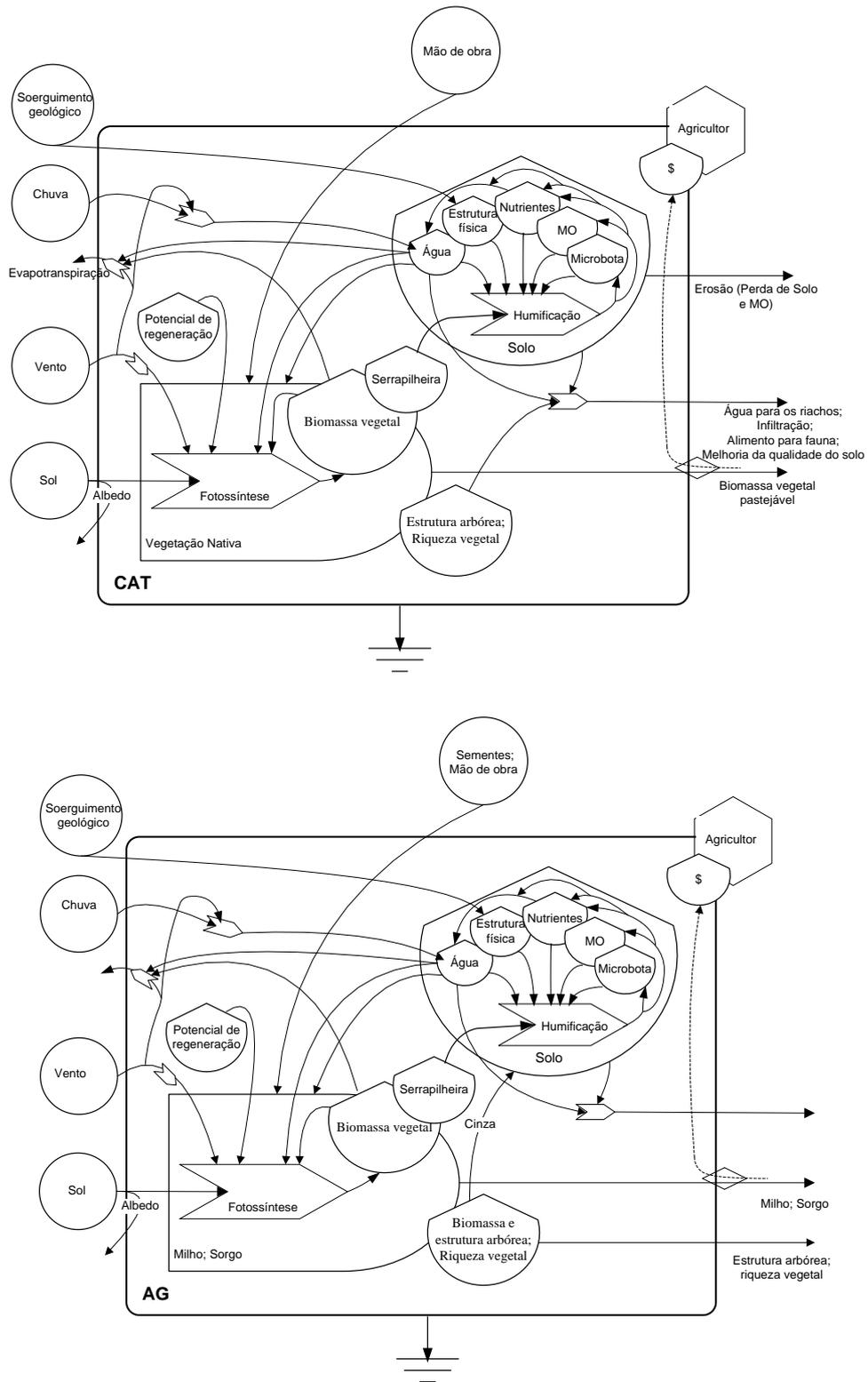
#### 4.3.1 Descrição dos diagramas sistêmicos

Os recursos naturais renováveis que suportam os subsistemas avaliados (Figuras 4.1 a 4.4) são provenientes do sol, chuva, soerguimento geológico, da microbiota do solo {Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM)}, da matéria orgânica do solo (MO) e dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) disponíveis no solo. Os componentes do solo foram considerados como recursos naturais renováveis, uma vez que seus usos não têm causado redução em suas quantidades quando comparadas com a caatinga conservada (Capítulo 3). Isso indica que a

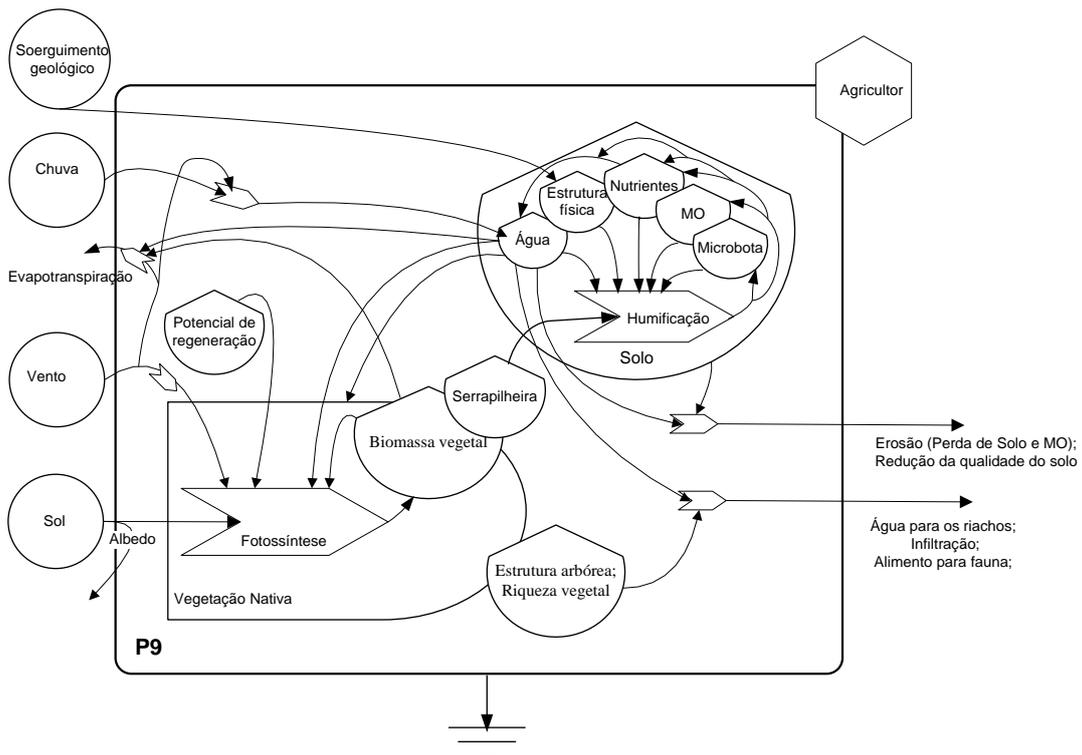
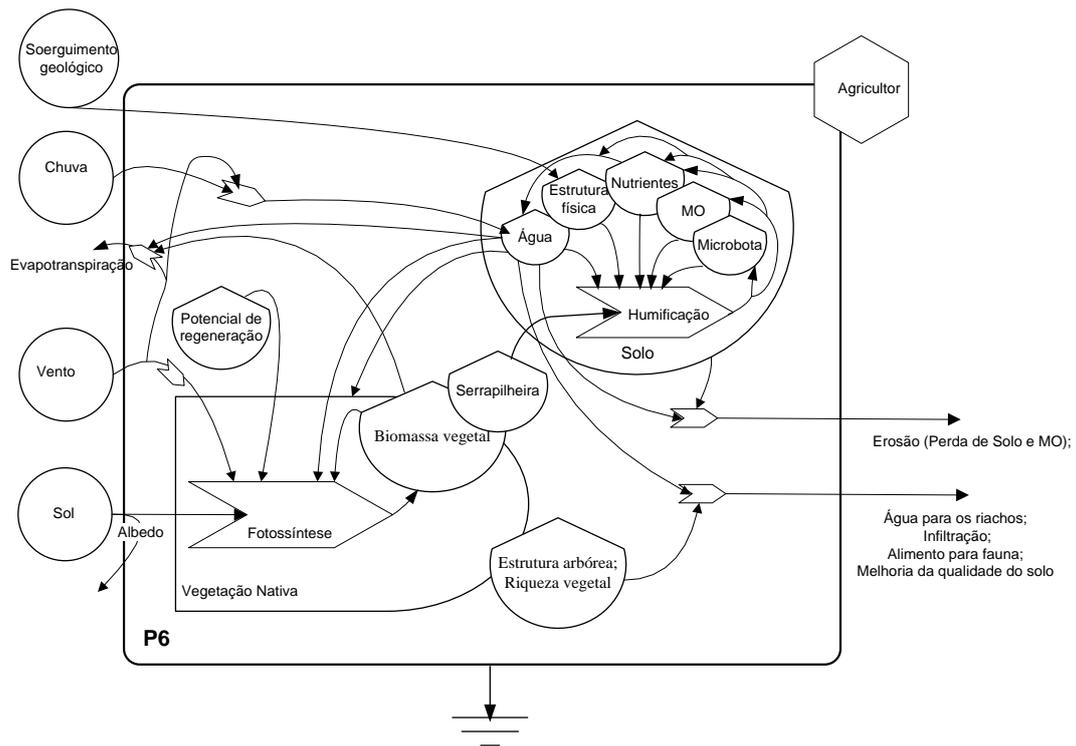
utilização desses recursos pelo sistema não excede o processo de produção geológica, sendo, portanto, renováveis (Agostinho et al., 2008).



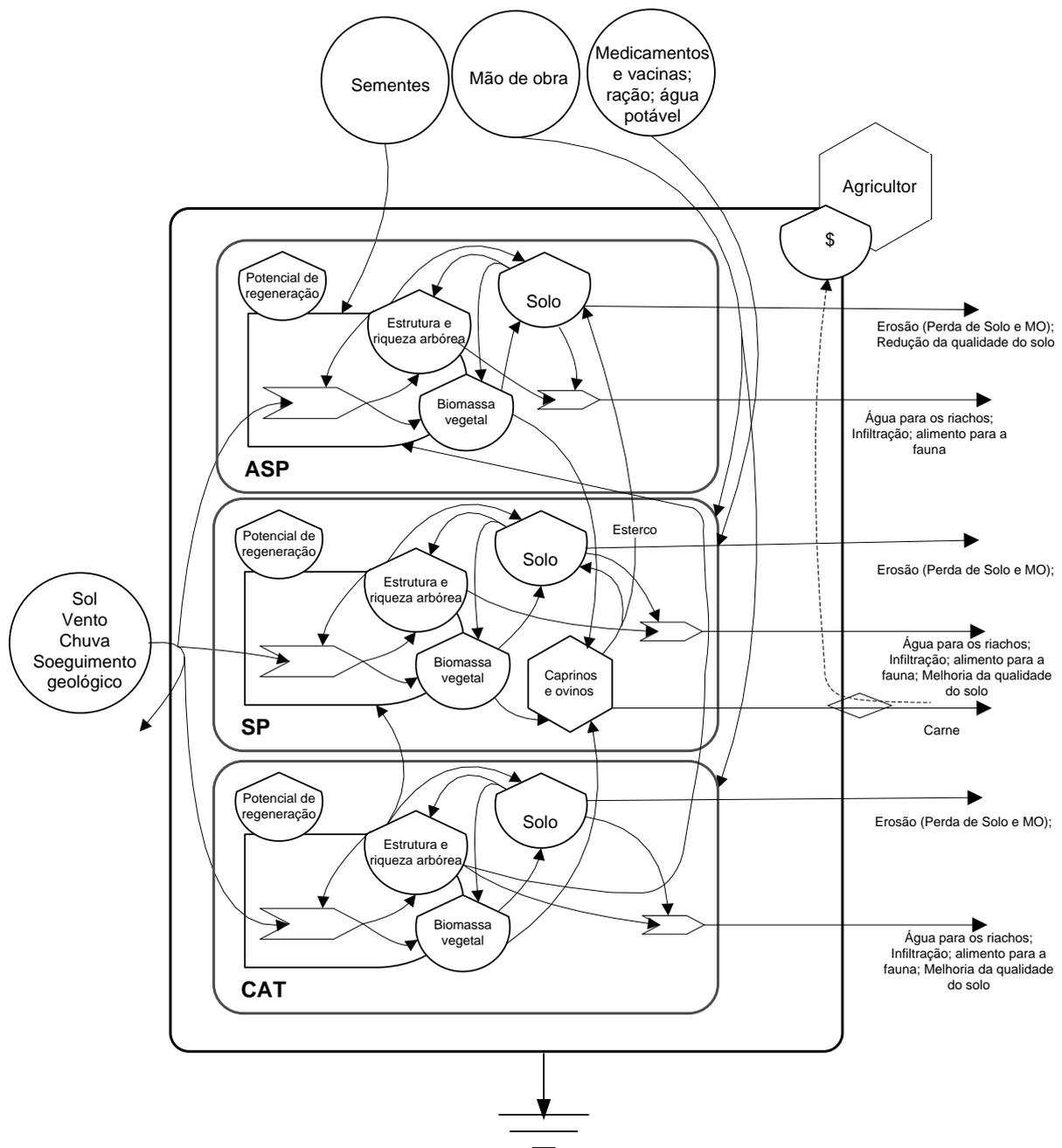
**Figura 4.1.** Fluxos de energia dos subsistemas agrossilvipatoril (ASP) e silvipatoril (SP)



**Figura 4.2.** Fluxos de energia dos subsistemas caatinga conservada (CAT) e cultivo tradicional (AG)



**Figura 4.3.** Fluxos de energia dos subsistemas sub posio a seis (P6) e nove anos (P9) após cultivo tradicional.



**Figura 4.4.** Fluxos de energia do modelo de produção agroflorestal

Além dos recursos naturais renováveis, o subsistema ASP (Figura 4.1) utiliza energia proveniente de serviços (mão de obra) e materiais como sementes e esterco. Destaca-se que o esterco é oriundo do subsistema SP (Figura 4.4). Neste subsistema ocorreram perdas de recursos naturais não renováveis, devido a redução da qualidade do solo e a erosão, que diminui matéria orgânica e minerais do solo

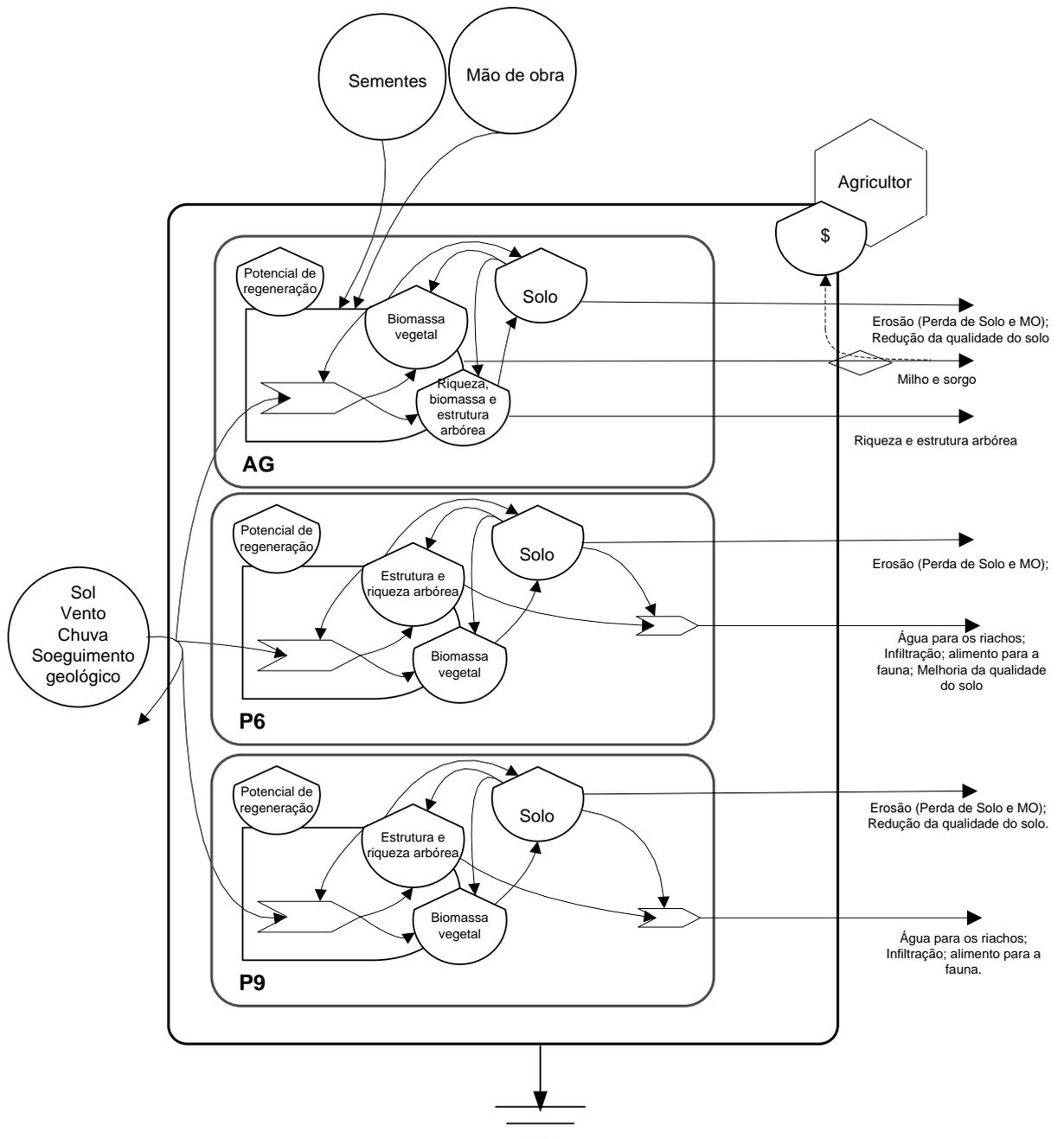
Em ASP, além da produção de milho e sorgo, avaliou-se como produto, a biomassa estocada pelas árvores, plantas herbáceas e serrapilheira e a biomassa pastejada, oriunda das rebrotas das árvores nativas e das leguminosas introduzidas. Além disto, devido a presença das árvores, esta área pode favorecer a infiltração, em razão da menor erosão (Aguiar et al., 2010). A presença das árvores no sistema também fornece alimento e abrigo para a fauna silvestre, além de proporcionar maior conforto térmico (Roncon, 2011). Enfatiza-se que desses produtos, apenas biomassa pastejada e biomassa produzida pelas culturas (milho e sorgo) são exportadas deste subsistema, e são fornecidos ao subsistema SP (Figura 4.4).

Destaca-se que esta área (ASP) mantém seu potencial de regeneração devido a permanência das árvores nativas, porém a mesma é mantida sempre em um nível intermediário de sucessão, sendo realizadas capinas e roçagens, para permitir o cultivo do milho e do sorgo. O potencial de regeneração para este e para os demais subsistemas, foi apenas indicado no diagrama (Figuras 4.1 a 4.3), porém o mesmo não foi quantificado devido dificuldades metodológicas para mensurar sua transformidade, uma vez que os cálculos são de alto nível de complexidade.

O subsistema SP é mantido pelos mesmos fluxos do ASP mais os produtos necessários para o manejo animal, como medicamentos, vacinas, ração, silagem e água (Figura 4.1b). A silagem utilizada é proveniente do milho e do sorgo produzidos no subsistema ASP (Figura 4.4). O manejo SP favorece os estoques internos de biomassa e riqueza vegetal, fornecendo como subproduto a melhoria da qualidade do solo. Além disso, fornece esterco à área ASP e carne que é comercializada no mercado local. Assim, como no ASP, a presença de árvores nativas mantém o potencial de regeneração da área, muito embora o manejo a mantenha em constante perturbação para favorecer maior produção de biomassa herbácea (Aguiar et al., 2012), necessária para alimentação dos animais.

O subsistema mantido sob caatinga nativa (CAT) expressa o sistema em sua condição natural (Figura 4.2). Neste subsistema, os fluxos e estoques de energia interagem em sua forma sustentável, uma vez que esta é mantida pelos recursos da natureza, e pelos estoques e reciclagem natural de nutrientes da serrapilheira e do solo. Os produtos do sistema são a água infiltrada, o escoamento superficial e subsuperficial, abrigo e alimento para a fauna, aumento da biomassa vegetal

arbórea e biomassa pastejada. De acordo com o modelo de produção agroflorestal, esta subárea também fornece biomassa vegetal para os animais do subsistema SP (Figura 4.4), desta forma, também é empregada mão de obra, como entrada de energia proveniente da economia.



**Figura 4.5.** Fluxos de energia do modelo de produção tradicional

A área sob cultivo tradicional (Figura 4.2) utiliza energia proveniente de recursos da natureza, e da economia (sementes e mão de obra). Esta energia é

utilizada para a produção das culturas (milho e sorgo). Porém, o processo de produção nesse sistema (AG) ocasiona maior perda de solo devido a erosão, redução da qualidade do solo e perda da riqueza e estrutura arbórea. As perdas de qualidade do solo e de matéria orgânica e nutrientes foram quantificadas como recursos naturais não renováveis necessários no processo de produção. A estrutura e riqueza edáfica também foram consideradas como perdas, porém, não foram quantificadas devido a dificuldades metodológicas para calcular sua transformidade. Parte da biomassa arbórea perdida permanece no sistema na forma de cinzas. A dinâmica desse subsistema proporciona poucos estoques ao longo do tempo, pois toda a biomassa contida na vegetação foi perdida na implantação do cultivo e a biomassa produzida pelo cultivo é constantemente retirada pela colheita dos grãos e dos restos culturais, consumidos pelos animais. Durante os primeiros dois anos de utilização da área, a mesma não apresenta potencial de regeneração, pois a intervenção antrópica impede o aumento da riqueza, bem como o desenvolvimento do estoque de estrutura arbórea (Aguiar et al., 2012; Capítulo 1) e edáfica (Maia et al., 2006; Nunes et al., 2008; Silva et al., 2011). Como o solo fica descoberto por grande parte do ano, presume-se que a energia cinética da chuva, combinada com o vento, atinja diretamente o solo intensificando as perdas por erosão (Aguiar et al., 2010).

As áreas de cultivo tradicional em pousio (P6 e P9) (Figuras 4.3), assim, como a CAT encontram-se na forma natural, sendo dependentes exclusivamente dos recursos da natureza. As mesmas apresentam como produtos a biomassa arbórea, a serrapilheira e a melhoria da qualidade do solo em P6 (Tabela 4.4). As duas áreas estão em processo de recuperação e apresentam dinâmicas diferentes, desta forma, observou-se que em P9 a redução da qualidade do solo devido ao cultivo tradicional ainda é perceptível (Figura 4.3). Estas áreas também favorecem a infiltração, fornecem água para os riachos, devido ao escoamento superficial e fornecem abrigo e alimento para a fauna. A partir do pousio, o potencial de regeneração das áreas é recuperado e promove-se aporte de riqueza vegetal e aumento da diversidade e estrutura arbórea (Aguiar et al., 2012, Capítulo 1) e edáfica (Maia et al., 2006; Nunes et al., 2008; Fialho et al., *no prelo*). Observa-se que no modelo de produção tradicional não há interação entre as áreas cultivadas e as áreas em pousio (Figura 4.5), apenas sequência de cultivo e pousio.

#### 4.3.2 Balanço emergético

Dos recursos naturais utilizados nos subsistemas o que mais contribuiu foi a entrada de chuva, o que representou mais de 40% da entrada de energia proveniente dos recursos renováveis (Tabelas 4.3 e 4.4). A energia da chuva é responsável por solubilizar e veicular nutrientes entre os sistemas, favorecendo o desenvolvimento da biota e a manutenção da qualidade física e química do solo, porém sua energia cinética, combinada com o vento, pode atingir diretamente o solo, em áreas com pouca cobertura vegetal, como o AG, e intensificar os processos erosivos. Já nas áreas onde há uma boa cobertura vegetal (ASP, SP, CAT, P6 e P9), a energia cinética da chuva é aproveitada pelo sistema, pois ao ser barrada pela copa da vegetação, otimiza a fotossíntese devido retirada de poeiras e resíduos das folhas (Roncon, 2011).

Outros recursos naturais renováveis que apresentaram grande contribuição para o funcionamento dos sistemas avaliados foram o soerguimento geológico, o CBM e do N total do solo. O soerguimento geológico é responsável pelos processos geológicos que atuam sobre a formação da estrutura do solo (Odum, 2000). As maiores contribuições emergéticas (chuva, soerguimento geológico, CBN e N total do solo) ocorrem devido a maiores valores de transformidade e/ou maior disponibilidade do recurso por unidade energética (Tabelas 4.3 e 4.4).

Quanto a demanda por recursos naturais não renováveis, os subsistemas comportaram-se de forma diferente. Em ASP, a maior utilização de energia foi proveniente da perda da qualidade do solo, enquanto que no SP, foi devido ao uso da água potável, e em CAT a erosão do solo foi a responsável pelo maior consumo de energia (Tabela 4.3). Para as áreas provenientes do modelo tradicional, o maior consumo de recurso natural não renovável ocorreu devido a perda da qualidade do solo (AG e P9), a erosão (P6) e cinzas (AG) (Tabela 4.4).

Quanto aos recursos provenientes da economia, a mão de obra é a responsável pela maior quantidade de energia usada pelos subsistemas ASP, AG e CAT (Tabelas 3 e 4). O subsistema SP demanda maior quantidade de energia para a alimentação do rebanho (silagem de milho e de sorgo) (Tabelas 4.3), no entanto, destaca-se que esta é proveniente do subsistema ASP, desta forma, observando-se que para o modelo agroflorestal (AGROF) a maior demanda de energia proveniente da economia ocorre devido a necessidade de mão de obra. Observa-se que para a

produção de milho e sorgo, em ASP, é necessário maior quantidade de energia do que em AG (Tabelas 4.3 e 4.4), porém ASP, fornece maior quantidade de energia, devido aos seus co-produtos.

**Tabela 4.3. Avaliação Emergética do modelo Agroflorestal**

Nota	Item (unidade)	Valor/ha/ano				Transformidade (seJ/unid) (ref.)	Fluxo de energia (seJ)			
		ASP	SP	CAT	AGROF		ASP	SP	CAT	AGROF
<b>Recursos renováveis (R)</b>										
1	Sol (J)	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	1,0E+00 (a)	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13
2	Chuva (J)	4,9E+10	4,9E+10	4,9E+10	4,9E+10	3,1E+04 (b)	1,5E+15	1,5E+15	1,5E+15	1,5E+15
3	Vento (J)	1,1E+09	1,1E+09	1,1E+09	1,1E+09	2,5E+03 (b)	2,7E+12	2,7E+12	2,7E+12	2,7E+12
4	Soerquimento geológico (J)	4,5E+10	4,5E+10	4,5E+10	4,5E+10	1,2E+04 (a)	5,4E+14	5,4E+14	5,4E+14	5,4E+14
5	Qualidade do solo									
	CBM (J)	6,4E+09	6,8E+09	8,7E+09	7,3E+09	5,7E+04 (c)	3,6E+14	3,9E+14	4,9E+14	4,2E+14
	NBM(J)	1,1E+09	1,4E+09	1,5E+09	1,3E+09	5,7E+04 (c)	6,5E+13	7,7E+13	8,8E+13	7,7E+13
	MO (J)	9,6E+11	1,8E+12	1,37E+12	1,4E+12	1,5E+02 (c)	1,4E+14	2,7E+14	2,0E+14	2,1E+14
	N total (kg)	2,5E+03	3,6E+03	3,2E+03	3,1E+03	1,6E+11 (c)	3,9E+14	5,7E+14	5,1E+14	4,9E+14
	P disponível (kg)	2,5E+01	6,3E+00	6,1E+00	1,2E+01	3,4E+09 (c)	8,5E+10	2,2E+10	2,1E+10	4,2E+10
	K trocável (kg)	3,2E+02	4,4E+02	3,1E+02	3,6E+02	1,6E+09 (c)	5,1E+11	7,1E+11	4,9E+11	5,7E+11
	Ca trocável (kg)	2,9E+03	2,9E+03	4,4E+03	3,4E+03	4,7E+09 (c)	1,4E+13	1,4E+13	2,1E+13	1,6E+13
	Mg trocável (kg)	5,9E+02	7,1E+02	8,1E+02	7,1E+02	3,3E+09 (c)	2,0E+12	2,4E+12	2,7E+12	2,3E+12
<b>Recursos não renováveis (N)</b>										
6	Água potável (J)	0,0E+00	3,7E+07	0,0E+00	1,2E+07	6,7E+05 (d)	0,0E+00	2,4E+13	0,0E+00	8,2E+12
7	Erosão do solo (MO) (J)	2,6E+08	1,9E+08	7,7E+08	4,1E+08	1,5E+02 (c)	3,9E+10	2,8E+10	1,2E+11	6,1E+10
	Erosão do solo (fração mineral) (J)	3,5E+02	1,6E+02	6,7E+02	3,9E+02	1,0E+09 (e)	3,5E+11	1,6E+11	6,7E+11	3,9E+11
8	Perda da qualidade do solo (J)	4,1E+11	0,0E+00	0,0E+00	1,4E+11	2,2E+04 (f)	9,0E+15	0,0E+00	0,0E+00	3,0E+15
<b>Recursos da economia (F)</b>										
9	Esterco (kg)	2,3E+03	2,3E+03	0,0E+00	0,0E+00	3,0E+12 (g)	6,7E+15	6,7E+15	0,0E+00	0,0E+00
10	Biomassa pastejada (J)	0,0E+00	8,0E+10	0,0E+00	0,0E+00	5,5E+03 (f)	0,0E+00	4,4E+14	0,0E+00	0,0E+00
11	Silagem de milho (J)	0,0E+00	4,2E+10	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+06	0,0E+00	4,3E+16	0,0E+00	0,0E+00
12	Silagem de sorgo (J)	0,0E+00	7,1E+10	0,0E+00	0,0E+00	6,0E+05	0,0E+00	4,3E+16	0,0E+00	0,0E+00
13	Sementes (Kg)	1,3E+01	0,0E+00	0,0E+00	4,4E+00	1,5E+12 (d)	2,0E+13	0,0E+00	0,0E+00	6,6E+12
14	Medicamentos e vacinas (U\$\$)	0,0E+00	7,5E+02	0,0E+00	2,5E+02	3,7E+12 (d)	0,0E+00	2,8E+15	0,0E+00	9,2E+14
15	Ração suplementar (U\$\$)	0,0E+00	1,9E+03	0,0E+00	6,4E+02	3,3E+12 (g)	0,0E+00	6,3E+15	0,0E+00	2,1E+15
16	Mão de obra (J)	1,3E+09	6,8E+08	2,8E+07	6,7E+08	1,9E+07 (i)	2,4E+16	1,3E+16	5,2E+14	1,2E+16
	Mão de obra especializada (J)	8,0E+06	2,1E+07	2,7E+06	1,1E+07	2,8E+06 (i)	2,2E+13	5,9E+13	7,6E+12	3,0E+13
<b>Produto (O)</b>										
17	Aumento de biomassa <sub>(Arbórea+herbácea)</sub> (J)	1,0E+11	8,2E+10	9,0E+10	9,1E+10	5,5E+03 (f)	5,6E+14	4,5E+14	5,0E+14	5,0E+14
	Biomassa Pastejada <sub>(herbácea+rebrotações)</sub> (J)	1,7E+10	2,5E+10	4,2E+09	0,0E+00	5,5E+03 (f)	9,4E+13	1,4E+14	2,4E+13	0,0E+00
	Biomassa leguminosas (J)	3,4E+10	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,5E+03 (f)	1,9E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
18	Serrapilheira <sub>(biomassa)</sub> (J)	3,0E+10	3,2E+10	5,4E+10	3,9E+10	5,5E+03 (f)	1,7E+14	1,8E+14	3,0E+14	2,2E+14
	Serrapilheira <sub>(N+P+K+Ca+Mg)</sub> (kg)	1,1E+02	9,4E+01	2,0E+02	1,4E+02	2,1E+11 (c)	2,4E+13	2,0E+13	4,2E+13	2,9E+13
19	Melhoria da qualidade do solo(J)	0,0E+00	4,3E+11	1,4E+12	6,0E+11	2,2E+04 (f)	0,0E+00	9,4E+15	3,0E+16	1,3E+16
20	Esterco (Kg)	0,0E+00	4,6E+03	0,0E+00	0,0E+00	3,0E+12 (g)	0,0E+00	1,3E+16	0,0E+00	0,0E+00
21	Milho (J)	4,2E+10	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+06	4,3E+16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
22	Sorgo (J)	7,1E+10	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,0E+05	4,3E+16	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
23	Carne (J)	0,0E+00	6,2E+08	0,0E+00	2,1E+08	5,2E+07	0,0E+00	3,2E+16	0,0E+00	1,1E+16

ref.: referências transformidade; (a) Odum (2002); (b) Brawn e Ulgiati (2004); (C) Roncon (2011); (d) Ortega et al. (2002); (e) Odum (1996); (f) Lu et al. (2006); (g) Coelho et al (2003); CBM: Carbono da biomassa microbiana; NBM: Nitrogênio da biomassa microbiana; MO: Matéria orgânica; ASP: Agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; CAT: Caatinga conservada; AGROF: Modelo de produção agroflorestal, composto dos subsistemas ASP, SP e CAT.

**Tabela 4.4. Avaliação Energética do modelo tradicional**

Nota	Item (unidade)	Valor/ha/ano				Transformidade (seJ/unid) (ref.)	Fluxo de energia (seJ)			
		AG	P6	P9	TRAD		AG	P6	P9	TRAD
<b>Recursos Naturais renováveis (R)</b>										
1	Sol (J)	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	1,0E+00 (a)	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13	5,8E+13
2	Chuva (J)	4,9E+10	4,9E+10	4,9E+10	4,9E+10	3,1E+04 (b)	1,5E+15	1,5E+15	1,5E+15	1,5E+15
3	Vento (J)	1,1E+09	1,1E+09	1,1E+09	1,1E+09	2,5E+03 (b)	2,7E+12	2,7E+12	2,7E+12	2,7E+12
4	Soerquimento geológico (J)	4,5E+10	4,5E+10	4,5E+10	4,5E+10	1,2E+04 (a)	5,4E+14	5,4E+14	5,4E+14	5,4E+14
5	Qualidade do solo									
	CBM (J)	5,7E+09	8,0E+09	8,3E+09	7,4E+09	5,7E+04 (c)	3,3E+14	4,6E+14	4,7E+14	4,2E+14
	NBM(J)	1,4E+09	2,4E+09	2,2E+09	2,0E+09	5,7E+04 (c)	7,9E+13	1,3E+14	1,2E+14	1,1E+14
	MO (J)	1,2E+12	1,4E+12	1,3E+12	1,3E+12	1,5E+02 (c)	1,7E+14	2,2E+14	1,9E+14	1,9E+14
	N total (kg)	2,7E+03	3,1E+03	2,9E+03	2,9E+03	1,6E+11 (c)	4,2E+14	4,9E+14	4,7E+14	4,6E+14
	P disponível (kg)	1,7E+01	1,3E+01	4,3E+00	1,1E+01	3,4E+09 (c)	5,8E+10	4,4E+10	1,4E+10	3,9E+10
	K trocável (kg)	4,8E+02	4,1E+02	2,7E+02	3,8E+02	1,6E+09 (c)	7,7E+11	6,5E+11	4,3E+11	6,1E+11
	Ca trocável (kg)	3,2E+03	6,6E+03	1,9E+03	3,9E+03	4,7E+09 (c)	1,5E+13	3,1E+13	9,1E+12	1,8E+13
	Mg trocável (kg)	1,1E+03	1,3E+03	9,3E+02	1,1E+03	3,3E+09 (c)	3,6E+12	4,3E+12	3,1E+12	3,7E+12
<b>Recursos Naturais não renováveis (N)</b>										
6	Erosão do solo (MO) (J)	1,2E+09	5,2E+08	5,2E+08	7,5E+08	1,5E+02 (c)	1,8E+11	7,8E+10	7,8E+10	1,1E+11
	Erosão do solo (fração mineral) (J)	1,5E+03	5,0E+02	5,0E+02	8,2E+02	1,0E+09 (e)	1,5E+12	5,0E+11	5,0E+11	8,2E+11
7	Perda da qualidade do solo (J)	2,1E+11	0,0E+00	8,2E+10	9,8E+10	2,2E+04 (f)	4,7E+15	0,0E+00	1,8E+15	2,2E+15
8	Cinza (kg)	5,1E+03	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+03	1,0E+12 (d)	5,1E+15	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+15
<b>Recursos da economia (F)</b>										
9	Sementes (kg)	1,4E+01	0,0E+00	0,0E+00	4,8E+00	1,5E+12 (d)	2,1E+13	0,0E+00	0,0E+00	7,1E+12
10	Mão de obra (J)	8,7E+08	0,0E+00	0,0E+00	2,9E+08	1,9E+07 (i)	1,6E+16	0,0E+00	0,0E+00	5,4E+15
<b>Produto (O)</b>										
11	Aumento de Biomassa <sub>(Arbórea+herbácea)</sub> (J)	1,8E+10	8,9E+10	7,7E+10	6,1E+10	7,4E+03 (f)	1,3E+14	6,6E+14	5,7E+14	4,5E+14
12	Serrapilheira <sub>(biomassa)</sub> (J)	5,7E+09	5,3E+10	6,8E+10	4,2E+10	5,5E+03 (f)	3,2E+13	2,9E+14	3,8E+14	2,3E+14
	Serrapilheira <sub>(N+P+K+Ca+Mg)</sub> (kg)	1,8E+01	1,8E+02	2,2E+02	1,4E+02	2,1E+11 (c)	3,7E+12	3,9E+13	4,6E+13	2,9E+13
13	Melhoria da qualidade do solo (J)	0,0E+00	7,5E+10	0,0E+00	2,5E+10	2,2E+04 (f)	0,0E+00	1,7E+15	0,0E+00	5,5E+14
14	Milho (J)	2,2E+10	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+09	1,3E+06	2,9E+16	0,0E+00	0,0E+00	9,7E+15
15	Sorgo (J)	7,6E+10	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+10	3,8E+05	2,9E+16	0,0E+00	0,0E+00	9,7E+15

ref.: referências transformidade; (a) Odum (2002); (b) Brawn e Ulgiati (2004); (C) Roncon (2011); (d) Ortega et al. (2002); (e) Odum (1996); (f) Lu et al. (2006); CBM: Carbono da biomassa microbiana; NBM: Nitrogênio da biomassa microbiana; MO: Matéria orgânica; AG: Cultivo tradicional; P6: Cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: Cultivo tradicional em pousio a nove anos; TRAD: Modelo de produção tradicional, composto dos subsistemas AG, P6 e P9.

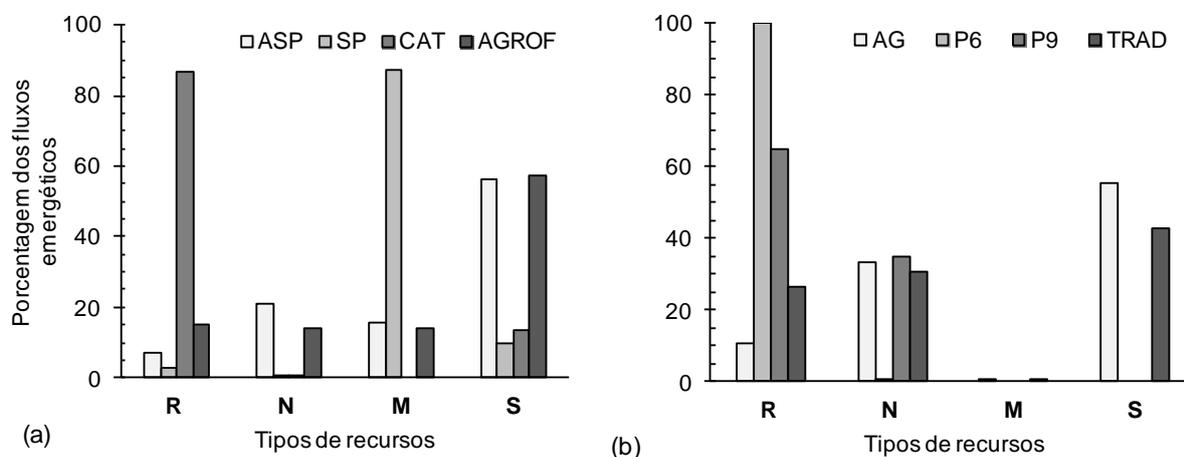
Comparando-se os dois subsistemas de produção de milho e sorgo (ASP e SP), observa-se que a energia produzida em AG representa 41,4% do que é produzido em ASP. O subsistema ASP, além da energia proveniente das culturas, fornece energia da biomassa arbórea e maior quantidade de serrapilheira. A serrapilheira contribui para a sustentabilidade do subsistema, por retornar ao solo os nutrientes retirados pelas plantas (Hairiah et al., 2006; Luizão et al., 2006). Por outro lado, ASP produz energia contida na biomassa das leguminosas e das rebrotas das árvores, parte desta biomassa retorna ao solo (Maia et al., 2007) e parte é fornecido ao subsistema SP para alimentação dos animais.

Em relação a energia produzida, ASP contribui em maior proporção com a biomassa proveniente do milho e do sorgo, que juntas somam 98,8%. A transformidade desses produtos é maior que a dos co-produtos (biomassa e serrapilheira), pois, apesar de representarem menos de 2% da energia total fornecida por este subsistema, são de grande importância para a manutenção desse subsistema e do sistema como um todo. O subsistema SP contribuiu principalmente com a energia proveniente da carne caprina/ovina (83,3%). Os co-produtos que mais contribuíram em termos de energia foram melhoria da qualidade do solo e esterco que representaram 16,1% da energia produzida em SP. Já a principal contribuição produzida pela CAT foi oriunda da qualidade do solo, que representou 97,2% da produção total da área (Tabela 4.3). No sistema agroflorestal (AGROF) além, da produção de energia proveniente da carne (73,8%), apresenta como principal co-produto a melhoria da qualidade do solo, que representa 24,8% da energia total produzida no sistema.

No subsistema sob cultivo tradicional, 97,6% da energia produzida foi proveniente das culturas (milho e sorgo), enquanto que as áreas em pousio contribuem com a melhoria da qualidade do solo (P6), da biomassa arbórea (P6 e P9) e da serrapilheira (P9) (Tabela 4.4).

Observou-se que nas áreas onde são cultivados milho e sorgo, a maior parte da energia demandada é proveniente de serviços, que representa 56,1% da energia utilizada em ASP e 55,6% em AG (Figura 4.3). Na sequência, o maior consumo de energia no subsistema AG é devido aos recursos naturais não renováveis (erosão, perda da qualidade do solo e cinzas). No subsistema ASP, além da utilização de energia proveniente de recursos naturais não renováveis (erosão e perda da qualidade do solo), há consumo de materiais provenientes da economia,

que chegam a 15,8% da energia total desta área. No entanto, destaca-se que parte dessa energia é renovável, pois, advém de materiais como esterco fornecido por SP, e de mão de obra familiar e local.



**Figura 4.3.** Percentagem dos fluxos de entrada por tipo, em relação a entrada total de energia nos sistemas agroflorestal (a) e tradicional (b). R: Recursos naturais renováveis; N: Recursos naturais não renováveis; M: Materiais provenientes da economia; S: serviços provenientes da economia; ASP: Agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; CAT: Caatinga conservada; AGROF: Modelo de produção agroflorestal, composto dos subsistemas ASP, SP e CAT; AG: Cultivo tradicional; P6: Cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: Cultivo tradicional em pousio a nove anos; TRAD: Modelo de produção tradicional, composto dos subsistemas AG, P6 e P9.

A maior proporção da energia demandada por SP é oriunda dos recursos da economia (Figura 4.3a), porém grande parte são materiais, como as silagens que possuem uma fração renovável, pois são oriundas do subsistema ASP. Destaca-se também que os serviços utilizados são representados por mão de obra familiar e local, que também tem uma fração renovável.

A área em pousio a seis anos (P6) utiliza exclusivamente recursos naturais renováveis, enquanto que a área em pousio a nove anos (P9), além dos recursos renováveis, utiliza também recursos não renováveis, representados, principalmente pela perda da qualidade do solo (Figura 4.3b). Em CAT a energia é proveniente de recursos naturais renováveis e da mão de obra, necessária para manejo de animais que pastejam a área no início da estação chuvosa (Figura 4.3a), uma vez que esta compõe um subsistema do modelo agroflorestal.

### 4.3.3 Índices emergéticos

#### 4.3.3.1 Transformidade (Tr)

A transformidade (Tr) dos sistemas representa a relação entre a energia utilizada (Y) e a energia produzida (E), incluindo a energia gerada pelos co-produtos. Desta forma, quanto menor a Tr, menor quantidade de energia é utilizada para produzir a mesma quantidade de energia (Odum, 1996; Li et al, 2011).

Comparando-se todos os subsistemas, observa-se que a área sob pousio a seis anos (P6) foi a que demandou menor quantidade de energia total (Y), seguida da área sob caatinga conservada (CAT) (Tabela 4.5). Por outro lado, a energia necessária para suportar a produção de carne (SP) foi a maior entre os subsistemas. Entre as áreas de produção de milho e sorgo, o modelo agroflorestal (ASP) demandou maior quantidade de energia comparado ao modelo tradicional (AG), porém a utilização dessa energia foi mais eficiente no primeiro modelo, o que é observado em sua menor transformidade (Tabela 4.4).

As áreas do manejo tradicional em pousio (P6 e P9) aumentaram, respectivamente, em seis e 14 vezes seus valores de transformidade em relação a CAT (Tabela 5), o que indica maior utilização de energia por energia produzida. Essa maior demanda emergética das áreas em pousio é reflexo de seus estágios intermediários de sucessão. Com isso verifica-se que mesmo após o cultivo existe uma demanda emergética oriunda do cultivo tradicional, necessária até que a área torne-se semelhante à situação de caatinga conservada.

Quando se compara o manejo tradicional (TRAD) com o agroflorestal (AGROF), verifica-se que o primeiro apresenta uma transformidade 2,6 vezes maior que o segundo. Apesar do modelo AGROF utilizar mais energia (Y) que o TRAD, este (AGROF) produz uma quantidade de energia proporcionalmente maior. Assim, o manejo tradicional, mesmo mantendo áreas em pousio, necessita de mais energia por unidade de energia produzida, em relação aos sistemas agroflorestais (Tabela 5). Esses resultados podem indicar melhor eficiência do modelo agroflorestal na utilização da energia para a produção de alimentos e conservação da natureza. Semelhante a este estudo, Alfaro-Arguello et al. (2010), compararam sistemas tradicionais e holísticos (incluindo a manutenção de árvores dentro das áreas de

produção) para a produção de leite no México, porém, não observaram diferenças na transformidade para os dois tipos de manejo. .

**Tabela 4.5.** Entrada, saída e índices de energia dos modelos de produção agroflorestal e tradicional

Item/índice	Sistema agroflorestal				Sistema Tradicional			
	ASP	SP	CAT	AGROF	AG	P6	P9	TRAD
Recursos naturais renováveis - R (seJ/ha/ano)	3,1E+15	3,4E+15	3,4E+15	3,3E+15	3,1E+15	3,4E+15	3,4E+15	3,3E+15
Recursos naturais não renováveis -N (seJ/ha/ano)	9,0E+15	2,5E+13	7,9E+11	3,0E+15	9,8E+15	5,8E+11	1,8E+15	3,9E+15
Total dos recursos naturais (I = R+N)	1,2E+16	3,4E+15	3,4E+15	6,3E+15	1,3E+16	3,4E+15	5,2E+15	7,2E+15
Materiais –M								
Renováveis M <sub>R</sub> (seJ/ha/ano)	4,7E+15	6,5E+16	0,0E+00	3,0E+13	2,1E+11	0,0E+00	0,0E+00	7,1E+10
Não renováveis M <sub>N</sub> (seJ/ha/ano)	2,0E+15	4,5E+16	0,0E+00	3,0E+15	2,1E+13	0,0E+00	0,0E+00	7,0E+12
Serviços –S								
Renováveis S <sub>R</sub> (seJ/ha/ano)	2,2E+16	1,1E+16	4,7E+14	1,1E+16	1,5E+16	0,0E+00	0,0E+00	4,8E+15
Não renováveis S <sub>N</sub> (seJ/ha/ano)	2,4E+15	1,3E+15	5,5E+13	1,3E+15	1,6E+15	0,0E+00	0,0E+00	5,4E+14
Recursos da economia (F = M+S)	3,1E+16	1,1E+17	5,3E+14	1,5E+16	1,6E+16	0,0E+00	0,0E+00	5,4E+15
Entrada total de Energia (Y=I+F) (seJ/ha/ano)	4,3E+16	1,3E+17	3,9E+15	2,2E+16	2,9E+16	3,4E+15	5,2E+15	1,3E+16
Energia produzida – Ep (J/ha/ano)	3,0E+11	5,8E+11	1,5E+12	7,3E+11	1,2E+11	2,2E+11	1,5E+11	1,6E+11
Transformidade – Tr (seJ/J)	1,5E+05	2,2E+05	2,6E+03	3,0E+04	2,4E+05	1,6E+04	3,6E+04	7,8E+04
Taxa de rendimento – EYR	1,39	1,03	7,50	1,41	1,80	-	-	2,33
Taxa de investimento – EIR	2,56	33,33	0,15	3,19	1,25	0,00	0,00	0,75
Carga ambiental – ELR	0,46	0,58	0,01	0,50	0,65	0,00	0,54	0,54
Índice de Renovabilidade emergética R(%)	68,68	63,17	98,59	66,65	60,76	99,98	64,95	64,92
Índice de Sustentabilidade emergética (ESI)	3,05	1,76	523,44	2,81	2,78	-	-	4,31

ASP: Agrossilvipastoril; SP: silvipastoril; CAT: Caatinga conservada; AGROF: Modelo de produção agroflorestal, composto dos subsistemas ASP, SP e CAT. AG: Cultivo tradicional; P6: Cultivo tradicional em pousio a seis anos; P9: Cultivo tradicional em pousio a nove anos; TRAD: Modelo de produção tradicional, composto dos subsistemas AG, P6 e P9.

Os valores de transformidade (Tr) obtidos para os subsistemas, bem como para os sistemas AGROF e TRAD foram inferiores aos observados em outros estudos, a exemplo de Agostinho et al. (2008), Barros et al. (2009) e Alfaro-Arguello et al. (2010). Os menores valores de Tr obtidas para os sistemas em estudo denotam maior eficiência na transformação da energia.

#### 4.3.3.2 Taxa de rendimento emergético (EYR)

Dentre as áreas manejadas para produção agrícola ou pastoril (ASP, SP e AG), o manejo tradicional (AG) foi o que apresentou maior taxa de rendimento emergético (EYR), indicando que este subsistema consegue retirar maior quantidade de energia da natureza por unidade de energia investida da economia. Destaca-se que a modelo TRAD é caracterizado pelo pequeno investimento econômico, representado exclusivamente pela mão de obra empregada (Araújo Filho, 2002). As áreas sob pousio não utilizam recursos da economia e por isso não foi possível fazer o cálculo do EYR para as mesmas. A área sob CAT apresentou elevado EYR, o que indica pouco investimento da economia em relação a energia da natureza que suporta este subsistema.

Os valores de EYR encontrados foram semelhantes ao observados por Odum (1996) e Bastianoni et al. (2001), para sistemas agrícolas convencionais, porém inferiores aos observados por Agostinho et al. (2008) para áreas de produção orgânicas e convencionais e Lu et al. (2006) em avaliação de sistema integrado de piscicultura, pastagem, pomar e floresta. Os menores valores observados nos sistemas aqui estudados ocorrem devido a menor utilização de recursos da economia, e indicam que estes sistemas apresentam menor dependência de recursos econômicos (Brown; Ulgiati, 1997), por serem baseados no uso de serviços e recursos locais. Por outro lado, o uso do EYR, como indicador da eficiência emergética, deve ser visto com cautela, pois altos valores de EYR, podem ser resultante de elevada utilização de recursos naturais não renováveis, em detrimento de poucos recursos da economia.

#### 4.3.3.3 Taxa de investimento emergético (EIR)

O EIR indica a quantidade de energia provenientes da economia que os sistemas utilizam para cada unidade de energia da natureza. Desta forma, no planejamento dos agroecossistemas deve-se priorizar ações que reduzam este índice, uma vez que as atuais tendências globais apontam para a necessidade de sistemas de produção que maximizem o uso dos recursos naturais renováveis, e necessitem de menor investimento econômico (Agostinhos et al., 2008).

Quanto a taxa de investimento emergético (EIR) observa-se que SP obteve um valor consideravelmente superior às demais subáreas, o que sugere que este é mais dependente de recursos oriundos da economia. O valor de EIR do SP indica que para cada enjole solar fornecido pela natureza, são necessários 33 seJ da economia. Porém, como grande parte desses recursos é obtida no subsistema ASP, o EIR do modelo agroflorestal torna-se menor, sendo necessários 2,45 sej da economia para cada enjaule solar utilizado. Estes resultados representam melhor o uso do recurso econômico para o modelo AGROF, que por meio da integração entre as atividades agrícola e pastoril, permite que parte da demanda por insumos da economia, necessário para a produção animal, seja produzida na mesma propriedade.

O EIR encontrado para o modelo AGROF está acima dos valores observados para sistemas de agricultura de base ecológica (Ortega et al., 2005; Francescato et al., 2008) e para sistemas agroflorestais (Lefroy; Rydberg, 2003), porém é inferior ao observado por Agostinho et al. (2010) para pomares orgânicos, culturas anuais e plantios de café. Destaca-se que nestes estudos foram avaliados somente sistemas agrícolas, não sendo contabilizados demanda emergética para produção animal.

Como no modelo TRAD, duas das três áreas avaliadas estão em pousio e não utilizam serviços da economia, o EIR deste modelo foi baixo, semelhante ao observado por Agostinho et al. (2010) para áreas de plantação de árvores e por Lefroy e Rydberg (2003) para sistemas agroflorestais.

#### 4.3.3.4 Taxa de carga ambiental (ELR)

Apesar de o modelo TRAD apresentar menores taxas de rendimento e investimento emergético (EYR e EIR), o mesmo proporciona maior carga ambiental (ELR), ou seja, nesse modelo há maior utilização de recursos não renováveis

quando comparado com o uso dos renováveis. No entanto, os modelos de produção (AGROF e TRAD) e seus respectivos subsistemas obtiveram valores de ELR inferiores a dois, indicando baixo impacto sobre o ambiente (Brown; Ulgiati, 2004). O menor impacto ambiental (ELR) observado em AGROF indica que o mesmo permite melhor utilização dos recursos naturais, podendo ser indicado para uso que vise melhoria da produção e conservação ambiental. Ressalta-se que estes sistemas, assim como outros sistemas de produção agroecológica (Ortega et al., 2005; Agostinho et al., 2008; Francescatto et al., 2008) reduzem consideravelmente o impacto ambiental causado pela agricultura convencional adotada no Brasil (Ortega et al., 2005; Cavalett et al., 2006; Agostinho et al., 2008; Francescatto et al., 2008; Cavalett; Ortega, 2009).

#### 4.3.3.5 Índice de renovabilidade emergética (%R)

Os índices de renovabilidade emergética observados nos modelos de produção (AGROF e TRAD) foram semelhantes. Porém observando-se os subsistemas isoladamente, nota-se maiores valores para CAT e P6, porque ambas utilizam maior proporção de recursos da natureza e minimizam as perdas por erosão. Enquanto P9, apesar de ser mantida exclusivamente com recursos naturais, utiliza recurso natural não renovável, representado pela erosão e perda da qualidade do solo, ocorridas devido ao manejo anterior (Maia et al., 2006; 2007; Aguiar et al., 2010). Porém, todos os subsistemas apresentaram valores superiores a 60% de renovabilidade, isso indica que os mesmos tem grande potencial para se manterem em longo prazo, podendo superar possíveis estresses econômicos (Lefroy; Rydberg, 2003; Brown; Ulgiati, 2004).

#### 4.3.3.6 Índice de sustentabilidade emergética (ESI)

O subsistema representado pela caatinga nativa conservada (CAT) foi o que obteve maior índice de sustentabilidade emergética, uma vez que tem maior retorno da energia empregada e menor carga ambiental, sendo maior que o obtido por Lu et al. (2006), em área de floresta na China.

O subsistema SP foi o de menor ESI, devido ao elevado custo emergético proveniente dos insumos econômicos demandados para a produção animal.

Resultados semelhantes foram observados por Lu et al. (2006) para áreas de pastagens em áreas subtropicais da China.

Os índices de sustentabilidade emergéticas observados para os modelos AGROF e TRAD demonstram que estes contribuem para a sustentabilidade da produção agropecuária, pois permitem melhor performance, sendo superiores à sistemas de produção que utilizam conceitos holísticos e convencionais (Alfaro-Arguello et al., 2010). O melhor desempenho dos sistemas estudados no semiárido brasileiro podem ter ocorrido devido o aumento da cobertura florestal nas áreas de produção agropecuária. Ressalta-se que este aumento nos indicadores de sustentabilidade conduz a melhorias da produtividade dos agroecossistemas (Alfaro-Arguello et al., 2010).

#### **4.4. Conclusões**

A adoção de técnicas que integram as atividades agrícolas, silvícolas e pastoris para melhorar a eficiência da utilização de materiais e energia pode trazer grandes benefícios para o agroecossistema e para a economia, uma vez que a integração promovida pelo modelo agroflorestal permitiu melhor eficiência emergética. Desta forma, este modelo agroflorestal pode ser indicado para melhorar a produção agrícola na região semiárida, bem como conservar a vegetação nativa da caatinga. No entanto, técnicas de melhoria da produção de forragem precisam ser incrementadas para melhorar o desempenho do subsistema de produção animal.

O modelo tradicional utiliza maior quantidade de recursos naturais, gerando maior transformidade no processo de produção, ou seja, menor eficiência emergética. Além disso este sistema reduz a formação de estoques e fluxos internos, como biomassa arbórea, biomassa para pastejo e serrapilheira. O manejo adotado no subsistema em produção causa danos ambientais, como erosão e perda da qualidade do solo. A amenização desses danos, promovida durante os períodos de pousio, incorre em maior demanda emergética. Assim, este tipo de manejo não é recomendado, pois utiliza de forma ineficiente os recursos naturais e demanda grande quantidade de terra para sua utilização, uma vez que, para cada dois hectares plantados são necessário oito em pousio.

## Referências

- Agostinho, F.; Diniz, G.; Siche, R.; Ortega, E., 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system en the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210:37-57.
- Agostinho, F.; Ambrósio, L.A.; Ortega, E., 2010. Assessment of a large watershed in Brazil using Emergy Evaluation and Geographical Information System. *Ecological Modelling*, 221:1209–1220.
- Aguiar, M. I.; Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Mendonça, E.S.; Araújo Filho, J.A.; Oliveira, T.S., 2010. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforest Systems*, 79:277–289
- 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?. *Agroforestry Systems*, DOI 10.1007/s10457-012-9590-9
- Alfaro-Arguello, R.; Diemont, S. A.W.; Ferguson, B. G.; Martin, J. F.; Nahed-Toral, J; Álvarez-Solís, J. D.; Ruíz, R.P., 2010. Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 103:639–646.
- Araújo Filho, J. A., 2002. Histórico do uso dos solos da caatinga. pp. 329-337 In: 500 anos de uso do solo no Brasil (Araújo, Q. R., org.). Ilhéus: Editus.
- Araújo Filho, J.A.; Carvalho, F.C., 2001. Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino. pp.101-110. In: Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e sub tropicais (Carvalho, M.M., Alvim, M.J., Carneiro, J.C., eds.), Brasília: FAO.
- Barros, I.; Blazy, J. M.; Rodrigues, G. S.; Tournebize, R.; Cinna, J. P., 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129:437-449.
- Bastianoni, S.; Marchettini, N.; Panzieri, M.; Tiezzi, E., 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 9, 365–373.

Bloc, A.F., 2008. Viabilidade financeira da produção de ovinos em sistemas agroflorestais pecuários no semi-árido cearense. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral. Curso de Mestrado em Zootecnia. Carvalho, F.C.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe/Natal 1981. Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 740p. (Levantamento de Recursos Naturais).

Brown, M.T.; Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecology. Eng.*, 9:51–69.

Brown, M.T.; Ulgiati, S., 2004. Emergy analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*, 2:329–354.

Campanha, M.M.; Araújo, F.S.; Meneses, M.O.T.; Silva, V.M.R.; Medeiros, H.R., 2011. Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral, CE. *Revista Caatinga*, 24:94-101.

Cavalette, O.; Queiroz, J.F.; Ortega, E., 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193:205–224.

Cavalette, O.; Ortega, E., 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 17:762–771.

Coelho, O.; Ortega, E.; Comar, V. 2003. Balanço de Emergia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981) In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. Organizador: Ortega, E. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm> Acesso em: 15/07/2012.

Cole, M.M., 1960. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. *The Geografic Journal*, 126:168-179.

Drumond, M.A.; Morgado, L.B.; Ribaski, J.; Albuquerque, S.G.; Carvalho, O.M., 2004. Contribuição da Embrapa Semi-árido para o desenvolvimento dos sistemas agroflorestais no Semi-árido brasileiro. *Agrossilvicultura*, 1:145-153.

Fialho, J.S.; Aguiar, M.A.; Magalhães, R.B.; Maia, L.S.; Correia, M.E.F; Campanha, M.M.; Oliveira, T.S. Diversidade da fauna edáfica em agroecossistemas do semiárido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, no prelo.

Francescato, G.; Agostinho, F.; Nachtigall, G.R.; Nobre Jr, A.A.; Ortega, E., 2008. Emergy and economic diagnosis of apple production system in south of Brazil. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> Biennial Emergy Conference, Gainesville, FL, USA.

Gliessman, S. R., 2005. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 653p.

Gomes, G.B.; Oliveira, R.S.; Oliveira, M.I.; Monteiro, L.C.C., 2007. Combatendo a desertificação no semi-árido nordestino. pp. 264–268. In: I Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e I Conferência sobre Recursos Hídricos do Semi-Árido Brasileiro, Sobral-CE.

Hairiah, K.; Sulistyani, H.; Suprayogo, D.; Widiyanto.; Purnomosidhi, P.; Widodo, R.H.; Van Noordwijk, M., 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management*, 224:45-57.

IPECE–Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2011. Perfil Básico Municipal, Sobral. Fortaleza: SEPLAN–Secretaria do Planejamento e Coordenação, Governo do Estado do Ceará.

Lacerda, M.A.D.; Lacerda, R.D., 2004. Planos de combate a desertificação no nordeste brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 4.

Lefroy, E.; Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161:195–211.

Li, L.; Lu, H.; Ren, H.; Kang, W.; Chen, F., 2011. Emergy evaluations of three aquaculture systems on wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Indicators*, 11:526–534.

Lu, H.; Campbell, D. E.; Li, Z.; Ren, H., 2006. Emergy synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China. *Ecological Engineering*, 27:175-192.

Lu, H.; Kang, E.; Campbell, D.E.; Ren, H.; Tan, Y.; Feng, R.; Luo, J.; Chen, F., 2009. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, 35:1743–1757.

Luizão, F. J. et al., 2006. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. pp. 87-100 In: *Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável* (Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Gama-Rodrigues, E.F.; Freitas, M. S. M., Org.). Campos dos Goytacazes, RJ.: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

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

Maia, S.M.F.; Xavier, F.A.S.; Oliveira, T.S.; Mendonca, E.S.; Araujo 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.F.; Xavier, F.A.S.; 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 Ciências do Solo*, 32:381-392.

Marin, A.M. Menezes, R.S.C.; Silva, E.D.; Sampaio, E.V.S.B., 2006. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistemas agroflorestais no agreste paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:555-564.

Martin, J. F.; Diemont, S. A. W.; Powell, E.; Stanton, M.; Levy-Tacher, S. 2006. Emeryg evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with difernt scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115: 128-140.

MEA - Millenium Ecosystem Assessment; WRI - World Resources Institute. Synthesis Reports. Disponível em <http://www.maweb.org/en/Synthesis.aspx>, acesso em 07 de setembro de 2012.

Nair P.K.R., 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer, Dordrecht

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. *Revista Ceres*, 55:327-337.

NUNES, L. A. P. L.; Araújo Filho, J. A.; Menezes, R. I Q., 2008. Recolonização da fauna edáfica em áreas de Caatinga submetidas a queimadas. *Revista Caatinga*, 21:214 – 220.

Odum, H.T., 1994. *Ecological and General Systems*. Niwot, CO: Universidade Press of Colorado, 644 p.

Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Odum, H.T., 2000. Energy of global processes. In: *Handbook of energy evaluation* (Odum, H.T.) Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 28p.

Ortega, E. et al., 2002. Manual de cálculo de energia.. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm>>. Acesso em: 05 set. 2012.

Ortega, E.; Cavalett, O.; Bonifácio, R.; Watanabe, M., 2005. Brazilian soybean production: energy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25:323–334.

Roncon, T.J., 2011. Valoração ecológica de áreas de preservação permanente. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural. Beskow, P.R.

Sá, I.B.; Riché, G.R.; Fortius, G.A., 2004. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. pp.17-36. In: *Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. (Silva, J.M.C.; Tabarelli, M.; Fonseca, M.T.; Lins, L.V., org.) Brasília: Ministério do Meio Ambiente: UFPE.

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*, 167-168:61-70

Ulgiati, S.; Brow, M.T.; Bastianoni, S.; Marchettini, N., 1995. Energy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. *Ecological Engineering*, 5:519-531.

Anexo A – Notas de cálculos das tabelas de avaliação emergética (Tabelas 3 e 4) dos sistemas de manejo tradicional. Fluxos anuais

<b>Fluxo</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência/cálculo</b>
<b>Sol</b>		
Radiação solar em kwh m <sup>-2</sup>	1929,51	(INMET, 2012)
Radiação solar em kwh ha <sup>-2</sup>	1,93E+06	((1929,51 kwh m <sup>-2</sup> ) x (10000 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ))
Albedo (%)	17	(Palácio, 2011)
Energia em J ha <sup>-2</sup>	5,77E+13	((1,93E+6 kwh ha <sup>-2</sup> ) x (3,6E+6 J kWh <sup>-1</sup> ) x ((100-Albedo)/100))
<b>Chuva</b>		
Precipitação em m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	0,989	
Precipitação em dm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	9,89E+06	((0,989 m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) x (10000 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) x (1000 dm <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ))
Densidade da água (kg dm <sup>-3</sup> )	1	
Energia da chuva (J kg <sup>-1</sup> )	4940	(Odum, 2000)
Energia da chuva em J ha <sup>-1</sup>	4,89E+10	((9,89E+06 dm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) x (1 kg dm <sup>-3</sup> ) x (4940 J kg <sup>-1</sup> ))
<b>Vento</b>		
Velocidade em m s <sup>-1</sup>	2,67	(INMET, 2012)
Coeficiente de arraste	0,001	(Rodrigues et al., 2002)
Densidade da ar (kg m <sup>-3</sup> )	1,3	(Rodrigues et al., 2002)
Fator de conversão	4,08E+08	(1000 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) x (3,13E+07 s ano <sup>-1</sup> ) x (densidade do ar kg m <sup>-3</sup> ) x coeficiente de arraste)
Energia J ha <sup>-1</sup>	1,09E+09	((2,69 m s <sup>-1</sup> ) x (fator de conversão))
<b>Soerguimento geológico</b>		
Soerguimento geológico J ano <sup>-1</sup> na área da crosta terrestre	6,71E+20	(Odum, 2000)
Área da crosta terrestre (ha)	1,49E+10	(IBGE, 2012)
Soerguimento geológico J ha <sup>-1</sup>	4,50E+20	((6,71E+20 J ano <sup>-1</sup> ) / (1,49E+10 ha))

## Qualidade do solo

Estoque de biomassa microbiana (carbono (CBM) e nitrogênio (NBM)) e de matéria orgânica do solo (MO) em 20 cm de profundidade do solo em kg ha<sup>-1</sup> (Fialho et al, *no prelo*)

Áreas	CMB	NBM	MO
ASP	281,42	50,67	4,24E+04
SP	301,76	59,99	7,93E+04
CAT	383,90	68,43	6,04E+04
AG	254,22	61,59	5,12E+04
F6	354,99	104,75	6,37E+04
F9	367,31	96,05	5,67E+04

Fator de conversão                      2,26E+07    ((5400 kcal kg<sup>-1</sup>) x (4186 J kcal<sup>-1</sup>))

Energia (J ha<sup>-1</sup>) = (estoques de CBM, NBM ou MO) x fator de conversão)

Áreas	CMB	NBM	MO
ASP	6,36E+09	1,15E+09	9,59E+11
SP	6,82E+09	1,36E+09	1,79E+12
CAT	8,86E+09	1,55E+09	1,37E+12
AG	5,75E+09	1,39E+09	1,16E+12
F6	8,02E+09	2,37E+09	1,44E+12
F9	8,30E+09	2,17E+09	1,37E+12

Teores de N total, P disponível, K, Ca e Mg trocáveis em kg/ha (Aguiar et al, *no prelo*)  
(a)

Áreas	N total	P disponível	K trocável	Ca trocável	Mg trocável
ASP	2,5E+03	2,5E+01	3,2E+02	2,9E+03	5,9E+02
SP	3,6E+03	6,3E+00	4,4E+02	2,9E+03	7,1E+02
CAT	3,2E+03	6,1E+00	3,1E+02	4,4E+03	8,1E+02
AG	2,7E+03	1,7E+01	4,8E+02	3,2E+03	1,1E+03
F6	3,1E+03	1,3E+01	4,1E+02	6,6E+03	1,3E+03
F9	2,9E+03	4,3E+00	2,7E+02	1,9E+03	9,3E+02

## Erosão do solo

Energia devido a fração orgânica (MO) = ((Perda de solo kg ha<sup>-1</sup>) x (MO kg kg<sup>-1</sup>) x (fator de conversão))

Fator de conversão 2,26E+07 ((5400 kcal kg<sup>-1</sup>) x (4186 J kcal<sup>-1</sup>))

Áreas	Perda de solo (kg ha <sup>-1</sup> ) (Aguar et al., 2010)	MO (kg kg <sup>-1</sup> )	Energia (J ha <sup>-1</sup> )	Fração mineral (kg ha <sup>-1</sup> )
ASP	365,0	0,032	2,60E+08	356,5
SP	165,0	0,051	1,90E+08	156,6
CAT	707,7	0,048	7,67E+08	673,6
AG	1515,0	0,036	1,22E+09	1461,2
F6	525,0	0,044	5,22E+08	501,9
F9	525,0	0,048	5,20E+08	502,0

## Melhoria/perda da qualidade do solo

O ganho ou perda de energia proveniente da melhoria da qualidade do solo foi obtido comparando-se os estoques de CMB, NBM e MO e as perdas por erosão dos subsistemas com os ocorridos na área de vegetação nativa conservada (CAT). a melhoria da qualidade do solo é quantificada como (co)produto, enquanto a perda é considerada energia utilizada no processo de produção.

## Esterco

Produção anual de esterco (kg) = 4,6E+03 dados obtidos na fazenda

Obs.: a produção total foi contabilizada como (co)produtos de SP, sendo utilizada metade em SP e metade em ASP.

## Cinza

Cinza incorporada ao solo após a queimada (kg) = 5,1E+03 medido por amostragem

## Biomassa Pastejada

Energia (J) = biomassa pastejada (kg/ha/ano) x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Áreas	Biomassa (t/ha/ano) Cavalcante, 2000	Energia kca/kg	Energia (J/ha/ano)
ASP	1,2E+03	3,4E+03	1,0E+11
SP	1,8E+03	3,4E+03	8,2E+10
CAT	3,0E+02	3,4E+03	9,0E+10

## Sementes

Semente utilizadas em ASP (kg)	1,3E+01	dados obtidos na fazenda
Semente utilizadas em AG (kg)	1,4E+01	dados obtidos na fazenda

## Medicamentos e vacinas (SP)

Valor pago por medicamentos e vacinas (U\$\$)	7,2E+02	dados obtidos na fazenda
---	---------	--------------------------

## Ração suplementar (SP)

Valor pago por ração suplementar (U\$\$)	1,9E+03	dados obtidos na fazenda
--	---------	--------------------------

## Mão de obra

Energia (J) = total de diárias trabalhadas x energia (kcal/diária) x 4186 (J/Kcal)

Áreas	Diárias (ha/ano)	Energia kca/kg	Energia (J/ha/ano)
ASP	1,2E+02	2,5E+03	1,3E+09
SP	6,5E+01	2,5E+03	6,8E+08
CAT	2,7E+00	2,5E+03	2,8E+07
AG	8,3E+01	2,5E+03	8,7E+08

## Aumento de biomassa

Energia da Biomassa (J) = biomassa (t/ha/ano) x 1000 (kg/t) x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Áreas	Biomassa (t/ha/ano) Aguiar et al., 2012	Energia kca/kg	Energia (J/ha/ano)
ASP	2,4E+00	3,4E+03	1,0E+11
SP	3,0E+00	4,0E+03	8,2E+10
CAT	5,4E+00	3,9E+03	9,0E+10
AG	1,1E+00	4,0E+03	1,8E+10
F6	5,1E+00	4,1E+03	8,9E+10
F9	4,5E+00	4,0E+03	7,7E+10

### Biomassa das leguminosas (ASP)

Energia (J) = biomassa (kg/ha) x matéria seca x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Biomassa kg/ha	2100	Aguiar et al., 2012
Energia kcal/kg	4213,3	Dados da pesquisa
Teor de matéria seca	0,91	dados da pesquisa
Energia J	3,4E+10	(2100 kg/ha x 0,91 x 4213,3 kcal/kg x 4186 J/kcal)

### Serrapilheira (biomassa)

Energia (J) = biomassa (kg/ha) x matéria seca x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Áreas	Serrapilheira (kg/ ha) (Capítulo 3)	Matéria seca(%)	Energia kca/kg	Energia (J)
ASP	1953,50	91,92	4041,54	3,04E+10
SP	1901,40	91,42	4379,83	3,19E+10
CAT	3445,22	90,62	4153,82	5,43E+10
AG	378,80	91,21	3948,86	5,71E+09
P6	3111,40	90,97	4437,48	5,26E+10
P9	4067,40	91,08	4376,04	6,79E+10

### Serrapiheira (nutrientes)

Teores de nutrientes (kg) = biomassa (kg/ha) x matéria seca x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Áreas	Nutrientes da serrapilheira (kg/ ha) (Capítulo 3)
ASP	114,69
SP	93,9
CAT	201,66
AG	17,76
P6	183,90
P9	217,99

### Milho

Energia (J) = biomassa produzida (kg/ha) x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Energia (J) ASP	4,2E+10	(2397,06 kg x 4210,37 kcal/kg x 4186 J/kcal)
AG	2,2E+10	(1256,6 kg x 4210,37 kcal/kg x 4186 J/kcal)

## Sorgo

Energia (J) = biomassa produzida (kg/ha) x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Energia (J) ASP    7,1E+10                    (4133,49 kg x 4110,65 kcal/kg x 4186 J/kcal)

                  AG    2,2E+10                    (1256,6 kg x 4110,65 kcal/kg x 4186 J/kcal)

## Carne (SP)

Energia (J) = biomassa produzida (kg/ha) x energia da biomassa (kcal/kg) x 4186 (J/Kcal)

Energia (J) ASP    6,2E+08                    (42,49 kg x 3500 kcal/kg x 4186 J/kcal)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas sob manejo agroflorestal apresentam grande potencial para a sustentabilidade uma vez que permitem a ocorrência dos processos ecossistêmicos. No entanto, ressalta-se que estes processos são potencializados, e os efeitos prejudiciais da atividade agropecuária são minimizados, quando as áreas de SAF são manejadas como um sistema. Assim, cada área tem um papel em evidência que favorece a manutenção da diversidade e da conservação do ambiente agrícola. A interação entre as atividades agrícola e pastoril favorece a ciclagem de materiais e nutrientes dentro da propriedade e permite a redução da entrada de insumos externos. Desta forma, melhora os índices emergéticos e torna a propriedade menos dependente do mercado. Os SAFs são importantes para a região semiárida, pois, com a manutenção da diversidade de plantas, contribuem para a preservação deste ecossistema, que atualmente sofre vários processos de degradação, a exemplo da desertificação.

Os períodos de pousio avaliados (seis e nove anos) favoreceram a recuperação das áreas de agricultura tradicional, em relação a composição florística e as estoques de nutrientes do solo. Porém, mesmo após o pousio, os estoques de carbono e nutrientes, bem como a estrutura das comunidades arbóreas permanecem alterados em relação a vegetação nativa conservada. O manejo tradicional tem baixo desempenho produtivo e grande custo ambiental. Durante os períodos de cultivo, os ciclos de nutrientes são paralisados, há grande perda de carbono e nutrientes devido a queima de resíduos vegetais e não há reposição dos nutrientes retirados pelas colheitas. O uso do manejo tradicional e a redução dos períodos de pousio, ao longo do tempo, contribuem para a degradação da região semiárida.