

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

ERNESTO GOMEZ CARDOZO

DIVERSIDADE DE ESPÉCIES AUMENTA A RENDA EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

São Luís - Maranhão

Julho de 2013

ERNESTO GOMEZ CARDOZO

Engenheiro agrônomo

**DIVERSIDADE DE ESPÉCIES AUMENTA A RENDA EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Christoph Gehring

Co-orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier
Rousseau

São Luís - Maranhão

Julho de 2013

Cardozo, Ernesto Gomez

Diversidade de espécies aumenta a renda em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental / Ernesto Gomez Cardozo.– São Luís, 2013.

... f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Cristoph Gehring

1.Agroflorestas comerciais. 2.Agricultura de subsistência. 3.Quintais. 4.Capoeira enriquecida. 5.Pasto com babaçu. 6.Renda não monetária.
I.Título

CDU: 633"321:324"(811.3)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

Ernesto Gómez Cardozo

**DIVERSIDADE DE ESPÉCIES AUMENTA A RENDA EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação defendida e aprovada em: 18/07/2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Christoph Gehring (Orientador)

Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau (UEMA)

Prof. Dr. Flávio Henrique Reis Moraes (CEUMA)

DEDICO

À minha querida mãe, Santusa Cardozo, que me oferece um amor verdadeiro e incondicional em todos os dias de minha vida.

Aos meus irmãos Kadir, Janeth e Reyna, em retribuição ao carinho e apoio em todas as etapas de minha vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder a cada novo dia força, esperança e fé, por sua presença constante em minha vida, me auxiliando nas minhas escolhas e me confortando nas horas difíceis.

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), através do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, aos seus professores, coordenadores e funcionários pelas oportunidades, pelos ensinamentos e pelo apoio técnico-científico.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo que viabilizou a realização deste trabalho.

Ao INCRA pelo apoio logístico e técnico na realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Christoph Gehring, pela persistência e orientação necessárias para a conclusão de mais essa etapa, sendo fonte de conhecimento.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau, pela orientação, compreensão e imprescindíveis colaborações, sendo fonte de calma e conhecimento.

À Profa. Dra. Francisca Helena Muniz, pela imprescindível contribuição no processamento dos dados fitossociológicos e sua interpretação.

À Hulda Rocha pela grandiosa ajuda na execução deste trabalho, não tenho palavras para agradecer.

À Danielle Celentano pela amizade e inestimável colaboração.

Ao Prof. Carlos Augusto de Oliveira Furtado (LABEX) pela inestimável colaboração.

Ao Sr. Michinori Konagano, pelo apoio no contato com os agricultores de Tome-Açu.

A todos(as) os(as) agricultores(as) entrevistados(as), pela receptividade, paciência e informações cedidas.

À nossa equipe de pesquisa, Henry, Marcio e Marcelo, pelos bons momentos e aventuras durante a pesquisa de campo e no processamento e análise dos dados.

Aos meus amigos (as) Adriana, Alexandra, Stefania, Robinson, Julio, Eduardo e Raimundo por sua amizade, companhia e por sempre estarem dispostos a ajudar.

A todos, muito obrigado!

“A realidade não é facilmente legível. As idéias e teorias não refletem, mas traduzem a realidade, que podem traduzir de maneira errônea. Nossa realidade não é outra senão nossa idéia da realidade.”

Edgar Morin

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 A Amazônia Brasileira.....	11
2.2 Sistemas agroflorestais.....	12
2.2.1 Classificação.....	13
2.2.2 Benefícios.....	15
2.2.3 Aspectos socioeconômicos.....	16
4. ARTIGO	22
ABSTRACT	23
INTRODUCTION	24
METHODS	25
Study region and clusters of study sites.....	25
Agroforestry systems.....	26
Biodiversity.....	27
Socioeconomic variables.....	28
Statistics.....	29
RESULTS	30
Socioeconomic profile of agroforestry species.....	32
Costs and benefits, net income.....	32
Impact of biodiversity on costs, benefits and income.....	33
Satisfaction.....	34
DISCUSSION	34
CONCLUSIONS	38
REFERENCES	39
FIGURE HEADINGS	43

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem 8,5 milhões de quilômetros quadrados de área total e a Amazônia Legal representa 60% desse total, integrando os estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, oeste do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (DIEGUES, 1999; SOUZA, 2009). É um país tropical que tem como uma de suas características, a grande biodiversidade, percebida ao longo de todo seu território. Na flora, a riqueza de espécies ocorre em diferentes biomas, associada à variações de clima, relevo e solo. Outro aspecto marcante é a diversidade cultural e sócio-econômica da sua população rural.

A atividade agrícola também é muito diversificada, conseqüência de diferentes padrões ambientais e culturais, resultando em vários tipos de sistemas agrícolas: uns mais compatíveis com as condições ambientais existentes e outros responsáveis pela grande perda de biodiversidade e degradação dos recursos naturais.

A agropecuária intensificou-se a partir da década de 1960, quando o governo brasileiro passou a incentivar a ocupação para a Amazônia por meio de projetos de assentamento agrícola que atraíram grande número de famílias de outras regiões do país. A maior parte destes projetos de assentamento não teve êxito devido, principalmente, ao desconhecimento das condições ecológicas, culturais, baixa fertilidade das terras e a carência de serviços básicos (comercialização, extensão rural e infraestrutura) (DIEGUES, 1999).

Estes projetos de ocupação causaram e vêm causando perturbações sistemáticas, ao longo do tempo, na estrutura e na função de diversos ecossistemas amazônicos, resultando num processo de mudança da paisagem (TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

O desmatamento é a atividade humana que afeta diretamente as maiores áreas na parte florestada da Amazônia brasileira, sendo a exploração madeireira uma atividade sempre crescente (FEARNSIDE, 2003). Com o advento das questões ambientais, a pressão sobre a floresta amazônica passou a ter maior visibilidade e o governo promove alterações no foco das agências de desenvolvimento que atuam na Amazônia, que

passam a pesquisar alternativas de sistemas de cultivos menos impactantes para a região.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como a alternativa socioambiental mais adequada para a produção agrícola e florestal na região (DUBOIS, 2009; FEARNSSIDE, 2009). Os SAFs são sistemas de produção nos quais árvores são associadas com espécies agrícolas e/ou animais, podendo apresentar várias disposições em espaço e tempo (NAIR, 1989). São sistemas altamente dinâmicos, especialmente nos anos iniciais e no período de estabelecimento (SMITH et al., 1998).

Alguns trabalhos têm sido realizados para avaliar e entender a dinâmica e o funcionamento de SAFs em áreas de agricultores familiares na Amazônia, principalmente aqueles em área de várzea (COSTA, 2010; VIEIRA et al., 2007). Já para as áreas de terra firme existem poucos estudos.

Conhecer a forma como são trabalhados os SAFs na Amazônia, a dinâmica de funcionamento das atividades nos diversos ambientes da região, assim como a socioeconomia associada a esta atividade, é de grande importância para a formulação de políticas públicas adequadas para este ecossistema. Porquanto recentemente os SAFs vêm sendo estudados em função do seu potencial de gerar benefícios, socioeconômicos e ambientais. Nesse caminho, para ampliar o conhecimento sobre esses sistemas na Amazonia oriental, este estudo visa avaliar a contribuição da diversidade na geração de benefícios econômicos.

Os SAFs são agroecossistemas que integram espécies lenhosas perenes (árvores e palmeiras) com cultivos agrícolas, com ou sem a presença de animais, em uma mesma área, para produzir em bases sustentáveis, bens e serviços ambientais. Quanto à complexidade desses agroecossistemas, existem desde arranjos que apresentam um reduzido número de componentes e geram poucas interações e produtos, até arranjos mais biodiversos com estrutura semelhante ao ecossistema florestal nativo, com alta diversidade e interações sistêmicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Amazônia Brasileira

De acordo com o Código Florestal, Lei 12.651/2012, a Amazônia Legal é formada pelos estados os Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e as regiões situadas ao norte do paralelo 13° S, dos Estados de Tocantins e Goiás, e ao oeste do meridiano de 44° W, do Estado do Maranhão.

Uma estimativa de 63% da Amazônia Legal são cobertos por florestas densas, abertas e estacionais e 22% com vegetação nativa não florestal, composta por cerrado, campos naturais e campinaranas, sendo que, até 2009, cerca de 15% dessa cobertura vegetal já havia sido desmatada (PEREIRA et al, 2010), incluindo em seu território um terço das florestas tropicais úmidas do planeta, com cerca de 30% da diversidade biológica mundial, um imenso potencial genético, princípios ativos de inestimável interesse econômico e social e oferta de produtos florestais com alto valor no mercado (BRASIL, 2008).

A produção agropecuária nessa região baseia-se em duas vertentes características: a produção agrícola em monocultivo e a pecuária a pleno sol, geralmente com subutilização dos recursos disponíveis (Arco-Verde, 2008). Com a necessidade de otimizar o uso da terra devido ao aumento populacional e a crescente demanda por bens e serviços agroflorestais, políticas públicas nos trópicos úmidos têm voltado sua atenção para propostas que integrem cultivos anuais, espécies forrageiras e madeiráveis em uma mesma unidade de área (Nair, 1993).

A heterogeneidade dos sistemas de produção utilizados na Amazônia brasileira é decorrente da própria diversidade natural e social da região e adoção de sistemas de produção mais adequados a essa diversidade é essencial, não só para a sustentabilidade ambiental, como também para a dinâmica econômica e inclusão social (Corrêa, 2010).

Alguns autores (DIEGUES, 1993; SOUZA, 2009) apontam que, no processo de ocupação recente da Amazônia, a busca desenfreada do governo brasileiro pela integração e ocupação dessa região, fomentando a migração de grande número de famílias, principalmente para as atividades agropecuárias, levou a novas formas de interação entre o homem e o ambiente, o que vem ocasionando a degradação de

recursos naturais. No entanto, as populações tradicionais da Amazônia mantiveram longa relação com o ambiente, sem proporcionar grandes alterações no ecossistema.

Os processos de degradação do bioma Amazônico ainda constituem umas das grandes preocupações de entidades governamentais sobre este ecossistema. Pesquisas indicam a importância da preservação da Amazônia, principalmente pelo papel que o bioma tem em relação ao equilíbrio do clima e como fonte de biodiversidade (FEARNSIDE, 2003).

Segundo Porro (2009), aproximadamente 85 milhões de hectares foram desmatados na Amazônia, desde a década de 1970, principalmente no Brasil, estando a conversão associada à agricultura migratória e à implantação de pastagem que ocorre após a extração da madeira, realizada, na maioria dos casos, de forma ilegal. Na busca por alternativas menos impactantes ao ecossistema amazônico, os SAFs são indicados como uma opção de produção para as regiões dos trópicos (FEARNSIDE, 1989; PORRO, 2009).

2.2 Sistemas agroflorestais

Conceitualmente, o SAF é uma forma de uso da terra com o manejo de árvores em associação com outras culturas perenes ou anuais e/ou animais, apresentando mútuo benefício ou alguma vantagem em comparação com outros sistemas de agricultura, resultante das interações ecológicas e econômicas (DUBOIS, 1996; MONTAGNINI, 1992; NAIR, 1989). Pode apresentar várias disposições no espaço e no tempo e deve utilizar práticas de manejo compatíveis com a condição de cada produtor e as condições ambientais.

O Centro Internacional de Pesquisa em Agrofloresta (International Centre for Research in Agroforestry – ICRAF) define sistema agroflorestal (SAF) como “um sistema dinâmico e de manejo dos recursos naturais que, através da integração de árvores nas unidades de produção agrícola, diversifica e mantém a produção, visando um crescente benefício socioeconômico e ambiental para os agricultores” (Nair, 1993).

Na Amazônia, os sistemas agroflorestais têm dimensões específicas no espaço e no tempo, abrangendo, entre seus componentes, parte dos ambientes da paisagem e também as sazonalidades ambientais pelas quais se alteram ao longo do tempo. Segundo

Van Leeuwen et al. (1997), na Amazônia, o conceito de SAFs ganha um significado muito mais amplo em que a atividade agroflorestal abrange todas as atividades agrícolas e florestais, que não agridem o meio ambiente.

De acordo com Nair (1993) e Montagnini (1992), os SAFs produzem bens e serviços em bases sustentáveis, aliando produção e conservação da biodiversidade. Quanto à complexidade desses agroecossistemas, existem desde arranjos que apresentam um reduzido número de espécies e geram poucas interações e produtos, até arranjos mais complexos com estrutura mais semelhante ao ecossistema florestal nativo, com muitas espécies e maiores níveis de interações entre os componentes.

A capacidade de conservação da biodiversidade e dos recursos naturais pelos agricultores tradicionais é comprovada. Esses agricultores possuem técnicas de manejo, acumulada ao longo de gerações, baseadas na compreensão aprofundada sobre o ambiente em que vivem (FAO, 2012). Esta particularidade permitiu a esses agricultores construir uma agricultura própria, por meio de sistemas produtivos adaptados que otimizam apenas os recursos naturais disponíveis, como por exemplo os sistemas agroflorestais (SAFs).

Face aos problemas causados pelo atual modelo agrícola e de uma reavaliação das políticas de desenvolvimento promovidas por agências como o Banco Mundial e a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), os sistemas agroflorestais começaram a ser valorizados como alternativas mais sustentáveis de uso e manejo dos recursos naturais (Sabogal *et al.*, 2006).

2.2.1 Classificação

A classificação dos SAFs tem base nos critérios de arranjos espacial e temporal, na importância e no papel dos componentes, no planejamento da produção ou na produção do sistema, e suas características socioeconômicas (NAIR, 1993).

Alguns autores classificam os SAFs baseando-se nos seguintes aspectos estruturais, funcionais, socioeconômicos e ecológicos: sistemas silviagrícolas, sistemas silvipastoris, sistemas agrossilvipastoris, sistema “taunguia”, árvores com cultivos em aleias, cercas vivas e quintais agroflorestais (DUBOIS, 1996; MONTAGNINI, 1992; NAIR, 1993).

Para Bernardes (2008), os sistemas agroflorestais podem ser classificados, de acordo com seus componentes, em silviagrícolas ou agrossilviculturais (espécies florestais e culturas agrícolas), silvipastoris (espécies florestais e forrageiras para alimentação animal ou espécies florestais, forrageiras e animais) e agrossilvipastoris (espécies florestais, culturas agrícolas e forrageiras para alimentação animal).

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) têm sido classificados de diferentes maneiras segundo sua estrutura no espaço, seu desenho ao longo do tempo, a importância relativa e a função dos diferentes componentes, assim como os objetivos de produção e suas características sociais e econômicas (Montagnini, 1992).

Os sistemas agrossilvipastoris, considerando aspectos estruturais e funcionais, são caracterizados pela criação e manejo de animais em consórcios silviagrícolas. Dentro dessa categoria, os quintais agroflorestais se destacam como uma unidade de manejo de uso do solo, muito disseminado nas regiões tropicais, integrado ao sistema de produção de agricultores tradicionais (Dubois, 1998; Nair, 1993).

Os quintais agroflorestais, são sistemas tradicionais existentes em quase todos os países tropicais (Kumar e Nair 2004). Van Leeuwen e Gomes (2001) denominam os quintais agroflorestais de pomar caseiro, definindo-os como áreas onde são plantadas várias espécies de árvores, em que a casa da família fica situada dentro do pomar, perto da margem, onde se encontram as vias de acesso por terra (ramal, estrada) ou por água (rio, igarapé, lago, paraná). Segundo estes autores, dependendo da região, esta modalidade de sistema recebe outras denominações, como terreiro, quintal, sítio, pomar doméstico ou horta caseira e miscelânea.

Segundo Van Leeuwen e Gomes (2001), as características de um pomar caseiro são: geralmente contém árvores de muitas espécies diferentes, grande parte frutíferas; a área que ocupa é, na maioria dos casos, menor que um hectare, podendo variar entre 0,2 e 2,5 hectares e, normalmente, os produtores mantêm, dentro do pomar, uma pequena criação de aves (galinhas, patos), que, durante o dia, estão soltas. Quando há porcos, trata-se apenas de alguns, presos ou soltos. Depois da fase de instalação, o pomar parece uma floresta natural: vegetação densa, muitas espécies, diferentes estratos e distribuição irregular das árvores. A substituição de árvores no pomar é feita por unidade. Uma árvore que não é mais desejada é eliminada e no espaço instalam-se outras plantas úteis.

Essa eliminação é individual e aumenta a variabilidade de espécies e idades, e faz o pomar parecer uma floresta.

2.2.2 Benefícios

Uma das maiores vantagens dos SAFs é a sua capacidade de manter bons níveis de produção em longo prazo e de melhorar a produtividade de forma sustentável (DUBOIS, 1996). Os SAFs têm como objetivo otimizar os efeitos benéficos das interações que ocorrem entre os componentes arbóreos e as culturas agrícolas ou animais, afim de obter maior diversidade de produtos, diminuir as necessidades de insumos externos e reduzir os impactos ambientais negativos das práticas agrícolas GLIESSMAN (2005).

O uso da terra por meio de SAF otimiza os efeitos benéficos das interações que ocorrem entre componentes arbóreos, cultivos agrícolas e criação de animais, para obter a maior diversidade de produtos (NAIR, 1993; YOUNG, 1989).

Neste sistema de cultivo há benefícios importantes para o ambiente, em comparação com a agricultura convencional, como manutenção da fertilidade do solo, consumo reduzido de insumos industriais e redução da necessidade de insumos externos e dos impactos ambientais negativos (DUBOIS, 1996; NAIR, 1993; SANTOS et al., 2000; YOUNG, 1989).

A integração proporcionada pelos SAFs entre espécies arbóreas e culturas agrícolas não visa somente à produção, mas também contribui para a melhoria da qualidade dos recursos ambientais. Isto acontece devido às interações ecológicas que ocorrem nesse processo, uma vez que a presença de árvores favorece a ciclagem de nutrientes, confere proteção ao solo contra erosão e melhora o microclima local (Altieri et al 2001).

No entanto, existe, ainda, resistência, por parte de alguns agricultores, em introduzir o componente madeireiro, devido ao fato de seu retorno econômico ocorrer em longo prazo (SANTOS et al., 2000).

Como benefícios na adoção de SAF podem-se citar a variabilidade de espécies utilizadas nos modelos de plantio, a melhoria da capacidade produtiva da terra e a otimização da utilização dos recursos naturais disponíveis, se adaptados às condições

ecológicas e dos produtores, obtendo-se, assim, maior produção por unidade de área (ABDO et al, 2008).

No Brasil, em especial na Amazônia, os SAF estão sendo amplamente difundidos e começam a ser mais estudados nos últimos anos, com ênfase na agricultura familiar, pois estes sistemas produtivos permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a geração de serviços ambientais (infiltração d'água, acúmulo de matéria orgânica, manutenção da biodiversidade). Além disso constituem importantes sistemas de fixação de C na biomassa vegetal e no solo (KATO et al., 2006).

2.2.3 Aspectos socioeconômicos

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são apontados, por alguns pesquisadores, como uma atividade socioambiental apropriada para agricultura familiar na região dos trópicos (FEARNSIDE, 2009; DUBOIS, 2009). Estes sistemas de cultivo são altamente dinâmicos, especialmente nos anos iniciais e no período de estabelecimento (SMITH et al., 1998).

Uma das importantes contribuições sociais do SAF para área urbana e rural é em relação à segurança alimentar das populações de baixa renda (KABASHIMA et al., 2009).

Apesar de serem frequentemente citados como uma alternativa viável de uso da terra na Amazônia, em muitas regiões pouco se conhece sobre a composição florística, a fotossociologia e a socioeconomia dos sistemas agroflorestais existentes nas pequenas propriedades rurais da região.

A grande complexidade dos SAFs e suas interações não se dão, apenas no plano das interações ecológicas, mas também no plano cultural e econômico. Esta complexidade, portanto, não pode ser simplesmente “copiada” de um local para outro, de um contexto para outro. Esta característica faz com que sejam vistos como sistemas difíceis tanto de avaliar como de ser difundido de modo generalizado. (Altieri et al 2001)

O desenvolvimento de métodos de manejo que sejam capazes de associar o alcance de bons níveis de produtividade e rentabilidade com conservação ambiental

deve ser realizado com a participação efetiva da população diretamente envolvida por meio de processos de pesquisa participativa (Bona et al., 2011).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 50-59, dez. 2008.

ALTIERI, MIGUEL. **Agroecologia**: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. Tradução de Marília Marques Lopes. 3. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. 110p. (Síntese Universitária).

ARCO-VERDE, M. F. **Sustentabilidade Biofísica e Socioeconômica de Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira**. 2008. 188 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BERNARDES, M. S. Sistemas agroflorestais. In: SEMANA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROPECUÁRIA, 23., 2008, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP; 2008.

BRASIL. Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável**: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira. Presidência da República. Brasília: MMA, 2008.

CORRÊA, G A.. **Modelagem e simulação econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira**. 117 p. 2010. Dissertação (Mestrado em Economia)- Universidade Federal de Roraima, Porto Alegre.

COSTA, R. J. **Pesquisa participativa e desenvolvimento rural**: projeto Tarumã Vivo. Manaus: EMBRAPA, 2010.

DIEGUES, A. C. **A dinâmica social do desmatamento na Amazônia**: populações e modos de vida em Rondônia e Sudeste do Pará. São Paulo: UNRISD, 1993.

DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: NUPAUB-USP, 163 p. 1994.

DUBOIS, J. C. L. Sistemas agroflorestais na Amazônia: avaliação dos principais avanços e dificuldades em uma trajetória de duas décadas. In: PORRO, R. (Ed.) **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 171-217.

DUBOIS, J.C.L. **Manual agroflorestral para a Amazônia**: v. 1. Rio de Janeiro: REBRAAF, 1996.

DUBOIS, Jean C.L. (org.) **Manual agroflorestral para a Amazônia**. Rio de Janeiro, REBRAAF / Fundação Ford, 2ª Ed. 1998. 228 p.

F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica**: ecossistemas tropicais e subtropicais – Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 19 – 25.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003.

FEARNSIDE, P. M. Agricultura na Amazônia e tipos de agricultura: padrões e tendências: núcleo de altos estudos amazônicos. **Cadernos do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos**, Pará, v. 10, p. 197-252, 1989.

FEARNSIDE, P. M. Agrosilvicultura na política de desenvolvimento na Amazônia brasileira: A importância e os limites de seu uso em áreas degradadas. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. (Ed.). **Floresta Amazônica**: dinâmica, regeneração e manejo. Manaus: INPA, 1998. p. 293-312.

FEARNSIDE, P. M. Degradação dos recursos naturais na Amazônia Brasileira: implicações para o uso de sistemas agroflorestrais. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa agroflorestral na Amazônia em transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. p. 161-170.

FEARNSIDE, P. M. Reconsiderações do cultivo contínuo na Amazônia. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 50, n. 4, p. 833-840, 1990.

KABASHIMA, Y. et al. Sistemas agroflorestrais em áreas urbanas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 4, n. 3, p. 1-20, 2009.

KATO, K.Y.M. **A agricultura e o desenvolvimento sob a óptica da multifuncionalidade: o caso de Santo Antonio de Pádua/RJ**. (Dissertação de mestrado). Rio de Janeiro: CPDA/UFRRJ, 2006. 136p.

KUMAR, B. M., & NAIR, P. K. R. (2004). **The enigma of tropical homegardens**, (Torquebiau 1992), 135–152. MMA, 2008.

MONTAGNINI, F. **Sistemas Agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos** – San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales. 1992. 622 p.

- NAIR, P. K. R. **Agroforestry systems in the tropics**. Dordrecht: Kluwer Print On Dema, 1989.
- NAIR, P. K. R. Agroforestry systems inventory. **Agroforestry Systems**, v. 5, p. 301-317, 1987.
- NAIR, P.K.R. **An Introduction to Agroforestry**. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 499 p. 1993.
- PEREIRA, J.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: IMAZON, 2010.
- PORRO, R. Expectativas e desafios para a adoção da alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 33-51.
- SABOGAL, C; ALMEIDA, E de; CARVALHO, J. O.P. **Silvicultura na Amazônia brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas**. CIFOR, Belém, 190 p. 2006.
- SANTOS, M. J. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental**. 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz". Disponível em lmq.esalq.usp.br/disserteses/marioSantos.pdf. Acesso em out. 2006.
- SILVA, I. C. **Viabilidade agroeconômica do cultivo do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) com o açázeiro (*Euterpe oleracea* L.) e com a pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) em sistema agroflorestal**. Floresta, Curitiba, v. 31, n. 12, p. 167-168, 2000.
- SMITH, N. J. et al. Agroforestry experiences in the Brazilian Amazon: constraints and opportunities: pilot program to conserve the brazilian rain forest. **Agricultural Systems**, Essex, v. 21, p. 279-310, 1998.
- SOUZA, M. **História da Amazônia**. Manaus: Valer, 2009.
- TURNER, M. G., GARDNER, R. H., O'NEILL, R. V. **Landscape ecology: in theory and practice**. New York: Springer, 2001.
- VAN LEEUWEN, J. et al. Sistemas agroflorestais para a Amazônia: importância e pesquisas realizadas. In: NODA, H.; SOUZA, L. A. G.; FONSECA, O. J. M (Ed.).

Duas décadas de contribuição do INPA a pesquisa agrônômica no tropico úmido.

Manaus: INPA, 1997. p. 131-145.

VAN-LEEuwEN, J.; GOMES, B. M. **O pomar caseiro na região de Manaus, Amazonas, um importante sistema agroflorestral tradicional.** Brasília: INPA, 2001.

Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br/cpca/joha-pomar.html>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

VIEIRA, T. A.; ROSA, L dos S.; VASCONCELOS, P. C. S.; MONICA, M. dos S.; MODESTO, R. da S. Sistemas agroflorestrais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**. v. 37. n. 4, 2007, p. 549 – 558.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation.** Wallingford: CAB International, 1989.

4. ARTIGO:

**SPECIES DIVERSITY INCREASES INCOME IN AGROFORESTRY
SYSTEMS OF EASTERN AMAZONIA**

**Species diversity increases income
in agroforestry systems of eastern Amazonia**

Ernesto Gómez Cardozo; Henry Mavisoy Muchavisoy; Hulda Rocha Silva; Guillaume Xavier Rousseau; Christoph Gehring*)

Agroecology Program of Maranhão State University

* Corresponding author: christophgehring@yahoo.com.br, Tel: +55-98-32769378

1 **ABSTRACT**

2 This study compares biodiversity and socioeconomic performance of a wide range of
3 agroforestry systems. We quantified (i) agroforestry species diversity (commercial,
4 subsistence and ‘non-productive’ species), and (ii) key socioeconomic variables (costs,
5 monetary and non-monetary income, net income, degree of satisfaction) in 38 farms,
6 aggregated in 4 site-clusters in the eastern periphery of Amazonia. We cover a wide
7 range of agroforestry systems, ranging from commercial to subsistence, and from
8 simply-structured plantations developed by Japanese immigrants to complex and
9 biodiverse systems (enriched fallows and multi-strata homegardens), and compare these
10 with the region’s two predominating landuse systems, pastures with babassu palms
11 (dominating in area) and slash-and-burn shifting cultivation (dominating in people).
12 Landuse-intensity (costs and income per hectare) were highest in commercial plantation
13 agroforestry and in subsistence homegardens, and lowest in enriched fallows and
14 pastures. All agroforestry systems resulted in higher income:cost ratios and a higher
15 degree of satisfaction than pastures and shifting cultivation. Non-monetary income and
16 the income:cost ratio were highest in small homegardens, a system which so far lacks
17 systematic Research & Development and extension efforts. Total species richness was
18 negatively related both with costs and monetary, but not with non-monetary income per
19 hectare, due to occupation of space by ‘non-productive’ species which provide
20 important ecosystem services. The number of productive species was positively related
21 to (mainly non-monetary) income, net-income and especially the income:cost ratio.
22 Future efforts for food security and poverty reduction need to focus more on species-
23 rich agroforestry systems, notably the ubiquitous and successful homegardens.

24

25 **Keywords:** commercial agroforestry; subsistence farming; homegardens; fallow
26 enrichment; babassu pasture; non-monetary income.

1 1. INTRODUCTION

2 With the integration of trees into the agroecosystem, agroforestry is considered
3 biologically ‘intermediate’ in terms of biological diversity and productivity, somewhere
4 between pure agriculture or pasture systems and mature native forests. Agroforestry
5 systems exist on all continents and over most major biomes of the world (Zomer et al.
6 2009). The enormous variety of agroforestry systems is astonishing, both in terms of
7 their socioeconomic origins and propositions, and of their biological composition.
8 Systems origins range from traditional-indigenous (Denevan et al. 1984; Coomes and
9 Burt 1994; Diemont and Martin 2009) to ‘modern’ (based on agronomic / scientific
10 wisdoms; Ong 1984; Yamada and Gholz 2002), finalities from subsistence to
11 commercial (Padoch and de Jong 1995), and structure / composition from simplistic and
12 species-poor (van Noordwijk et al. 1997) to complex and biodiverse (Cristanty et al.
13 1986). As a consequence, the ecological and socioeconomic outcome and sustainability
14 of these systems may likewise be expected to vary widely. Agroforestry systems cannot
15 be automatically assumed to be sustainable *per-se*.

16 The multiple relationships between species diversity and (agro-)ecosystem functioning
17 are among the fundamental issues of ecology and agronomy. Expected biodiversity
18 benefits are higher system stability (resistance and resilience against perturbations) and
19 better compartmentalization and exploration of niches. Forms of such relationships,
20 redundancies and possible minimum diversity thresholds are hotly debated (Walker
21 1992; Gunderson 2000; Pascual and Guichard 2005; Thompson et al. 2005), functional
22 diversity can be more relevant than taxonomic diversity (Diaz and Cabido 2001).

23 From an economic perspective, portfolio diversity bears both advantages and
24 disadvantages. Diversity can reduce risks, but also increases the complexity of
25 management. Low diversity and concentration of investments in few components
26 permits the development of significant scale-effects, both in systems management and
27 in the distribution and sale of products.

28 From a sociological perspective, diversity of cultures and traditions, and of the use and
29 management of species are believed to increase resilience, as it serves as insurance
30 against unexpected or disruptive events and provides components that facilitate renewal

1 after disturbances of ‘socioecological systems’ (Berkes et al. 2003; Cabell and Oelofse
2 2012).

3 This study investigates the impact of agroforestry species diversity on socioeconomic
4 performance of land-use systems in the eastern periphery of Amazonia. We cover a
5 wide range (simple or complex, intensive or extensive, subsistence or commercial) of
6 agroforestry systems, and compare these with the two predominating systems, extensive
7 pastures with babassu palms (dominating in terms of area), and slash-and-burn shifting
8 cultivation by smallholder farmers (sustaining most of the rural population).

9

10 **2. METHODS**

11 *2.1 Study region and clusters of study sites*

12 Research was conducted in the eastern periphery of Amazonia in four clusters of
13 research sites / farmer families, in the Brazilian states of Maranhão and Pará (Figure 1).

14

15 → insert Figure 1

16

17 Three of the four clusters are located in Maranhao state, the Tomé Açu cluster of Pará
18 state is approximately 400 km further westward. Climate is classified according to
19 Köppen as *Aw* and *Ami* and varies remarkably little between the four clusters (2100 mm
20 annual rainfall in the Maranhão clusters and 2300 mm in Tomé Açu, 6 vs. 4 months
21 with hydric deficit). All soils are acid and nutrient-poor upland (*terra firme*) soils
22 which predominate in the study region, and are classified as sandy loam Oxisols
23 (Almeida and Viera 2010). Vegetation is almost exclusively extensive pastures or
24 secondary forests, in consequence of the region’s intense anthropogenic pressure,
25 original dense evergreen mature forests only exist in rare fragments in Maranhão state,
26 but are still more common in the Tomé Açu area. Frequent slash-and-burning has
27 drastically increased the dominance of the babassu palm (*Attalea speciosa* Mart.,
28 *Arecaceae*) in the region, covering an area estimated at > 100 mil ha in Maranhão state
29 alone (Porro 2005; Almeida and Viera 2010)

30

1 **2.2 Agroforestry systems**

2

3 → insert Figure 2

4

5 Research was conducted with 27 families with agroforestry systems, and with 3 families
6 with babassu pastures and 8 slash-and-burn farmers for comparisons. We classify all
7 land-use systems according to their socioeconomic finalities in three classes
8 ('commercial', 'intermediate' and 'subsistence'), as proposed by Nair (1993), and
9 further distinguish three types of subsistence agroforestry (Figure 2). All land-use types
10 have three or more replications, but - due to the non-occurrence of some systems in
11 some clusters - our setup is unbalanced. We believe this is not a serious problem, due to
12 (i) small differences in edaphic conditions as outlined in chap. 2.1, and (ii) lacking
13 statistical differences of all biodiversity and socioeconomic variables between the three
14 Maranhão and the Tomé Açu site clusters, both in homegardens (small and medium-
15 sized combined) and in slash-and-burn systems.

16

17 **Commercial Agroforestry Enterprise:** Regularly-spaced agroforestry plantations
18 mainly by Japanese immigrants in southern Pará state. Main products are cocoa, açai
19 (*Euterpe oleracea* Mart.) and cupuassu fruits, and black pepper (Homma and Barros
20 2008).

21

22 **Commercial Agroforestry by smallholder farmers:** Inspired by and similar in
23 composition and finalities with the Japanese agroforestry plantations, but owned by
24 smallholder farmers.

25

26 **Homegarden:** Multistrata agroforestry systems surrounding the houses are among the
27 oldest and most widespread forms of agroforestry throughout the humid tropics (Kumar
28 and Nair 2006). In addition to the productive functions, homegardens provide vital
29 shade. Next to trees and crops, small domestic animals typically form a third
30 component. We further distinguish homegardens according to their size into:

31 **Small homegarden:** homegarden smaller than one hectare.

32 **Medium-sized homegarden:** homegarden larger than one hectare.

1
2 **Enriched fallow:** Agroforestry systems established by enrichment plantings of fruit and
3 timber species in the understory of secondary forests.

4
5 We compare these agroforestry systems with the region's two predominant land-use
6 systems:

7
8 **Babassu pasture:** Extensive pastures predominate throughout most of the Amazonian
9 arc of deforestation, with brachiaria grass and stocking rates of typically < 1 Nelore
10 cattle per hectare (Sarmiento et al. 2010). A conspicuous feature of these pastures are the
11 adult babassu palms growing within them, providing shade for the cattle, and a source
12 for babassu nut extractivism (not quantified in this study).

13
14 **Slash-and-burn:** Slash-and-burn shifting cultivation predominates is far less important
15 than the pastures in areal extent, but predominates in terms of population and sustains
16 74.4% of the region's farms (Ministério do Desenvolvimento Agrário 2011). We
17 investigate the socioeconomic variables of the cultivation phase, and do not attempt to
18 quantify the biodiversity during the fallow phase of this agroecosystem.

19 20 **2.3 Biodiversity**

21 We identified and quantified all agroforestry species ≥ 5 cm diameter at breast height, in
22 the case of cacao (*Theobroma. Cacao* L., Malvaceae) and cupuassu (*Theobroma*
23 *grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum., Malvaceae) ≥ 5 cm diameter at 30 cm
24 height, and also – because of its prominent economical relevance) black pepper (*Piper*
25 *nigrum* L., Piperaceae). The inventory was conducted in one circular sampling unit per
26 site with 50m diameter (1963.5 m²) in all agroforestry systems without regular spacing,
27 in analogy with studies of Pinto et al. (2010), Kirby and Potvin (2007) and Brown
28 (2002), and in three 25 x 25m quadrants per site (1875 m²) in regularly spaced
29 commercial agroforestry plantations, in analogy with Kato (2009) and Somarriba
30 (2013). We discarded large boarder-zones to neighboring vegetation.

31 We identified agroforestry species initially with help of the farmers (local names) and
32 subsequently in the herbarium of Maranhão State University, following the *Angiosperm*
33 *Phylogeny Group-II* classification system (APG II 2003).

1

2 We calculate diversity via (i) species richness (quantity of species in sampling area),
3 and – based on shares in abundance and frequency of species – (ii) the diversity indices
4 Simpson and Shannon-Wiener, and (iii) the equitability-index of Pielou (Magurran
5 1988). Floristic data-processing was executed with FITOPAC-software (Shepherd
6 2006).

7 We classified all agroforestry species according to their productive potential into the
8 following three categories: (1) commercial species (market production), (2) subsistence
9 species (mainly autoconsumption, small parts are also sold), and (3) non-productive
10 species (species without productive value but exerting important ecosystem services
11 such as shade, organic matter cycling / soil cover or nectar / pollen for honey
12 production, as well as juvenile plants and plants for medicinal purposes.

13 **2.4 Socioeconomic variables**

14 We collected all socioeconomic variables via semi-structured interviews with open
15 questions (Sibelet and Smektala 1999). We classified costs and income as follows:

16

17 **Monetary income:** Value of commercialized production, using on-farm prices. In our
18 analysis, we do not include timber as future income-source.

19

20 **Non-monetary income:** Value of non-commercialized production which would have
21 been obtained if the farmer had sold production instead of consuming it. Again we
22 assume on-farm prices.

23

24 **Total costs:** Costs for maintenance and harvest operations of the agroforestry systems,
25 including external inputs, equipment and (own family or hired) labor. Original
26 installation costs are not considered in our estimates.

27

28 **Net income:** Sum of monetary and non-monetary income minus total costs

29

30 **Income:cost ratio:** We take the relationship between total income and total costs as an
31 indicator of economic efficiency (Dorsa 2000).

32

1 Estimates of costs and income were obtained using the prices reigning in each county in
2 2012. We subsequently extrapolated the values of our sampling sites to values per
3 hectare.

4 We estimated the degree of satisfaction as the auto-evaluation of the quality of life of
5 the farmers and their wives in relation to their work and their production system
6 (Veenhoven 1994). We utilize a numerical scale as follows:

7	0-2: Very dissatisfied
8	2-4: Dissatisfied
9	4-6: Indifferent
10	6-8: Satisfied
11	8-10: Very satisfied

12

13 **2.5 Statistics**

14 We verified normality of distribution of all data both visually with histograms and via
15 Shapiro-Wilk and Lilliefors' tests against normality, and checked for homogeneity of
16 variance with Levene's test (Crawley 2007). We compared the different agroforestry
17 systems via one-way ANOVA and *post-hoc* Spjøttvoll-Stoline test (Tukey for unequal
18 number of replications), and we analyze relationships between biodiversity and
19 socioeconomic variables via linear and logarithmic regressions. For the latter we
20 identified and eliminated two outlier values. Statistical analyses were conducted with
21 STATISTICA 8.0 (StatSoft 2007). In order to gain a better overview of all variables and
22 agroforestry systems under investigation, we also conducted a Principal Component
23 Analysis, using INFOSTAT software (Di Renzo and Casanoves 2011).

24

25

3. RESULTS

3.1 *Species composition and biodiversity*

We identified in the 27 agroforestry sites a total of 83 species, distributed in 73 genera and 34 plant families. Table 1 gives details on the 10 most abundant species and Figure 3 shows the most abundant species in the different agroforestry systems.

→ insert Table 1

→ insert Figure 3

Commercial Agroforestry Enterprise: Agroforestry plantation on enterprise-level. Three species (*Theobroma cacao*, *Musa* spp., and *Piper nigrum*) predominate with 90% of all plants. Contrary to the other two species, the principal finality of banana is its ecosystem services (rapid shade, organic matter). Main management activities are understory clearing and periodic prunings, fertilizer and pesticide applications and cocoa processing. This system relies exclusively on hired labor and amply applies external inputs.

Commercial Agroforestry by smallholder farmers: Slightly more diverse agroforestry plantations by smallholder farmers, five species combine 93% of all plants. Production of *Theobroma cacao* and *Piper nigrum* is completely commercialized, whereas *Euterpe oleracea*, *Musa* spp. and *Theobroma grandiflorum* serve both for autoconsumption and the market. Main management activities are understory clearing and periodic prunings, and cocoa and cupuassu fruit processing. This system relies almost exclusively on family labor, though additional labor is hired for black pepper harvesting. Contrary to the Commercial Agroforestry Enterprises, there is no use of external inputs (fertilizers or pesticides).

1 Small (<1 ha) homegardens: surrounding the houses and typically inherited from the
2 preceeding generation(s). Five species (combine *Theobroma grandiflorum*, *Euterpe*
3 *oleracea*, *Musa* spp., *Artocarpus integrifolia*, and *Theobroma cacao*) combine 76 % of
4 all plants. Almost all of agroforestry production is for home consumption, though
5 excess of *T. grandiflorum* and *E. oleracea* also is sold to local markets. Main
6 management activities are periodic prunings conducted exclusively by family labor, no
7 use of external inputs. Female labor predominates in the processing of cupuassu fruit
8 flesh.

9 Medium-sized (>1 ha) homegardens: Often developed around initial natural clusters of
10 *Euterpe oleracea* close to springs, and subsequently systematically enriched and
11 enlarged. *Euterpe oleracea* and *Theobroma grandiflorum* combine 79 % of all plants.
12 Main management activities are periodic prunings conducted exclusively by family
13 labor, no use of external inputs.

14 Enriched fallow: This system was initially established by NGO or Rural Extension
15 Service. Though some families still receive assistance, others don't anymore. The most
16 conspicuous species are *Musa* spp., *Euterpe oleracea* and *Platonia insignis*, combining
17 55% of all plants. Most of the remainder are spontaneously occurring species of the
18 overstory of secondary forest regrowth. The latter furnish ecosystem services such as
19 shade, organic matter / litter, wildlife feed (*Cecropia* sp.), nectar and pollen for honey
20 production (*Andira* sp.), or have medical applications. The multi-use babassu palm
21 provides charcoal, palm oil, construction material and feed for (rodent) wildlife. Main
22 management activities are periodic understory clearing, and shade regulation, using
23 exclusively family labor and no external inputs.

24 Table 2 shows the key biodiversity indicators of our agroforestry systems. Biodiversity
25 is extremely low in the babassu pasture 'silvopastoral' system, with merely one woody
26 species (the babassu palm) present. Within the agroforestry systems, species richness
27 (i.e., the number of species) and Shannon diversity index is highest in enriched fallows
28 and small homegardens, and lowest in Commercial Agroforestry Enterprise systems.
29 Dominance (Simpson index) is lowest in small homegardens, equitability (Pielou)
30 doesn't differ between our agroforestry systems.

31

1 → insert Table 2

2

3 ***3.2 Socioeconomic profile of agroforestry species***

4 Of the total of 83 species, 4% were exclusively commercial, 23% served both
5 autoconsumption and commercial purposes, and 73% ‘non-productive’ species did not
6 have any productive function, but were maintained because of the ecosystem services
7 they provided, were juveniles or medicinal plants. Species composition of agroforestry /
8 land-use systems differed markedly in their socioeconomic profile (Table 3).

9

10 insert Table 3

11

12 Whereas total species number was quite similar in enriched fallows and small
13 homegardens, but the homegardens had a much higher quantity of productive species.
14 In the pastures with babassu, we classified the babassu palm as ‘non-productive’, out of
15 the rancher’s perspective of ecosystem services (shade for the cattle). We do not
16 consider income generated by and for the (largely female) babassu nut crackers.

17

18 ***3.3 Costs and benefits, net income***

19 The only two systems with significant costs caused by external inputs (fertilizers and
20 pesticides / vaccines and medicine etc) and by hired labor were the two exclusively
21 commercial systems, commercial agroforestry enterprises and babassu pastures. In case
22 of the commercial agroforestry enterprise plantations, external inputs summed 36% and
23 hired labor 64% of total costs. In all other agroforestry systems costs were caused
24 exclusively by proper (family) labor (small exceptions in smallholder commercial
25 plantation agroforestry).

26

27 Figure 4 shows the costs, the monetary and non-monetary benefits and the net income
28 of all agroforestry / land-use systems. Large differences between systems are evident.
29 As to be expected, monetary income was highest in the commercial agroforestry
30 enterprise, costs likewise were highest in this system. Costs were likewise very high in

1 slash-and-burn shifting cultivation. Both costs and returns are far lower (i.e., more
2 extensive land-use) both in enriched fallows and in babassu pastures. Net income per
3 hectare is highest in the homegardens (due to low costs and high non-monetary
4 income), and lowest in the extensive pastures and in slash-and-burn shifting cultivation.

5

6 → insert Figure 4

7

8 Based on the minimum-wage of R\$622.00 in the year 2012, small and medium-sized
9 homegardens annually generated 7.47 and 6.77 minimum wages per ha respectively,
10 whereas babassu pastures and slash-and-burn shifting cultivation only generated 0.77
11 and 1.85 minimum wages per ha respectively.

12

13 Figure 5 compares the income:cost ratios as a measure of the ‘socioeconomic
14 efficiency’ of these land-use systems. Efficiency is highest in the homegardens
15 (especially in the small ones close to habitation), and lowest in the commercial
16 agroforestry plantations (both enterprise and smallholder ventures), enriched fallows,
17 and especially in the predominating babassu pasture and slash-and-burn land-use
18 systems.

19

20 → insert Figure 5

21

22 ***3.4 Impact of biodiversity on costs, benefits and income***

23

24 Figure 6 explores the relationships between total agroforestry species richness and costs
25 and income (top), and between productive (i.e., commercial and autoconsumption)
26 species richness and non-monetary income, net-income and income:cost ratio (bottom).
27 Relationships were non-linear in some cases. Relationships with the Shannon-Wiener
28 diversity index were similar, whereas there were no relationships with Simpson
29 dominance or Pielou equitability indices (data not shown).

30 Total species richness was negatively related both with costs and with monetary (but not
31 with non-monetary) income, presumably a consequence of occupying space with non-
32 productive ‘other’ species. By contrast, non-monetary income, net income and the
33 income-to-cost ratio were positively impacted by productive species richness.

1

2 → insert Figure 6

3

4 **3.5 Multivariate correlations between biodiversity and monetary variables**

5 The first two axes of the Principal Component Analysis accounted for 85.5% of total
6 variation (Figure 7). Axis 1 (59.9%) identifies systems with high and low diversity, and
7 axis 2 (25.6%) allows to distinguish the distribution of costs and income in the different
8 landuse systems. Land use was segregated in three distinct groups: 1) small and
9 medium-sized homegardens, enriched fallows and smallholder agroforestry plantations
10 (SH, MH, EF and CASF) were associated with high biodiversity, low costs, non-
11 monetary income and net income; 2) traditional slash-and-burn shifting cultivation and
12 pastures with babassu palm (PB and SB) were associated with low biodiversity, high
13 dominance and low net income; and 3) Commercial agroforestry plantation Enterprise
14 (CAE), clearly separated from the other systems, associated with moderate biodiversity
15 and dominance, high monetary income and high costs.

16

17 → insert Figure 7

18

19 **3.5 Satisfaction**

20 The degree of satisfaction was systematically higher in all agroforestry systems than in
21 the two predominating land-use systems, babassu pasture and slash-and-burn shifting
22 cultivation (Figure 8).

23

24 → insert Figure 8

25

26 **4. DISCUSSION**

27 Maximum agroforestry biodiversity in our study was both in the small homegardens and
28 the enriched fallows (1.54 ± 0.2 and 1.70 ± 0.2 Shannon diversity index; and 13 ± 1.6 and
29 12 ± 1.8 species richness) is intermediate compared to other studies with Shannon
30 diversity ranging from 1.00 (homegardens in the northern periphery of Amazonia in
31 Roraima state; Semedo and Barbosa 2007) to 2.21 and 2.30 in homegardens of
32 neighboring homegardens in Pará state and in urban homegardens in Paraná state of

1 southern Brazil respectively (Gomes 2010; Vieira et al. 2012). Next to methodological
2 issues, such differences result from differing sociocultural traditions and edaphic as well
3 as botanical settings (Sood and Mitchell 2009).

4 In our study, species-poor commercial agroforestry plantations have both the highest
5 costs and the highest (monetary) returns. On the other end of the scale are low-intensity
6 and species-rich enriched fallow agroforestry systems. Such lower intensity is caused by
7 the occupation of space and the capture of light by ‘non-productive’ species, which
8 reduce both the costs and the monetary (but not the non-monetary) income. Next to the
9 ‘species of the future’ (still unproductive juvenile plants), this category is composed
10 especially by plants reknown for the ecosystem services they provide (shade, N₂-
11 fixation, organic matter cycling etc).

12 Taking only the productive species (which generate commercial and/non-monetary
13 autoconsumption benefits), agroforestry species richness and diversity positively
14 impacts (especially non-monetary) income, net-income and – most expressed of all –
15 the income:cost ratio. Increased income generation via species diversity is likely due to
16 niche partitioning and more complete resource exploitation (Fowns 1995; Schroth et al.
17 2001) or possibly even ecosystem overyielding’ (García-Barrios and Ong 2004; Picasso
18 et al. 2011). The even more expressed relationships with net income and with the
19 income:cost ratio both point to a further efficiency-increase, which could be generated
20 by positive interactions between agroforestry species.

21 Next to the above-mentioned positive ecological biodiversity effects, two further –
22 socioeconomic benefits of agroforestry species diversity are important: (i) a better
23 distribution of labor demands and of income generation over the year, and (ii) reduced
24 (financial and non-financial) risks. Whereas the overall availability of labor as the main
25 input factor in subsistence smallholder systems generally is high, peak labor demands
26 during planting operations at the onset of rainy season, and subsequently during
27 weeding and harvest operations are a serious limiting factor in traditional slash-and-
28 burn shifting cultivation of the region and throughout the tropics (Metzger 2002).
29 Income in food and other products is likewise distributed very irregularly throughout
30 the year, with critically low-income phases during the dry season and at the onset of
31 rainy season (Huss-Ashmore and Goodman 1988). Agroforestry trees are able to reduce

1 seasonality (a crucial issue in poverty alleviation), both in labor requirements and
2 income (Chambers and Longhurst 1986), this effect may be expected to increase with
3 agroforestry species diversity.

4 Even though the ratio of benefits to costs is lowest in the commercial agroforestry
5 plantation enterprises of Japanese immigrants in southern Pará state, the ratio of almost
6 2 (1.97) nevertheless is a sound investment. Yamada and Gholz (2002) confirm the
7 efficiency of this conventional agroforestry plantation system in the same study region
8 (Tomé Açu), with returns generated by 10-20 hectares of agroforestry plantations
9 equivalent to those of 400-1200 hectares of pasture. The future financial return
10 generated by the overstory of timber-species (not considered in our study) further
11 increases the financial profitability of this system. Higher returns in the future are also
12 to be expected in the enriched fallow agroforestry system, as many individuals were still
13 unproductive or small.

14 We underestimate total income generation in babassu pastures as we omit babassu nut
15 extractivism for palmoil and charcoal production (Anderson 1991). We do this from the
16 farmer's perspective, as this income is generated by non-farm actors (the babassu nut
17 cracker women), and is sporadic and geographically unpredictable. Manual babassu nut
18 cracking still provides a vital source of income for the rural poor especially during the
19 income-poor dry season (Porro 2004), for some 300.000 families in Maranhão state
20 alone (Almeida et al. 2001). However, work (almost exclusively female labor) is tough,
21 involves health risks and generates very marginal income (well below the poverty line).
22 Thanks to the advent of new income opportunities (migration to urban areas,
23 government programs) the importance of babassu extractivism is on the decline, with a
24 9,7 % reduction of babassu palmoil production between 2006 and 2010 (IBGE 2010),
25 all efforts for the development of mechanical nut breaking have so far been
26 unsuccessful.

27 Even allowing for the extra income generated by babassu palms as mentioned above,
28 the 'silvopastoral' babassu pastures are the least productive system under investigation.
29 At the same time, their biodiversity is by far the lowest (one single 'forestry' species)
30 and in strong contrast with all other investigated agroecosystems. Biomass and carbon
31 stocks are likewise much lower (Muchavisoy 2013). This confirms the low

1 socioeconomic and ecological efficiency and sustainability of these extensive pasture
2 systems, which only are profitable because of the unequal land distribution / low land
3 prices, connected scale effects and high labor efficiency, and (mainly in the past)
4 because of direct and indirect government subsidies (Porro et al. 2004; Celentano et al.
5 2012).

6 The other control landuse system, slash-and-burn shifting cultivation as a sequential
7 form of agroforestry, is likewise stricken by a sustainability-crisis. This is due to the
8 increasing landuse-pressure and the consequently reduced fallow-periods., which cause
9 a general degradation of the agroecosystem, with reduced productive potential and
10 yields, lower resilience and a widespread increase in rural poverty, in our study region
11 as well as in large parts of the humid tropics worldwide (Gehring et al. 2005; Styger et
12 al. 2007; Lawrence et al. 2010). Even so, shifting cultivation agroecosystems still
13 maintain a very considerable biodiversity (Padoch and Pinedo-Vasquez 2010) and still
14 have a large intensification potential via technological efficiency increases (Pascual
15 2005).

16 Estimates of the socioeconomic importance of slash-and-burn shifting cultivation are
17 scarce, old and insecure, this forms of landuse is believed to sustain some 3-500 million
18 people worldwide (Brady 1996). Our study confirms the fact that shifting cultivation is
19 far more intensive on a per-hectare base than the extensive babassu pastures which
20 dominate the landscape. Nevertheless, its profitability is questionable, as both the net-
21 income per hectare and the income:cost ratio are significantly higher in several of our
22 agroforestry systems. These systems could, thus, constitute viable alternatives for a –
23 partial - substitution of slash-and-burn shifting cultivation.

24 Our study identifies homegarden agroforestry (small homegardens surrounding the
25 houses, and mid-sized homegardens / multistrata agroforestry systems further away) as
26 the most efficient and promising of all landuse systems under investigation, both in
27 terms of the generated net-benefits and the income:cost ratio. Such homegardens have
28 been developed independently by many different cultures and farmers throughout the
29 world, especially the humid tropics. Even though they still are definitely under-
30 researched (Nair 2001) and have never been part of systematic agronomic improvement
31 efforts (Kumar and Nair 2006), these systems persist to modern days and, thus,

1 constitute a remarkable success story both in ecological and socioeconomic terms
2 (Peyre et al. 2006; Aguilar-Støen et al. 2009; Galluzzi et al. 2010). Results of the
3 present study point to two decisive socioeconomic characteristics which are key for all
4 efforts of rural poverty reduction destined to those with no money and little land, low
5 costs / zero external inputs and high (mainly non-monetary) income generation per
6 hectare. Homegardens generate high-quality products for autoconsumption, the degree
7 of satisfaction of their farmers is among the highest of all landuse systems. Thus, our
8 results indicate that future investments into homegarden agroforestry would be highly
9 efficient for poverty reduction and nutritional security in our eastern Amazonian study
10 region and likely far beyond.

11

12 **5. CONCLUSIONS**

13 Two major conclusions are to be drawn from our study:

14 (i) All agroforestry systems are socioeconomically more sustainable than extensive
15 pastures and slash-and-burn shifting cultivation, the two predominating landuse systems
16 throughout Amazonia and large parts of the humid tropics worldwide. This reiterates the
17 notion that agroforestry can provide a solution to the socioecological sustainability
18 crisis in the tropics.

19 (ii) Agroforestry species diversity increases (especially non-monetary) income and
20 profitability. The so far largely neglected species-rich homegardens are specially
21 efficient and most promising for rural poverty reduction and food insecurity eradication.

22

23 **6. ACKNOWLEDGEMENTS**

24 This research was partially financed by the Research Fund of Maranhão State
25 (FAPEMA), and two research fellowships were financed by CAPES (Brazilian Council
26 of Higher Education). We would also like to thank INCRA (the federal Colonization
27 and Land Reform Agency), Embrapa-Eastern Amazonia, MST (Movement of the
28 Landless) and the Mixed Agricultural Cooperative of Tomé Açu (CAMTA) for their
29 invaluable practical and infrastructure support.

1 7. REFERENCES

- 2 Aguilar-Støen, M.; Moe, S.R.; Camargo-Ricalde, S.L. 2009. Home gardens sustain crop
3 diversity and improve farm resilience in Candelaria Loxicha, Oaxaca, Mexico. *Human*
4 *Ecology* 37: 55-77.
- 5 Almeida, A.S.; Vieira, I.C.G. 2010. Centro de endemismo Belém: status da vegetação
6 ecológica. *Research Experience for Undergraduates*, 36: 95-111
- 7 Almeida, A.W.B.; Shiraishi, J.; Mesquita, B.A.; Abreu Araújo, H.F.; Martins, C.C.; da
8 Silva, M.H.P. 2001. Economia do babaçu – Levantamento preliminar de dados.
9 MIQCB (Interstate Movement of the Babassu Nutcrackers), São Luis, MA, Brazil.
- 10 Anderson, A.B.; May, P.H.; Balick, M.J. 1991. The subsidy from nature – Palm forests,
11 peasantry, and development on an Amazon frontier. Columbia University Press, NY.
- 12 APG II (Angiosperm Phylogeny Group) 2003. An update of the angiosperm phylogeny
13 group classification of the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical*
- 14 Berkes, F.; Colding, J.; Folke, C. (edits.) 2003. *Navigating social–ecological systems:*
15 *building resilience for complexity and change.* Cambridge University Press,
16 Cambridge.
- 17 Brady, N.C. 1996. Alternatives to slash-and-burn: a global imperative. *Agriculture,*
18 *Ecosystems and Environment* 58: 3–11.
- 19 Brown S. 2002. Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-
20 based projects. *Philosophical Transactions Royal Society. London A* 360: 1669-1684
- 21 Cabell, J.F.; Oelofse, M. 2012. An indicator framework for assessing agroecosystem
22 resilience. *Ecology and Society* 17: 1-18.
- 23 Celentano, D.; Sills, E.; Sales, M.; Verissimo, A. 2012. Welfare outcomes and the
24 advance of the deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*
25 40: 850-864.
- 26 Chambers, R.; Longhurst, R. 1986. Trees, seasons and the poor. pp 44-50 in Longhurst,
27 R. (edit.) *Seasonality and poverty.* IDS Bulletin 17.
- 28 Christanty,L.; Abdoellah,O.S.; Marten,G.G.; Iskandar,J. 1986. Traditional agroforestry
29 in west-Java: The Pekarangan (homegarden) and Kebun-Talun (annual-perennial
30 rotation) cropping systems. pp 132-158 in: Marten, G.G. (edit): *Traditional agriculture*
31 *in southeast Asia.* Westview Press, London.
- 32 Coomes,O.T.; Burt,G.J. 1994. Indigenous market-oriented agroforestry: dissecting local
33 diversity in western Amazonia. *Agroforestry Systems* 37: 27-44.
- 34 Crawley M.J. 2007. *The R book.* Wiley, New York
- 35 Denevan,W.M.; Treacy,J.M.; Alcorn,J.B.; Padoch,C.; Denslow,J.S.; Paitan,S.F. 1984.
36 *Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora indian management of*
37 *swidden fallows.* *Interciencia* 9: 346-357

- 1 Diaz, S.; Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to
2 ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 646-655
- 3 Diemont, S.A.; Martin, S.F. 2009. Lacandon Maya ecosystem management: sustainable
4 design for subsistence and environmental restoration. *Ecological Applications* 19:
5 254-266.
- 6 Dorsa, D.A. 2000. Decisão econômica num sistema agroflorestal. Colombo: Embrapa
7 Florestas (Circular Técnico, 39), pp 24
- 8 Fownes, J.H. 1995. Effects of diversity on productivity: quantitative distributions of
9 traits. pp 177-186 in: Vitousek, P.M.; Loope, L.L.; Adersen, H.(edits): *Islands -*
10 *biological diversity and ecosystem function*. Springer, Berlin.
- 11 García-Barrios, L.; Ong, C.K. 2004. Ecological interactions, management lessons and
12 design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 221-236
- 13 Gajaseni, J.; Gajaseni, M. 1999. Ecological rationalities of the traditional homegarden
14 system in the Chao Phraya basin, Thailand. *Agroforestry Systems* 46: 3-23.
- 15 Galluzzi, G.; Eyzaguirre, P.; Negri, V. 2010. Home gardens: neglected hotspots of
16 agro-biodiversity and cultural diversity. *Biodiversity and Conservation* 19: 3635-3654.
- 17 Gehring, C.; Denich, M.; Vlek, P.L.G. 2005. Resilience of secondary forest regrowth
18 after slash-and-burn agriculture in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 21:
19 1-9.
- 20 GOMES, G. S. 2010. Quintais agroflorestais no município de Irati-Paraná, Brasil:
21 agrobiodiversidade e sustentabilidade socioeconômica e ambiental. 2010. 143 pp.
22 Ph.D. thesis, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.
- 23 Gunderson, L.H. 2000. Ecological resilience - in theory and application. *Annual Review*
24 *of Ecology and Systematics* 31: 425-439.
- 25 Homma, A.K.O.; Barros, A.L. 2008. Sistemas agroflorestais: um contexto teórico para a
26 Amazônia. In: *Encontro de geografia física da Amazônia: geografia física e os*
27 *recursos naturais da Amazônia, 2*. Belém. Anais, Belém. pp1-4
- 28 Huss-Ashmore, R.; Goodman, J.L. 1988. Seasonality of work, weight, and body
29 composition for women in highland Lesotho. *Research Papers in Science and*
30 *Archaeology* 5: 29-44.
- 31 IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) 2010. Diretoria de pesquisas,
32 coordenação de agropecuária, produção da extração vegetal e da silvicultura, v.25,
33 Online. Available at: [http://www.ibge.gov.br/cidadesat/](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm) topwindow.htm. Accessed:
34 July 16th 2013
- 35 Kato, O.R. 2009. Projeto dendê: Sistemas agroflorestais na agricultura familiar.
36 Embrapa Eastern Amazonia
- 37 Kirby, K.R.; Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species:
38 implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology*
39 *and Management* 246: 208-221

- 1 Kumar, B.M.; Nair, P.K.R. 2006. Tropical homegardens: a time-tested example of
2 sustainable agroforestry. Springer, Berlin.
- 3 Lawrence, D.; Radel, C.; Tully, K.; Schmook, B.; Schneider, L. 2010. Untangling a
4 decline in tropical forest resilience: Constraints on the sustainability of shifting
5 cultivation across the globe. *Biotropica* 42: 21-30.
- 6 Magurran, A.E. 1998. Ecological diversity and its measurement. Princeton University
7 Press, Princeton. pp 177
- 8 Metzger, J.P. 2002. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn
9 agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian
10 Amazon). *Landscape Ecology* 17: 419–431
- 11 Ministério do Desenvolvimento Agrário (Ministry for Agricultural Development) 2011.
12 Estatísticas do meio rural 2010-2011. 4.ed. São Paulo: Dieese; NEAD; MDA.
13 Available at: <<http://www.nead.gov.br/portal/nead/nead-especial>>. Accessed: 13th of
14 July 2011
- 15 Muchavisoy, H.M. 2013. Carbon stocks in rainforests, secondary regrowth and
16 agroforestry systems of eastern Amazonia. M.Sc. thesis, Maranhão State University,
17 São Luís, Brazil.
- 18 Nair, P.K.R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer, Dordrecht, The
19 Netherlands
- 20 Nair, P.K.R. 2001. Do tropical homegardens elude science, or is it the other way
21 around?. *Agroforestry Systems* 53: 239-245
- 22 Padoch, C.; de Jong, W. 1995. Subsistence and market-oriented agroforestry in the
23 Peruvian Amazon. pp 226-237 in: Nishizawa, T. and Uitto, J.I. (eds): *The fragile
24 tropics of Latin America: Sustainable management of changing environments*. UN
25 University Press, Tokyo.
- 26 Padoch, C.; Pinedo-Vasquez, M. 2010. Saving slash-and-burn to save biodiversity.
27 *Biotropica* 42: 550-552.
- 28 Pascual, M.; Guichard, F. 2005. Criticality and disturbance in spatial ecological
29 systems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 88-95.
- 30 Pascual, U. 2005. Land use intensification potential in slash-and-burn farming through
31 improvements in technical efficiency. *Ecological Economics* 52: 497-511.
- 32 Peyre, A.; Guidal, A.; Wiersum, K.F.; Bongers, F. 2006. Dynamics of homegarden
33 structure and function in Kerala, India. *Agroforestry Systems* 66: 101-115.
- 34 Picasso, V.D.; Brummer, E.C.; Liebmann, M.; Dixon, P.M.; Wilsey, B.J. 2011.
35 Diverse perennial crop mixtures sustain higher productivity over time based on
36 ecological complementarity. *Renewable Agriculture and Food Systems* 26: 317-327.
- 37 Porro, R. 2005. Palms, pastures, and swidden fields: The grounded political ecology
38 of agro-extractive/shifting-cultivator peasants in Maranhão, Brazil. *Human Ecology*
39 33: 17–56

- 1 Porro, R.; Mesquita, B.A.; Santos, I. 2004. Expansão e trajetória da pecuária na
2 Amazônia : vales dos rios Mearim e Pindaré-Maranhão. Brasília, DF. Ed.
3 Universidade de Brasília. Embrapa Acre. pp 183
- 4 Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L; Tablada, M.; Robledo, C.W.
5 2012. InfoStat version 2012. InfoStat Group, FCA, Universidad Nacional de Córdoba,
6 Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>
- 7 Sarmiento, C.M.B.; Veiga, J.B.; Rischkowsky, B.; Kato, O.R.; Siegmund-Schultze, M.
8 2010. Caracterização e avaliação da pastagem do rebanho de agricultores familiares
9 do nordeste paraense. *Acta Amazonica* 40: 415–423
- 10 Semedo, R.J.C.G.; Barbosa, R.I. 2007. Árvores frutíferas nos quintais urbanos de Boa
11 Vista, Roraima, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 37: 497-504
- 12 Schroth, G.; Lehmann, J.; Rodrigues, M.R.L.; Barros, E.; Macêdo, J.L.V. 2001. Plant-
13 soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems*
14 53: 85-102.
- 15 Shepherd, G.J.; Fitopacshell, I.G.P. 2006. User's manual – preliminary version.. Federal
16 University of Viçosa, Campinas, Brazil. pp 78
- 17 Sibelet, M.F. N.; Smektala, G. 1999. Guide méthodologique pour la conduite d'une
18 étude en milieu rural. Cours de l'ENGREF, Montpellier, France. pp 33
- 19 Somarriba, E.. et al., 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of
20 Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 173: 46–57
- 21 Sood, K.K.; Mitchell, C.P. 2009. Identifying important biophysical and social
22 determinants of on-farm tree growing in subsistence-based traditional agroforestry
23 systems. *Agroforestry Systems* 75: 175-187.
- 24 Soto-Pinto, L.; Anzueto, M.; Mendoza, J.; Ferrer, G.J.; de Jong, B. 2010. Carbon
25 sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico.
26 *Agroforestry Systems* 78: 39–51. doi:10.1007/s10457-009-9247-5
- 27 Statsoft Inc 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
28 www.statsoft.com
- 29 Styger, E.; Rakodondramasy, H.M.; Pfeffer, M.J.; Fernandes, E.C.M.; Bates, D.M.
30 2007. Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land
31 degradation in the rainforest region of Madagascar. *Agriculture, Ecosystems and*
32 *Environment* 119: 257-269.
- 33 Thompson, K.; Askew, A.P.; Grime, J.P.; Dunnett, N.P.; Willis, A.J. 2005. Biodiversity,
34 ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities.
35 *Functional Ecology* 19: 355-358.
- 36 van Noordwijk, M.; Tomich, T.P.; Foresta, H.; Michon, G. 1997. To segregate - or to
37 integrate? *Agroforestry Today* 9: 6-9.
- 38 Veenhoven, R 1994. El estudio de la satisfacción con la vida. *Intervención Psicosocial*,
39 3: 87-116

- 1 Vieira, T.A.; Rosa, S.R.L.; Santos, M.M.L.S. 2012. Agrobiodiversidade de quintais
2 agroflorestais no município de Bonito, Estado do Pará. *Revista de Ciências*
3 *Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 55: 159-166
- 4 Walker, B.H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:
5 18-23.
- 6 Yamada, M, Gholz, H.L. 2002. An evaluation of agroforestry systems land-use change
7 on soil nutrient dynamics in Amazonia. *Agroforestry Systems* 55: 81-87
- 8 Zomer, R.J.; Trabucco, A.; Coe, R.; Place, F. 2009. rees on farm: analysis of global
9 extent and geographical patterns of agroforestry. ICRAF Working Paper 89, World
10 Agroforestry Center.

11

12 **FIGURE HEADINGS**13 **Figure 1.** Study region and clusters of study sites.14 **Figure 2.** Agroforestry systems, classifications and their aggregation in site clusters.
15 Values in brackets give the number of sites.16 **Figure 3.** The most abundant species in eastern Amazonian agroforestry systems.17 **Figure 4.** Total costs, monetary and non-monetary benefits and net income generated in
18 agroforestry and predominating land-use systems of the northeastern periphery of
19 Amazonia (means \pm SE). CAE: Commercial Agroforestry Enterprise; CASF:
20 Commercial Agroforestry by smallholder farmers; SH: Small homegarden; MH:
21 Medium-sized homegarden; EF: Enriched fallow; PB: Pasture with babassu; SB: Slash
22 and burn). Absence of common letters indicates significant difference between systems.23 **Figure 5.** Income-to-cost ratio of agroforestry and of predominating land-use systems
24 of eastern Amazonia (means \pm SE). CAE: Commercial Agroforestry Enterprise; CASF:
25 Commercial Agroforestry by smallholder farmers; SH: Small homegarden; MH:
26 Medium-sized homegarden; EF: Enriched fallow; PB: Pasture with babassu; SB: Slash
27 and burn). Absence of common letters indicates significant difference between systems.28 **Figure 6.** Negative impact of total agroforestry species richness on total costs, monetary
29 and (excluding purely commercial systems) non-monetary income (top), and positive
30 impact of productive species richness on non-monetary income, net-income and
31 income:cost ratio (bottom) in eastern Amazonian agroforestry systems.32 **Figure 7.** Principal Component Analysis of tree diversity and income variables for 7
33 land uses and 38 plots in Eastern Amazonia (CAE: Commercial Agroforestry

1 Enterprise; CASF: Commercial Agroforestry by smallholder farmers; SH: Small
2 homegarden; MH: Medium-sized homegarden; EF: Enriched fallow; PB: Pasture with
3 babassu; SB: Slash-and-Burn shifting cultivation). The first two axes of PCA accounted
4 for 85.5% of total variation.

5 **Figure 8.** Degree of satisfaction of farmers in the different land-use agroforestry
6 systems of eastern Amazonia. CAE: Commercial Agroforestry Enterprise; CASF:
7 Commercial Agroforestry by smallholder farmers; SH: Small homegarden; MH:
8 Medium-sized homegarden; EF: Enriched fallow; PB: Pasture with babassu; SB: Slash-
9 and-Burn shifting cultivation.

1 **Table 1.** Abundance, use and origin of the 10 most abundant agroforestry species.

Common name	Scientific name	Famíliy	Abundance (%)	Commercial classification	Main uses	Origin*
Açaí	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Arecaceae	25.9	AC	food	native
Banana	<i>Musa</i> spp.	Musaceae	20.2	AC	food shade organic matter	exotic
Cocoa	<i>Theobroma cacao</i> L.	Malvaceae	16.4	CO	food organic matter	native
Cupuassu	<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K.Schum.		11.6	AC	food, organic matter	native
Black pepper	<i>Piper nigrum</i> L.	Piperaceae	4.9	CO	food	exotic
Bacuri	<i>Platonia insignis</i> Mart	Clusiaceae	2.3	AC	food	native
Jaca	<i>Artocarpus integrifolia</i> L.	Moraceae	1.4	AC	food timber	exotic
Cecropia	<i>Cecropia</i> sp.	Urticaceae	1.3	NP	food, fauna shade medicinal	native
Pati	<i>Syagrus cocoides</i> Mart.	Arecaceae	1.2	NP	food , fauna	native
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	1	AC	food	exotic
others			13.7		-	-

2 *We consider as 'native' species all species originating in Amazonia or the cerrado forests, or introduced into the region before the year 1500,
3 as suggested by Clement (1999).

4 CO: Commercial; AC: Autoconsumption and commercial; NP: Non-productive (providing ecosystem services, juveniles or medicinal use)

5

1 **Table 2.** Biodiversity indicators in agroforestry systems of eastern Amazonia. Means (\pm SE), different letters within the same column indicate
 2 significant differences between systems, n : number of sites.

Land-use system	n	Number of species	Shannon- Wiener	Simpson	Pielou
Commercial Agroforestry Enterprise	5	4.20 \pm 0.66b	0.69 \pm 0.10 b	0.63 \pm 0.05a	0.51 \pm 0.04 a
Commercial Agroforestry by smallholder farmers	4	7.50 \pm 1.19 ab	0.98 \pm 0.13 ab	0.50 \pm 0.09ab	0.51 \pm 0.08 a
Small homegarden	7	12.14 \pm 1.78 a	1.70 \pm 0.02 a	0.26 \pm 0.04 b	0.68 \pm 0.05 a
Medium-sized homegarden	4	10.00 \pm 3.10 ab	1.08 \pm 0.10 ab	0.49 \pm 0.04ab	0.51 \pm 0.05 a
Enriched fallow	7	12.57 \pm 1.60a	1.54 \pm 0.25 a	0.37 \pm 0.10ab	0.60 \pm 0.08 a
Babassu pasture	3	1.00 b	0.00 b	1.00 a	0.00 b

1 **Table 3.** Species number and their socioeconomic profile in agroforestry / land-use
 2 systems of eastern Amazonia (means \pm SE).

3

Species profile	Agroforestry / landuse system					
	CAE	CASF	SH	MH	EF	PB
1- Commercial	2.2 \pm 0.2	1.3 \pm 0.5	0	0	0	0
2- Autoconsumption and commercial	0.0	3.0 \pm 0.9	7.7 \pm 0.9	4.8 \pm 0.3	3.0 \pm 0.3	0
3- Non-productive (juveniles and ecosystem services)	1.6 \pm 0.6	2.5 \pm 1.0	4.3 \pm 1.2	5.3 \pm 3.1	9.6 \pm 1.7	1.0
Species total	12	23	41	29	49	1

4 (CAE: Commercial agroforestry enterprise; CASF: Commercial agroforestry by
 5 smallholder farmers; SH: Small homegarden; MH: Medium-sized homegarden; EF:
 6 Enriched fallow; PB: Pasture with babassu)

Figure 1
[Click here to download high resolution image](#)

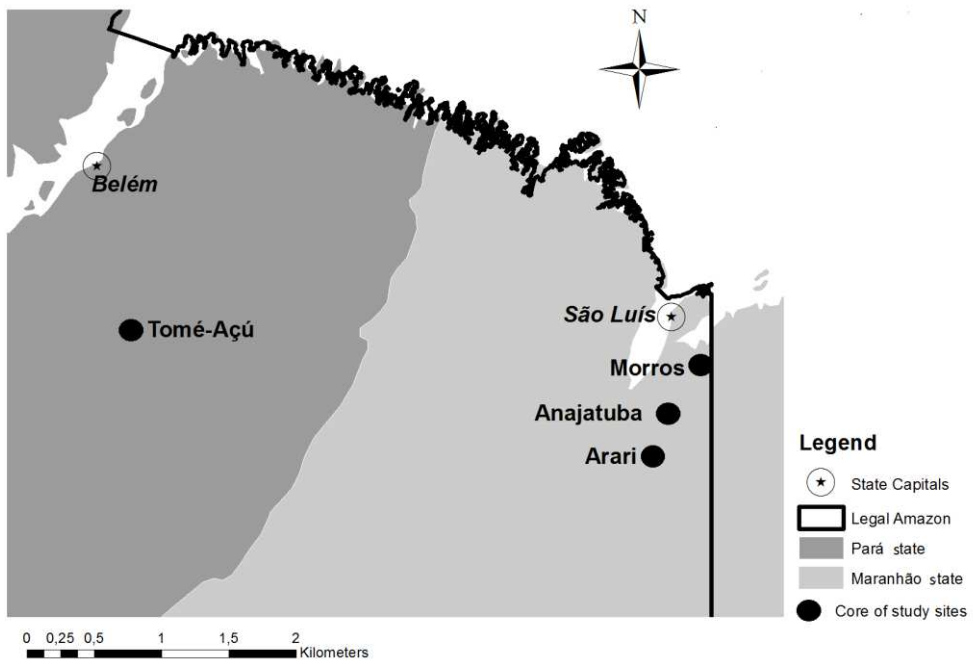


Figure 2
[Click here to download high resolution image](#)

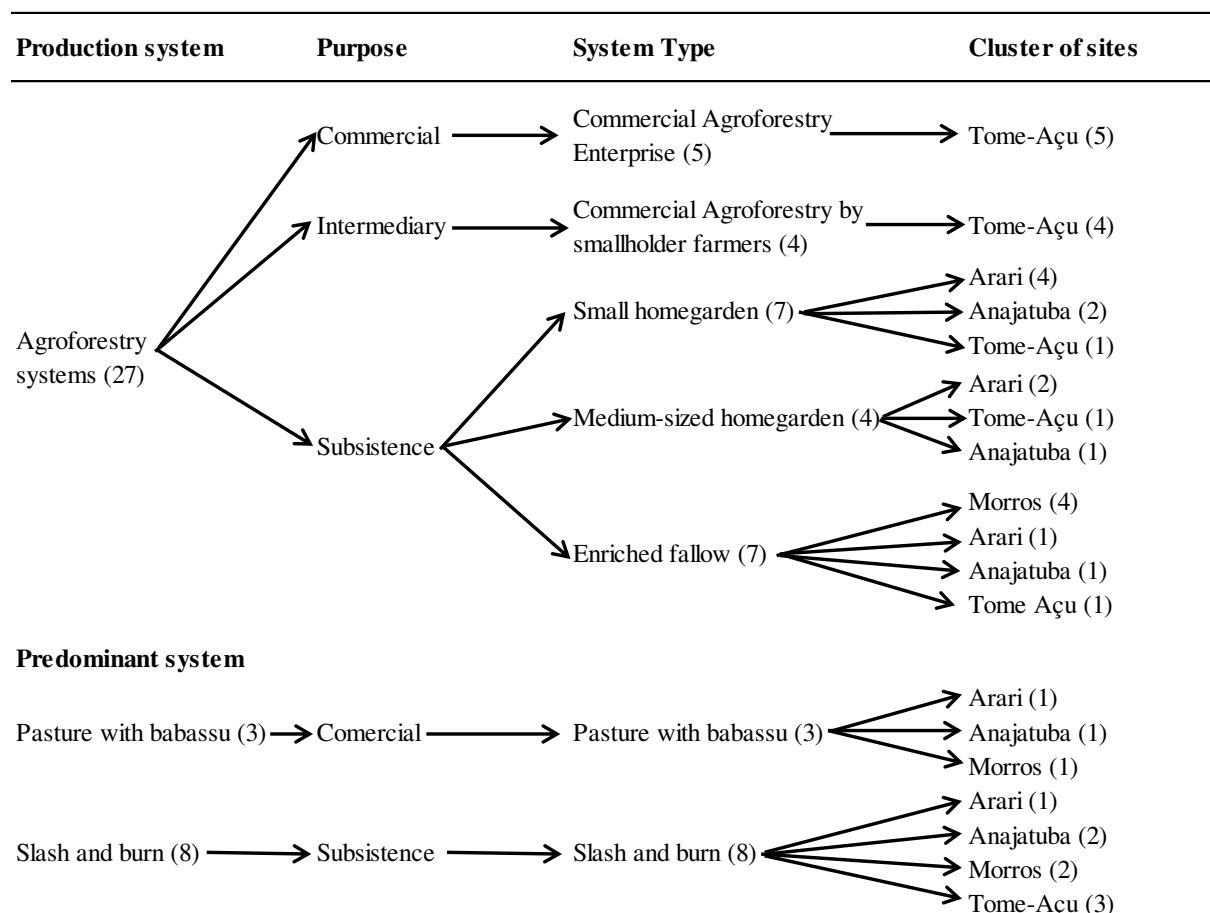


Figure 3
[Click here to download high resolution image](#)

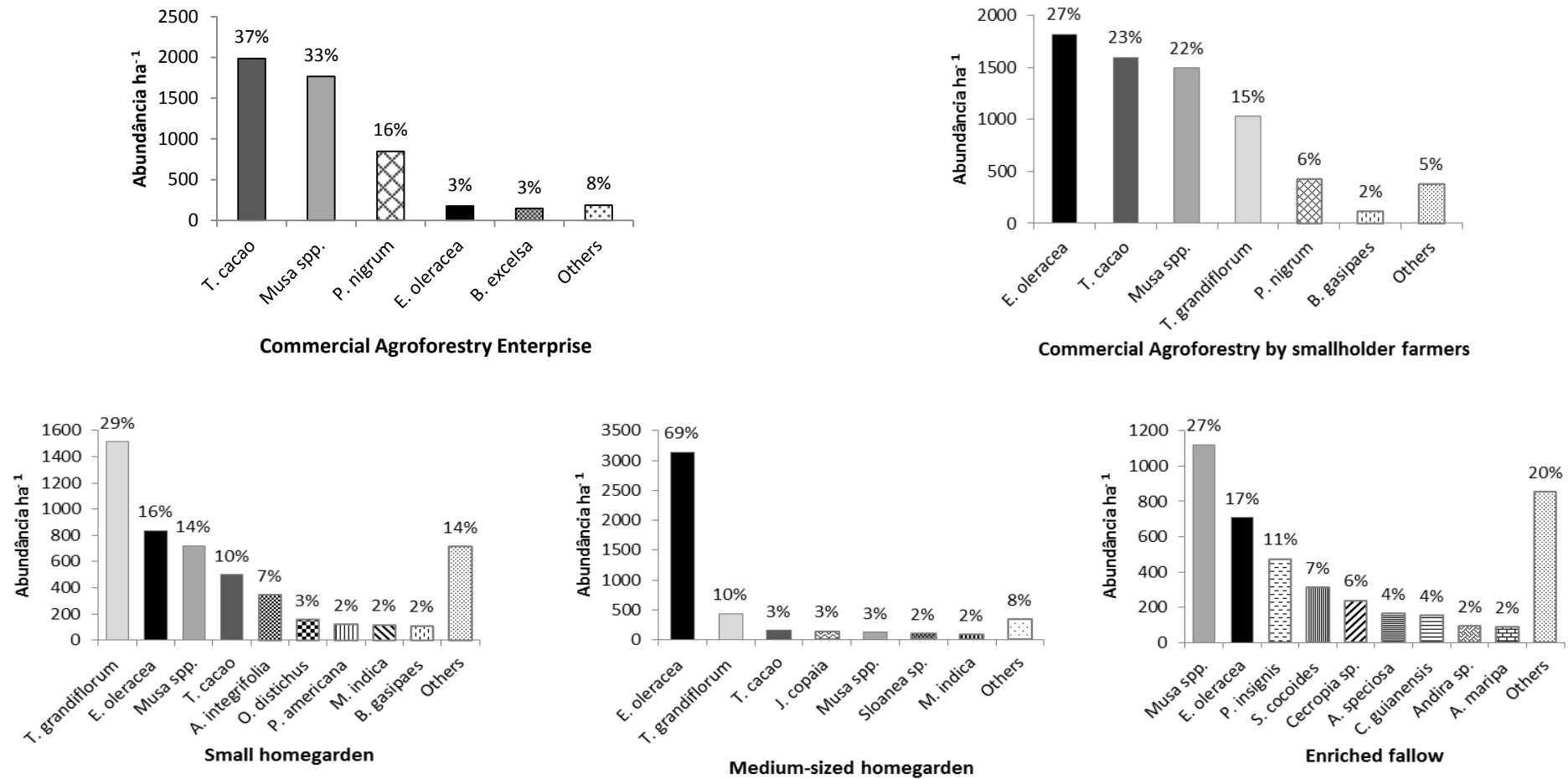


Figure 4
[Click here to download high resolution image](#)

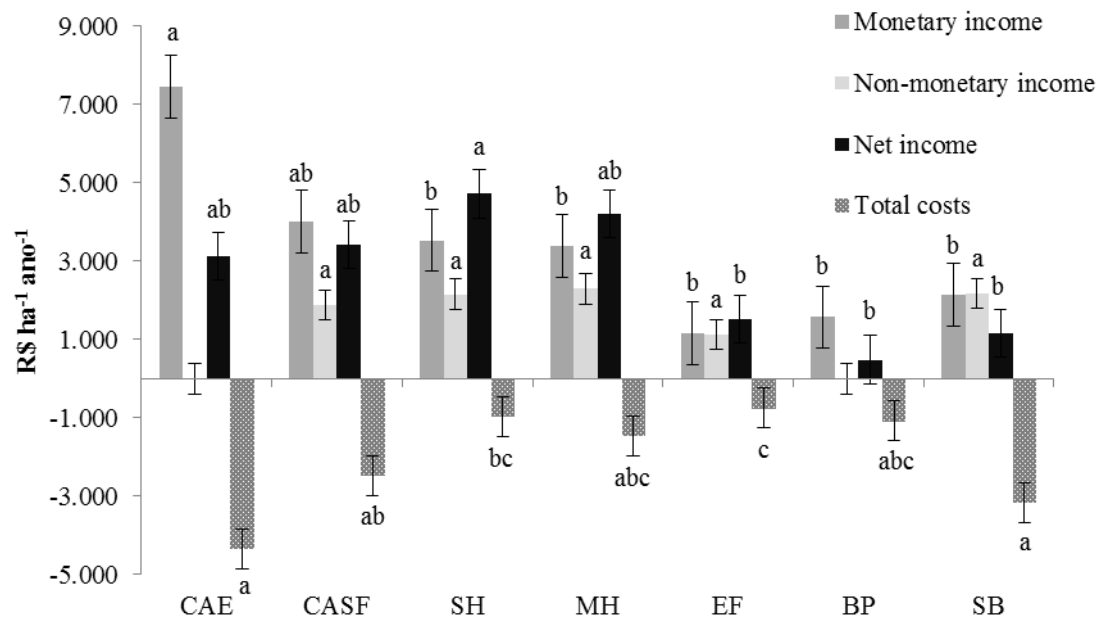


Figure 5
[Click here to download high resolution image](#)

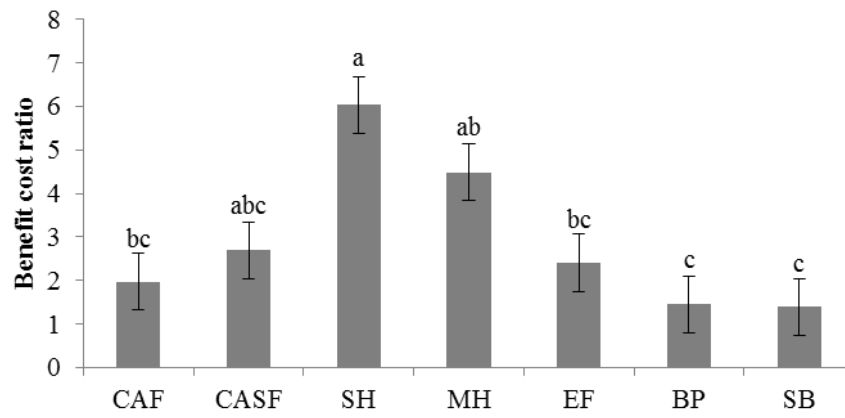


Figure 6
[Click here to download high resolution image](#)

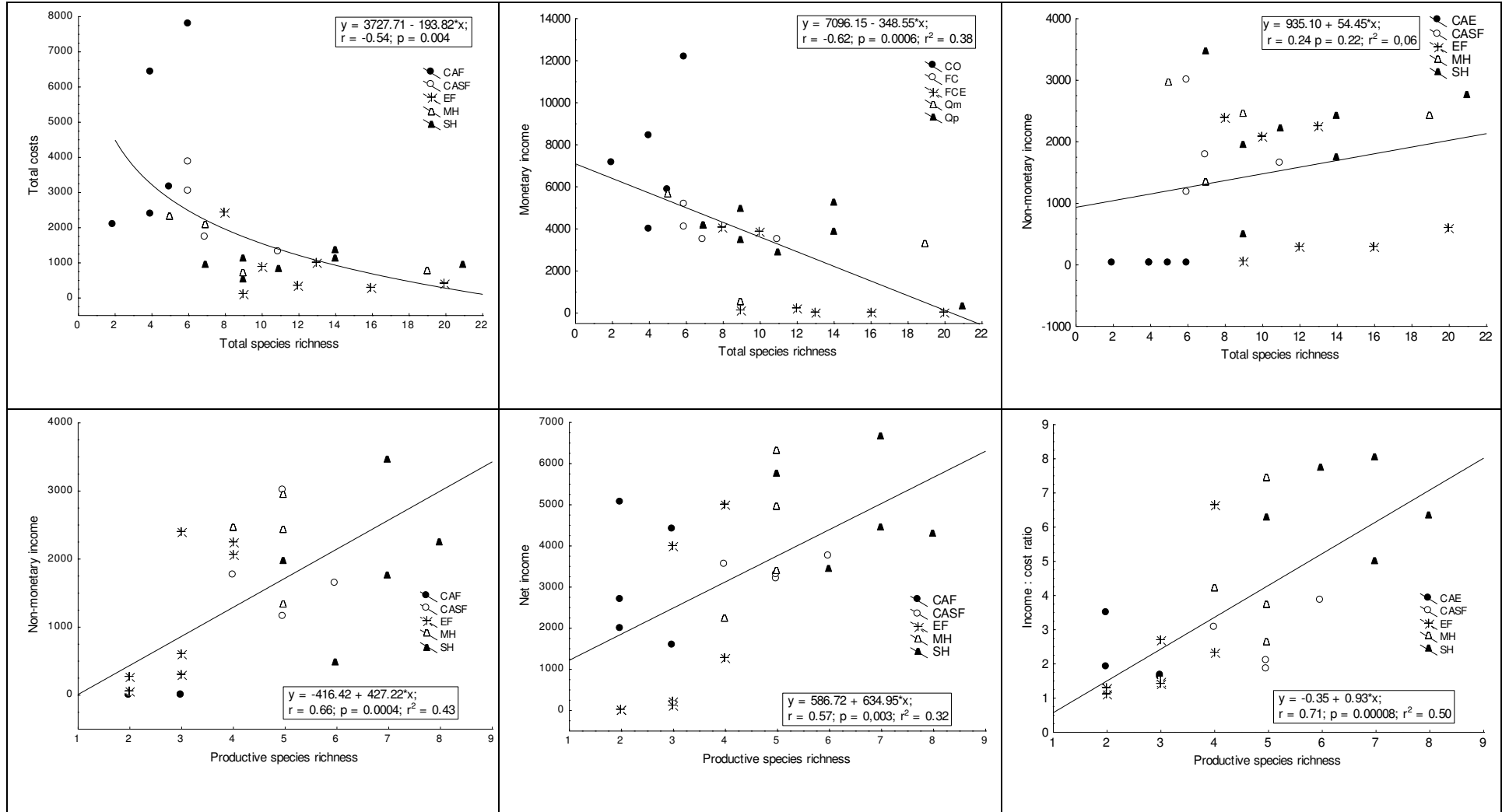


Figure 7
[Click here to download high resolution image](#)

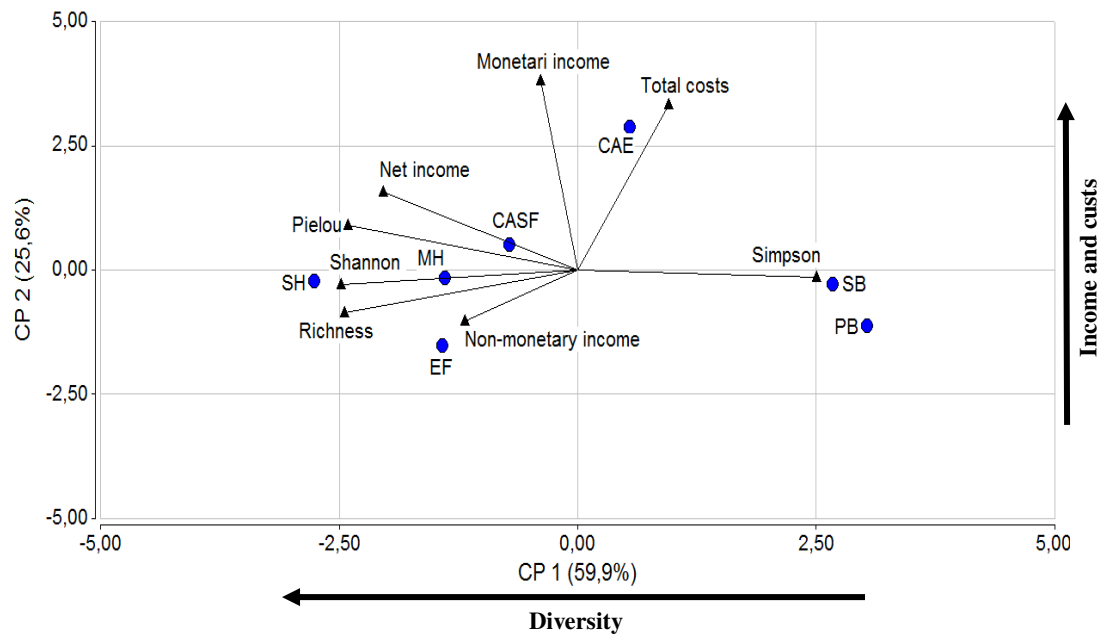


Figure 8

[Click here to download high resolution image](#)

