



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

TOBIAS BRANCHER

ESTOQUE E CICLAGEM DE CARBONO DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS EM TOMÉ-AÇU, AMAZÔNIA ORIENTAL

BELÉM-PA
2010

TOBIAS BRANCHER

ESTOQUE E CICLAGEM DE CARBONO DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS EM TOMÉ-AÇU, AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Uso da Terra.

Orientador: Professor Dr. Steel Silva Vasconcelos.

BELÉM-PA
2010

TOBIAS BRANCHER

ESTOQUE E CICLAGEM DE CARBONO DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS EM TOMÉ-AÇU, AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA- Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: : ____ / ____ / _____

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Steel Silva Vasconcelos - Orientador
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
EMBRAPA Amazônia Oriental

Prof. Osvaldo Ryohei Kato - Membro
Doutor em Agricultura Tropical
EMBRAPA Amazônia Oriental

Prof. José Henrique Cattanio - Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico

Aos meus pais: Leonisio Antonio Brancher e Lourdes de Fátima Poncio Brancher e a minha esposa, amiga e companheira Giselle de Oliveira Brito Brancher

Compartilho

Com minha irmã, Leonisa Brancher Zamberlan e meus avós Mariano Poncio e Altiva Silveira Poncio

In Memoriam

Ângelo Antonio Brancher e Tereza Domingas Brancher (meus avós)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu a vida e condições para vivê-la plenamente.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram na busca pelo conhecimento, sem medir esforços para que eu pudesse estudar.

A minha esposa, amiga e companheira Giselle, pela compreensão, apoio e ajuda durante o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

A Universidade Federal do Pará, por meio do Curso de Mestrado em Ciências Ambientais, pela oportunidade de ingressar em um curso de Pós-Graduação.

A EMBRAPA Amazônia Oriental, pela estrutura e apoio na realização da pesquisa.

Ao Dr. Osvaldo Kato, pelo apoio nos primeiros tempos de Belém, pela confiança depositada em mim e pela amizade.

Ao Dr. Steel Vasconcelos, meu orientador e amigo, por dividir comigo seus conhecimentos, pela orientação primorosa, pela atenção e paciência durante esses mais de dois anos.

Ao Sr. Takamatsu, por ceder sua área ao estudo.

A CAMTA, Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu, pelo apoio às atividades de campo.

Ao pessoal do Projeto Tipitamba e a Livia Vasconcelos, pelo apoio e amizade.

Ao Carlos Capela, colega e amigo, pelo auxílio fundamental nas atividades de campo, pela parceria nas campanhas em Tomé-Açu.

A todos os colegas do Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas, em especial, Ivanildo, Everson, Cléo Marcelo, Neuza, Tereza e Déia, pelo auxílio nas atividades no laboratório e pela amizade no convívio diário.

Às estagiárias Rosana, Érica, Khety e Larissa, pela ajuda nos trabalhos no laboratório e a campo.

Aos colegas de turma do mestrado, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas de Santa Maria, em especial Peter Wimmer, Silvio Calgaro Neto e Flávia Machado Durgante pelo incentivo em fazer o mestrado em Belém.

A toda minha família, que mesmo distante, nunca deixou de apoiar meus sonhos.

E a todos que me fogem agora da memória, mas que de alguma forma apoiaram na realização dessa dissertação.

A todos, muito obrigado!

“Quando ouvires os aplausos do triunfo, que ressoem também aos teus ouvidos os risos que provocaste com os teus fracassos”.

(Josemaría Escrivá)

RESUMO

Sistemas agroflorestais (SAFs) consistem em importante prática agrícola de uso da terra voltada a produção e a prestação de serviços ambientais. O objetivo deste trabalho consistiu em realizar um estudo do estoque e ciclagem de carbono de 4 sistemas agroflorestais (SAFs) com idades e composições diferentes, além de uma vegetação secundária (capoeira), no município de Tomé-Açu, na região nordeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental. Foram medidos os estoques de carbono no solo, na serrapilheira e na biomassa da parte aérea. O fluxo de carbono foi medido na deposição de material formador de serrapilheira e incremento da biomassa aérea no período de um ano, entre outubro de 2008 e setembro de 2009. Os SAFs foram divididos em quatro categorias, denominados SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4, sendo (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade). Em cada sistema, foram instaladas 4 parcelas amostrais, onde foram coletados os dados de diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (h), usados posteriormente para estimar a biomassa da parte aérea. Dentro das parcelas foram instalados coletores para medir a deposição de material formador de serrapilheira e realizadas coletas de solo e serrapilheira utilizadas na estimativa dos estoques de carbono. Não houve diferença significativa entre os SAFs analisados para a variável estoque de carbono no solo, assim como não houve diferença no estoque de carbono na biomassa da parte aérea. O SAF 4 teve a maior deposição de serrapilheira anual entre todos os tratamentos. Os SAFs não diferiram da capoeira quanto ao estoque de carbono no solo e serrapilheira. A produtividade primária líquida atingiu 2,54, 6,11, 9,54 e 16,27 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nos SAFs 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A idade dos SAFs não teve efeito significativo na quantidade de carbono acumulada no período de um ano.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais, carbono, biomassa, serrapilheira, produtividade primária líquida

ABSTRACT

Agroforestry systems (SAFs) constitute an important agricultural practice of land use directed at food production and environmental services. The objective of this study was to evaluate carbon stock and cycling of 4 agroforestry systems (SAF) with different age and species composition, and a secondary vegetation (“capoeira”), in Tomé-Açu, northeast of Pará State, Eastern Amazon. Carbon stocks in soil, litter and aboveground biomass were measured. Carbon flux associated with litterfall and aboveground biomass increment was measured over a year between 2008 and 2009. The SAFs were divided into four categories, called SAF 1, SAF 2, SAF 3 and SAF 4, being (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 years old, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 years old, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 years old, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos years old). In each system we set four plots, where soil and plant samples were collected, including diameter at breast height (DAP) and height (h), which were used to estimate the aboveground biomass. Within plots were installed collectors to measure the deposition of litterfall and sampled soil and litter used to estimate carbon stocks. There was no significant difference between SAFs in relation to soil carbon stock. The SAF 3 was significantly lower than the other SAF in relation to aboveground carbon and SAF 4 had the highest annual litterfall deposition among all treatments. The SAF did not differ in relation to soil and litter carbon stocks. Net primary production reached 2.54, 6.11, 9.54 and 16.27 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ in SAF 1, 2, 3 and 4, respectively. The age of the SAFs had no significant effect on the amount of carbon accumulated during one year.

Key words: Agroforestry, carbon, biomass, litter, net primary production

SUMÁRIO

1)	Introdução.....	10
2)	Revisão de literatura.....	12
2.1)	Sistemas Agroflorestais (SAFs).....	12
2.2)	Prestação de serviços ambientais em SAFs.....	13
2.3)	Biomassa aérea de SAFs.....	14
2.4)	Carbono no solo de SAFs.....	15
2.5)	Deposição de serrapilheira em SAFs.....	16
2.6)	Adoção de SAFs: o caso da colônia japonesa de Tomé-Açu.....	17
3)	Objetivos.....	19
4)	Hipóteses.....	19
5)	Material e Métodos.....	20
5.1)	Área de estudo.....	20
5.1.1)	Histórico da área.....	20
5.1.2)	Implantação do experimento.....	22
5.2)	Estoque de carbono na biomassa da parte aérea.....	24
5.3)	Estoque de carbono no solo.....	28
5.4)	Deposição de material formador de serrapilheira (<i>litterfall</i>).....	30
5.5)	Estoque de carbono na serrapilheira.....	31
5.6)	Análise química de carbono e <i>litterfall</i>	32
5.7)	Análise estatística.....	32
6)	Resultados e Discussão.....	34
6.1)	Estoque de carbono na fitomassa da parte aérea	34
6.2)	Estoque de carbono no solo.....	36
6.3)	Deposição de material formador de serrapilheira (<i>litterfall</i>).....	38
6.4)	Estoque de serrapilheira.....	44
6.5)	Produtividade Primária Líquida e estoque de carbono total.....	45
7)	Recomendações.....	48
8)	Conclusões.....	48
9)	Referências Bibliográficas.....	49

1) Introdução

A emissão de gases para a atmosfera causadores de efeito estufa tem aumentado significativamente nas últimas décadas. A queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso da terra são os principais fatores que contribuem para o aumento das emissões (IPCC, 2007). A transformação de áreas de florestas em pastagens ou monocultivos agrícolas, por meio da queima de biomassa, contribui com cerca de 25% das emissões anuais de carbono no planeta (IPCC, 2000).

Tem se desenvolvido uma consciência geral sobre a importância de diminuir ou reverter o processo de emissão de gases para a atmosfera, por meio de pesquisas e políticas públicas, visando encontrar soluções que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis (ARÉVALO et al., 2003). Uma forma de mitigar os efeitos das mudanças climáticas relacionadas com o aumento do efeito estufa é reduzir as emissões de carbono (C). Outra forma é seqüestrá-lo da atmosfera, fixando-o e mantendo-o, pelo maior tempo possível, na biomassa vegetal e na matéria orgânica do solo através de sistemas de produção permanentes, que sejam capazes de produzir alimentos e produtos sem a necessidade do uso do fogo (ARÉVALO et al., 2003).

Diversas pesquisas visam encontrar sistemas de produção eficazes para o seqüestro e o armazenamento de C na biomassa e no solo. Montagnini e Nair (2004) destacam que a busca por sistemas de produção capazes de atender a demanda de mitigação está emergindo como um dos principais objetivos da política internacional no contexto das mudanças do clima.

O carbono removido da atmosfera e posteriormente estocado na biosfera terrestre (seqüestro de carbono) é uma das opções propostas para compensar emissões de gases de efeito estufa (IPCC 2007), sendo uma oportunidade para criação de projetos em países em desenvolvimento (ALBRECHT E KANDJI, 2003).

O carbono removido da atmosfera sob a forma de dióxido de carbono (CO₂) é incorporado à biomassa das plantas, tanto na parte aérea quanto nas raízes, e no solo, sob formas orgânicas e inorgânicas, além de ser estocado na forma de produtos duráveis derivados dessas plantas (PALM et al., 2004). O ganho líquido de carbono, que é o balanço entre o ganho bruto pela fotossíntese e a perda pela respiração das plantas, é definido por Chapin et al. (2002), como produtividade primária líquida; em outras palavras, é o total de biomassa produzido pelas plantas

em uma unidade de área por tempo. A capacidade de seqüestrar carbono está em parte ligada ao conceito de produtividade primária líquida, pois quanto maior o incremento em biomassa, maior será o carbono removido da atmosfera e incorporado ao sistema solo-planta.

A adoção de sistemas de uso da terra como os sistemas agroflorestais (SAFs) também é uma medida de mitigação dos efeitos do aquecimento global e está prevista no protocolo de Kyoto. SAFs bem manejados são capazes de reduzir os impactos negativos das atividades humanas, como a emissão de gases para a atmosfera pela queima de florestas ou atividades industriais, podendo estocar grande quantidade de carbono (DIXON, 1995). De forma geral, SAFs apresentam maior capacidade de estocar carbono que outras formas de uso da terra como pastagens e cultivos agrícolas (PALM et al., 2004). O funcionamento adequado de SAFs contribui para uma melhor ciclagem de nutrientes, assim como na manutenção da diversidade de fauna e flora em níveis similares ao de ecossistemas naturais (MONTAGNINI E NAIR , 2004).

A prestação de serviços ambientais, como sequestro de carbono, depende da diversidade dos SAFs e dos critérios de avaliação utilizados, podendo ocorrer em maior ou menor intensidade (MCGINLEY E FINEGAN, 2002). Porém, há poucos estudos sobre o potencial dos SAFs em estocar e ciclar carbono e em que nível isso ocorre. Estudos a respeito da capacidade dos SAFs em prestar serviços ambientais podem gerar subsídios para que esses sistemas de produção sejam contemplados com políticas de incentivo, em especial na Amazônia, incorporando aos benefícios ambientais atribuídos do ponto de vista social e econômico.

2) Revisão de literatura

2.1) Sistemas agroflorestais

De maneira geral, os sistemas agroflorestais (SAFs) são caracterizados pelo “uso de árvores mais qualquer outro cultivo, ou pela combinação de árvores com cultivos alimentícios” (VERGARA, 1985). Uma definição clássica é a que descreve os sistemas agroflorestais como sistemas de uso da terra em que se combinam, de maneira consecutiva ou simultânea, na mesma unidade de aproveitamento da terra, espécies arbóreas perenes com cultivos agrícolas anuais, e/ou animais, para obter permanentemente maior produção (ICRAF, 1983).

Definições mais amplas de SAFs fazem referência aos benefícios sociais e ambientais, oriundos das interações ecológicas mais complexas desses sistemas e da variedade de produtos e serviços prestados por esses sistemas, de acordo com Nair et al. (2008). A Associação Agroflorestal de Clima Temperado, AFTA (sigla em inglês), define SAF como um “sistema de uso intensivo da terra onde o manejo é feito de forma a otimizar os benefícios das interações ecológicas quando arbustos e/ou árvores são combinados com culturas agrícolas e/ou criação de animais”.

Para Götsch (1995), sistemas de produção compostos por duas espécies ou por várias, incluindo plantas indesejadas e plantas sem valor comercial, podem ser considerados SAFs. Fischer e Vasseur (2002) citam ainda modalidades de SAF que incluem cercas vivas ou algumas árvores em áreas de pasto, formando sistemas silvipastoris. De forma geral, a modalidade de SAF mais conhecida são os sistemas multiestratos, compostos por estratos vegetais superpostos, de forma a otimizar o uso de recursos como luz, água e nutrientes (RAO et al., 1998).

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) Prestação de serviços ambientais em SAFs

De maneira geral, podem-se definir serviços ambientais como aqueles que tenham por finalidade prevenir, minimizar ou corrigir danos ambientais à água, ao ar e ao solo, bem como os problemas relacionados ao desperdício, poluição e danos aos ecossistemas (OCDE, 2005).

Sistemas produtivos sustentáveis que contribuem para a conservação dos recursos naturais são potencialmente prestadores de serviços ambientais, destacando-se os sistemas agroflorestais, que têm sido recomendados para regiões tropicais, devido aos benefícios ambientais, sociais e econômicos associados a estes sistemas (GAMA-RODRIGUES et al., 2006). Segundo Osterroht (2002), entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAFs são aqueles que acumulam o maior volume de biomassa aérea, devido, em parte, ao componente arbóreo, que forma um sistema radicular mais desenvolvido e cria estratos vegetais mais diferenciados do que cultivos anuais.

Sistemas agroflorestais freqüentemente são reconhecidos como uma das formas mais adequadas de retirar carbono da atmosfera e incorporar na biomassa das plantas, junto com o manejo de florestas secundárias (capoeiras), e surgem como alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico, capazes de contribuir na absorção de CO₂ e reduzir o efeito estufa (SMITH et al., 1998). Os serviços ambientais gerados por SAFs estão geralmente relacionados à capacidade de seqüestro de carbono da atmosfera, ciclagem adequada de água e nutrientes, e melhoria da qualidade do solo em comparação com monoculturas agrícolas anuais ou perenes (LUIZÃO et al., 2006).

Devido à diversidade de SAFs existentes, Woda (2009) questionou se todas as modalidades desses sistemas prestam serviços ambientais e, no caso de resposta positiva, em que grau isso ocorre. Em regiões tropicais, a dinâmica de crescimento das espécies é mais acelerada, resultando em taxas maiores de sequestro de carbono, se comparadas a regiões temperadas, segundo Nair e Nair (2003). Para avaliação de SAFs quanto à prestação de serviços ambientais, são necessários indicadores fáceis de aplicar e entender, rápidos e baratos nessa aplicação e que sejam claramente definidos, para obtenção de resultados objetivos e comparáveis (WODA, 2009).

Kalacska et al. (2004) sugeriram que a capacidade de sequestro de carbono e de prestação de outros serviços ambientais em SAFs está associada à complexidade dos agroecossistemas, a qual pode ser estimada pelo índice de complexidade de Holdridge (ICH), um indicador que combina a riqueza de espécies com a estrutura e fisionomia dos sistemas, utilizando variáveis como altura, área basal, densidade de árvores e riqueza de espécies. Na avaliação do sequestro de carbono, deve-se levar em consideração o ciclo do carbono em SAFs e seus reservatórios, como solo, raízes, biomassa acima do solo e entradas de carbono no sistema (via *litterfal*) e também a cobertura do solo, o *litter* ou serrapilheira (PALM et al., 2004)

Para Dixon (1995), o acúmulo de biomassa em SAFs está relacionado com o manejo utilizado, a composição das espécies, e a região onde ocorre. O uso de práticas de manejo agroflorestal e de práticas conservacionistas do preparo do solo pode potencialmente mitigar e reduzir as emissões de carbono, ou seja, seqüestrando-o, capturando-o e mantendo-o o maior tempo possível na biomassa e/ou no solo (DIXON, 1995). O processo de seqüestro e armazenamento de carbono é influenciado pelas taxas de fotossíntese e decomposição da matéria orgânica.

2.3) Biomassa aérea de sistemas agroflorestais

Segundo Ketterings *et al.* (2001) a estimativa de biomassa acima do solo é imprescindível aos estudos do balanço global de carbono. Porém, no caso de sistemas agroflorestais, Nair et al. (2009) ressaltaram a dificuldade em encontrar métodos rigorosos para a estimativa de biomassa acima do solo. A biomassa aérea pode ser calculada por métodos direto e indireto (HIGUCHI et al., 1998)

O método direto se baseia na estimativa por meio de amostragem destrutiva, a qual consiste na derrubada de indivíduos para pesagem da parte aérea e posterior determinação da concentração de carbono na biomassa. Este método é mais acurado e eficaz, porém geralmente é inviável pesar todas as árvores de uma área e, dessa forma, trabalhos que utilizam o método direto baseiam-se em poucas e pequenas parcelas (HAIRIAH et al, 2001).

O método indireto é mais rápido, não necessitando de corte, pesagem e secagem de nenhum indivíduo. Permite amostrar uma área maior e maior número de indivíduos, pois utiliza variáveis mais facilmente obtidas a campo, como o diâmetro a

1,30 m acima do solo (diâmetro à altura do peito - DAP), e altura total (h). No entanto, esse método está sujeito a erros de medição a campo, que nem sempre são mencionados nos trabalhos que utilizam esse método (HIGUCHI et al., 1998), principalmente em SAFs, que por terem diversas espécies de hábitos diferentes, dificultam generalizações de métodos indiretos, as quais podem implicar erro de estimativa de biomassa acima do solo (NAIR et al., 2009).

Alguns estudos (ALBRECHT E KANDJI, 2003; ICRAF, 2004; MONTAGNINI E NAIR, 2004) têm sido realizados com objetivo de estimar o carbono fixado em SAF; porém, estes são baseados exclusivamente em métodos “destrutivos”, necessitando-se obter amostras “*in-loco*” das plantas e de avaliações laboratoriais, havendo elevado custo-benefício.

2.4) Carbono no solo de Sistemas Agroflorestais

A importância do compartimento de carbono (C) no solo no seu ciclo global é fundamental, pois este compartimento se constitui no maior reservatório de C terrestre, compreendendo cerca de duas vezes a quantidade de C na atmosfera e na biomassa vegetal (SWIFT, 2001), e desempenhando, portanto, papel crucial no sequestro do C (STEVENSON, 1994).

A transformação de áreas de vegetação natural em áreas de cultivo implica mudanças na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas. Por exemplo, modificações no uso da terra podem acelerar a erosão e as perdas de solo por escoamento, alterar o número e o tipo de organismos, e interferir na dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas tradicionais de cultivo, o que pode ser mitigado com a implantação de SAFs (TRUMBORE et al., 1995). No caso de adoção de sistemas agroflorestais, a inclusão de componentes arbóreos pode manter ou aumentar a produtividade de determinado local, devido a processos que aumentem a entrada ou reduzam perdas no solo, como matéria orgânica, nutrientes e água, além de melhorar as propriedades físicas e químicas e beneficiar processos microbiológicos do solo (YOUNG, 1994).

A matéria orgânica do solo é resultante, em grande parte, da decomposição de resíduos de origem animal e, principalmente vegetal, não tendo, portanto, relação com o material de origem do solo (SANTOS, 1999). Esses resíduos sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, pela

microbiota decompositora e parte do carbono existente nos resíduos é liberada para a atmosfera como CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica como um componente do solo (SANTOS, 1999).

2.5) Deposição de serrapilheira em sistemas agroflorestais

A serrapilheira representa a reserva central de elementos minerais e orgânicos em ecossistemas de florestas tropicais, onde os solos, em geral, são quimicamente pobres, e sua decomposição possibilita que os elementos liberados da biomassa vegetal retornem ao sistema (MARTIUS et al., 2004). Além disso, é o meio mais importante de transferência de elementos essenciais das plantas para o solo, garantindo a disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento da floresta (VITAL et al. 2004). A importância de se avaliar a produção de serrapilheira está na compreensão dos reservatórios e fluxos de nutrientes nos ecossistemas, os quais constituem-se na principal via de fornecimento de nutrientes, por meio da mineralização dos restos vegetais, desempenhando importante papel na formação e manutenção da fertilidade do solo, bem como na oferta de matéria orgânica para a flora e fauna local (SOUZA E DAVIDE, 2001), já que uma vez depositada sobre o solo, a serrapilheira protege-o contra a erosão, além de tornar-se uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras do ecossistema, ao participarem da ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA, 1997).

Dessa forma, além de representar um elo fundamental no fluxo de energia e matéria entre o meio físico e o biótico, a serrapilheira produzida pela vegetação confere ao ecossistema do qual faz parte maior estabilidade, variando de acordo com o seu estágio sucessional (OLIVEIRA, 1997). Em ecossistemas tropicais com componentes arbóreos, como os SAFs, ocorre uma produção contínua de serrapilheira no decorrer do ano (WERNECK et al. 2001), cuja quantidade total produzida nas diferentes épocas depende do tipo de sistema utilizado (LEITÃO-FILHO et al., 1993). A grande abundância de espécies pioneiras encontradas em florestas em estágio inicial de sucessão ecológica e nos SAFs multiestratificados, é preponderante para a maior produção de serrapilheira (LEITÃO-FILHO et al. 1993, OLIVEIRA E NETO 1999). Entretanto, embora espécies pioneiras apresentem altos padrões de produtividade, a abundância dessas espécies parece não constituir o principal fator determinante de altas taxas de produtividade, podendo ser menos

importantes que o tamanho e o porte da vegetação na determinação da produção total da serrapilheira (SONGWE et al. 1988). Além disso, a quantidade de serrapilheira depositada também pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação, dependendo do grau de perturbação e manejo empregado nas áreas (MARTINS E RODRIGUES, 1999).

2.6) Adoção de sistemas agroflorestais: o caso da colônia japonesa de Tomé-Açu

A experiência de adoção de SAFs na colônia japonesa de Tomé-Açu, no nordeste paraense, e o modelo de desenvolvimento agrícola local, têm despertado o interesse da comunidade acadêmica e científica nos últimos anos (YAMADA, 1999). Os sistemas agroflorestais foram implantados na região a partir da década de 70 do século passado, em áreas cultivadas anteriormente com pimenta do reino (*Piper nigrum* L.). A necessidade de substituir a cultura da pimenta, devastada pela fusariose (causada pelo fungo do gênero *Fusarium*), levou os agricultores a optar por cultivos diversificados em SAFs, visto que a diversificação do sistemas de produção geralmente dificulta a incidência de doenças e pragas (HOMMA, 1996).

Os diversos sistemas adotados foram alterando-se devido ao mercado, que regula a demanda e os preços dos produtos agrícolas produzidos na região (YAMADA, 1999). Com a crescente demanda de mercado obtida pelos frutos amazônicos a partir dos anos 90, a base dos sistemas multiestratos se tornou as culturas de cacau (*Theobroma cacao* L.), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* L.) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), consorciados com espécies arbóreas (HOMMA, 2002).

O atual estágio da produção agroflorestal constitui uma fase do processo evolutivo dos sistemas de produção, cujas origens remontam desde o início das atividades dos agricultores japoneses em 1929. O desenvolvimento de determinadas culturas, o crescimento do mercado para produtos específicos, o aparecimento de pragas e doenças, a constante busca de novas alternativas, a atitude positiva quanto ao risco e, sobretudo a organização dos produtores, constituíram fatores que levaram o município ao atual estágio de desenvolvimento rural (HOMMA, 2002). A organização dos produtores por meio da Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA) é fator fundamental para definir o perfil dos produtores rurais da colônia japonesa. Por meio da cooperativa os agricultores recebem treinamento e

assistência técnica, conseguindo manter a qualidade dos produtos e mercado para sua produção (YAMADA, 1999).

Possivelmente, em alguns anos, outras atividades distintas poderão dividir espaço com os sistemas atuais. Todos os aspectos citados anteriormente levam a indicar que os SAFs estão em constante transformação. Não existe um SAF padrão, mas um conjunto de SAFs que, no decorrer do tempo, com as transformações do mercado, dos preços dos produtos, pragas e doenças, fazem com que os produtores promovam constantes mudanças no desenvolvimento de suas atividades (YAMADA, 1999).

3) Objetivos

3.1) Objetivo Geral

- Estudar o estoque e a ciclagem de carbono em SAFs com composição de espécies e idades diferentes em Tomé-Açu, PA, Amazônia Oriental.

3.2) Objetivos Específicos

- Quantificar a deposição de serrapilheira em SAFs com composição de espécies e idades diferentes.

- Determinar os estoques de carbono da parte aérea e do solo de sistemas agroflorestais com composição de espécies e idades diferentes.

- Avaliar o potencial de reestabelecimento da ciclagem de carbono em sistemas agroflorestais em relação à vegetação secundária.

- Estimar a produtividade primária líquida em sistemas agroflorestais com composição de espécies e idades diferentes.

4) Hipóteses

- SAFs de diferentes idades e composições de espécies apresentam diferença no estoque de carbono e acúmulo de biomassa.

- SAFs têm capacidade de ciclar carbono e acumular biomassa em níveis semelhantes à vegetação secundária.

5) Material e métodos

5.1) Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Tomé-Açú, nordeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental. A sede municipal encontra-se nas coordenadas geográficas 2° 25' 00" S e 48° 09' 00" W. O clima é mesotérmico e úmido, com temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual de 2250 mm. O relevo pouco acidentado inclui baixos platôs aplainados, terraços e várzeas, com amplitude altimétrica entre 14 m e 96 m (RODRIGUES et al., 2001). Os solos são representados principalmente por Latossolo Amarelo Distrófico, Gleys pouco úmido eutrófico e distrófico e aluvial eutrófico e distrófico em associação. A vegetação original é Floresta Ombrófila Densa, atualmente alterada (RODRIGUES et al., 2001). As partes urbanas, florestas secundárias, SAF's e agropecuária completam a paisagem.

O estudo foi realizado na propriedade do produtor rural Sr. Toshihiko Takamatsu, em uma área previamente selecionada onde existem SAFs diversos, de idade e composição diferentes, denominados SAF 1, SAF 2, SAF 3 E SAF 4, além da vegetação secundária (capoeira).

5.1.1) Histórico da área

A área anteriormente cultivada com pimenta do reino, foi alterada no decorrer de anos com introdução de sistemas agroflorestais (SAFs) diversos, em diferentes talhões. A vegetação secundária selecionada para o estudo tem cerca de 30 anos e está em uma área previamente cultivada com pimenta do reino (*Piper nigrum* L.). A Figura 1 apresenta uma imagem de satélite da propriedade, onde se pode visualizar os talhões.

Os SAFs (SAFs 1 e 2) foram implantados no ano de 1994, com plantio de cacau (*Theobroma cacao* L.), açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), banana (*Musa cavendishii* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). Em 2001 alguns talhões foram enriquecidos com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), taperebá (*Spondias mombin* L.) e macacaúba (*Platymiscium trinitatis* Benth.), permanecendo os demais com apenas quatro espécies. Nessas áreas, antes da

implantação dos sistemas, existia um plantio de pimenta do reino.

Em nenhuma das áreas (SAF 1 e SAF 2) foi utilizada adubação química até o ano de 2009, quando foram aplicados 100 g de de adubo a base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK Orofós), na proporção de 10-3-23, de nutrientes, respectivamente, por indivíduo de cacau. A produtividade média das espécies comercialmente exploradas é de 1 kg indivíduo⁻¹ ano⁻¹ de amêndoa seca de cacau, e de 10 kg indivíduo⁻¹ ano⁻¹ de açaí. Na colheita do cacau, somente a amêndoa é retirada da propriedade, ficando os restos como cobertura vegetal.



Figura 1: Imagem de satélite da propriedade com a localização dos talhões (fonte: Google Earth-15/05/2010)

Legenda:

- 1 - SAF 1 (talhão com parcela instalada)
- 2 - SAF 2 (talhão com parcela instalada)
- 3 - SAF 3 (talhão com parcela instalada)
- 4 - SAF 4 (talhão com duas parcelas instaladas)

Em 2000, parte da vegetação secundária, então com aproximadamente vinte anos, foi queimada e preparada para a instalação de outros dois sistemas agroflorestais (SAFs 3 e 4) com composições diferentes. Alguns talhões foram plantados com teca (*Tectona grandis* Lf), mogno (*Swietenia macrophylla* King), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* L.) e açaí, além de feijão de porco como

leguminosa forrageira. Em outros talhões foram plantados paricá, açaí e cupuaçu. O feijão de porco permaneceu por dois anos no sistema.

As áreas denominadas SAF 3 e SAF 4 nunca receberam qualquer tipo de adubação química. Anualmente foi feita adubação orgânica com vinte litros de esterco de bode ou cama de frango no começo e no fim do inverno. A produtividade média das espécies comerciais é de 10 kg indivíduo⁻¹ ano⁻¹ de cupuaçu e 15 kg indivíduo⁻¹ ano⁻¹ de açaí.

Na propriedade não se aplicou herbicida em nenhuma área. Todos os sistemas foram submetidos ao mesmo manejo, que consiste em roçada manual e com trator acoplado com roçadeira, feita 3 vezes ao ano em toda a área, e controle de pragas e doenças retirando-se ramos doentes de forma manual. As espécies cacau e cupuaçu são podadas uma vez ao ano. A Figura 1 apresenta um croqui da propriedade, onde pode-se visualizar na propriedade, os talhões em que foram instaladas as parcelas de cada tratamento.

5.1.2) Implantação do experimento

Dentro da propriedade foram selecionados 4 sistemas agroflorestais diferentes, que são os tratamentos do experimento. A vegetação secundária foi utilizada como testemunha ou área de referência.

Os dados referentes a cada tratamento como composição e número de espécies, idade, densidade, e tamanho da parcela estão apresentados na Tabela 1. O açaí é a única espécie presente em todos os tratamentos.

Para avaliação do estoque de carbono nos sistemas agroflorestais, foram demarcadas 4 parcelas em cada tratamento, totalizando 16 parcelas. As parcelas mediram 25 m x 25 m, com exceção do tratamento 3, cujas parcelas mediram 36 m x 36 m, para que fosse possível incluir no inventário as duas espécies arbóreas presentes neste tratamento. Dessa forma, são 4 tratamentos com 4 repetições cada. A localização das parcelas no talhão foi definida por meio de sorteio.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos e espécies que compõem os sistemas avaliados

Tratamento	N° espécies	Composição (espécies utilizadas)	Idade (anos)	Densidade (plantas .ha ⁻¹)	Dimensões da Parcela (m)
1	4	açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.) bananeira (<i>Musa cavendishii</i> L.), cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.) seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.),	14	1812	25x25
2	7	açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.), bananeira (<i>Musa cavendishii</i> L.), cacau (<i>Theobroma cacao</i> L.), macacaúba (<i>Platymiscium trinitatis</i> Benth.) paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke) seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.), taperebá (<i>Spondias mombin</i> L.),	14	1616	25x25
3	4	açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.) , cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i> L.) , mogno brasileiro (<i>Swietenia macrophylla</i> King) teca (<i>Tectona grandis</i> Lf)	9	1383	36x36
4	3	açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.), cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i> L.) paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke)	9	1392	25x25
5 (testemunha)		vegetação secundária (capoeira)	> 30	ND	25x25

5.2) Estoque de carbono na biomassa da parte aérea

Neste trabalho foram utilizados os métodos direto e indireto para determinação da biomassa da parte aérea em todos os tratamentos, exceto na capoeira.

Em setembro de 2008 foi realizado inventário fitossociológico de indivíduos arbóreos que compõem cada sistema, quando foram medidas todas as árvores dos SAFs contidas na parcela e, em setembro de 2009, um novo inventário foi realizado, procedendo-se da mesma maneira. Foram contabilizados todos os indivíduos com altura superior a 1,3 m de altura. Em cada árvore selecionada, foi realizada identificação taxonômica e medição de DAP utilizando-se fita diamétrica (Figura 2) e altura, com auxílio de régua (Figura 3) e hipsômetro tipo Vertex IV. DAP e altura médios por espécie em cada tratamento encontram-se na Tabela 2.



Figura 2: Medição de diâmetro à altura do peito em sistema agroflorestal.



Figura 3: Medição de altura total em sistema agroflorestal.

Para estimar a fitomassa dos SAFs pelo método indireto, foram utilizadas equações alométricas geradas para as espécies que compõem cada sistema (Tabela 3) a partir de dados de altura e DAP. Na falta de equações específicas para todas as espécies, utilizaram-se equações gerais para mais de uma espécie, ou grupo de espécies. A partir dessas equações, foram usados os dados de altura e DAP para estimar a biomassa da parte aérea de cada indivíduo, por espécie e, portanto, de cada sistema ou tratamento. Para estimar os estoques de carbono (EC) de todos os tratamentos nos dois anos analisados, multiplicou-se a biomassa da parte aérea pelo fator 0,5, uma vez que a biomassa aérea seca contém aproximadamente 50% de carbono (MONTAGNINI E NAIR, 2004; IPCC, 2007).

Tabela 2. Número de plantas por tratamento (n), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (h) das espécies em cada tratamento avaliado. Dados de DAP e altura são média \pm erro padrão.

Espécies	Tratamentos											
	SAF 1			SAF 2			SAF 3			SAF 4		
	n	DAP	h	n	DAP	h	n	DAP	h	n	DAP	h
Açaí	91	8,6 \pm 0,2	4,82 \pm 0,19	99	8,6 \pm 0,2	4,29 \pm 0,18	525	9,8 \pm 0,1	6,13 \pm 0,10	202	9,6 \pm 0,2	5,63 \pm 0,14
Banana	171	11,5 \pm 0,3	3,07 \pm 0,06	114	10,2 \pm 0,2	2,73 \pm 0,06						
Cacau	103	9,5 \pm 0,3	4,56 \pm 0,10	91	7,2 \pm 0,4	3,72 \pm 0,10						
Cupuaçú							98	4,1 \pm 0,1	3,81 \pm 0,08	72	4,1 \pm 0,2	3,51 \pm 0,10
Macacaúba				9	9,8 \pm 0,9	8,96 \pm 1,07						
Mogno							32	9,1 \pm 1,0	6,88 \pm 0,53			
Paricá				48	21,8 \pm 1,2	12,7 \pm 0,41				74	24,2 \pm 0,8	13,86 \pm 0,32
Seringa	88	14,9 \pm 0,5	7,1 \pm 0,25	29	12,6 \pm 1,0	5,73 \pm 0,38						
Taperebá				14	11,4 \pm 1,2	6,83 \pm 0,46						
Teca							62	28,1 \pm 0,6	11,17 \pm 0,22			

A definição dos sistemas avaliados contidos na Tabela 2 ficou assim: (a) SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade; (b) SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade; (c) SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade e (d) SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade.

As equações utilizadas para seringueira Fernandes et al. (2007) geraram dados de estoque de carbono por indivíduo; nesse caso, os resultados foram multiplicados por 2 para gerar a biomassa da parte aérea por indivíduo. As equações contidas na Tabela 3 para as espécies cacau e cupuaçu foram desenvolvidas por meio do corte de alguns indivíduos, após pesagem e determinação de DAP e altura. Os indivíduos das duas espécies foram selecionados em áreas de plantio abandonadas em Tomé-Açu. Foram cortados cinco indivíduos de cada espécie para o desenvolvimento da equação alométrica. Todos os indivíduos tinham DAP e altura semelhantes aos encontrados na área de estudo. Após o corte, toda a biomassa da parte aérea foi pesada, sendo uma parte de cada fração (tronco, galhos e folhas) pesada separadamente para a determinação do teor de umidade, após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 ° até atingir peso constante. Com a massa seca e o DAP foi desenvolvida uma relação alométrica que serviu de base para o cálculo da biomassa dos demais indivíduos.

Tabela 3. Equações utilizadas na estimativa de biomassa seca acima do solo da vegetação (kg.indivíduo^{-1}) de quatro sistemas agroflorestais estudados no município de Tomé-Açu-PA

Espécies	Equação alométrica	R ²	Fonte
Açaí	BS= $\exp(-0,0550+0,0451 \cdot \text{DAP})$ (folhas)	0,92	Bartelt <i>et al.</i> (2000)
	BS= $\exp(-0,0470+0,0750 \cdot \text{DAP})$ (estipes)	0,99	Bartelt <i>et al.</i> (2000)
Banana	BS= $0,3381 \cdot \exp(0,1928 \cdot \text{DAP})$	0,8329	Presente estudo
Cacau	BS= $3,3973 \cdot \text{DAP}-4,8961$	0,9243	Presente estudo
Cupuaçú	BS= $4,1194 \cdot \text{DAP}-5,7818$	0,9242	Presente estudo
Paricá	BS= $\exp((2,6193 \cdot \ln(\text{DAP}))-2,6991)$ DAP<20cm	ND	Comunicação pessoal de Steel Silva Vasconcelos
	BS= $\exp(-3,3012+09439 \cdot \ln(\text{dap}^2) \cdot h)$ DAP>20cm	ND	Brown (1989)
Seringueira	C= $\exp(-4,07305+1,63781 \cdot \ln(\text{DAP})+1,21724 \cdot \ln(h))$ (Tronco)	89,19	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
	C= $\exp(-5,50875+ 4,23631 \cdot \ln(\text{DAP})-1,10913 \cdot \ln(h))$ (Galhos)	74,13	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
	C= $\exp(-3,77312+2,80234 \cdot \ln(\text{DAP})-1,01728 \cdot \ln(h))$ (Folhas)	51,32	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
Macacaúba, Taperebá e Mogno	BS= $\exp(-3,3012+09439 \cdot \ln(\text{dap}^2) \cdot h)$ DAP>5cm	ND	Brown (1989)
	BS= $\exp(-1,754+2,655 \cdot \ln(\text{dap})) \cdot 0,6$ DAP<5cm	ND	Higuchi <i>et al.</i> (1998)
Teca	BS= $0,153 \cdot \text{dap}^{(2,382)}$		Rügnitz <i>et al.</i> (2009)

5.3) Estoque de carbono no solo

Em junho de 2009, foi escavada uma trincheira medindo 0,5 x 1,2 x 1,2m (largura x comprimento x profundidade) por parcela em cada tratamento (Figura 4). Nas paredes da trincheira, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 cm. O estoque de carbono foi calculado para o somatório das amostras de cada trincheira, ou seja, o total contido de 0 a 50 cm. As amostras deformadas foram usadas para análise química, enquanto que as amostras indeformadas foram usadas para determinação de densidade do solo. Em maio de 2009, também foram coletadas com trado 8 amostras simples deformadas de solo ao longo de um transecto em cada parcela, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20,

20-30 e 30-50 cm (Figura 5). As amostras simples foram reunidas para formar uma amostra composta por parcela. As amostras compostas foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos para posterior análise química.

Para o cálculo do estoque de carbono do solo foram utilizados os dados de concentração de carbono e densidade do solo, obtidos para cada amostra em todos os tratamentos. Não houve diferença estatisticamente significativa de densidade de solo entre SAFs e Capoeira, não necessitando, portanto, de correção do estoque de carbono por massa de solo.



Figura 4: Trincheira para coleta de solo em sistema agroflorestal.



Figura 5: Coleta de amostras de solo com trado em sistema agroflorestal.

5.4) Deposição de material formador de serrapilheira (*litterfall*)

Em cada parcela, foram instalados 5 coletores de *litterfall* (Figura 6) com 1 m² de área de coleta (VASCONCELOS et al., 2008). Os coletores foram confeccionados com fio de arame liso e tela com malha de aproximadamente 2 mm, que retém o material e deixa passar a água da chuva. O material depositado nos coletores foi coletado a cada duas semanas. No Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas, as amostras foram secas ao ar e separadas em material lenhoso, reprodutivo (frutos, sementes e flores), e folhas. A fração folhas foi separada por espécie. O material de um dado coletor de duas coletas consecutivas foi reunido para compor uma amostra mensal, a qual foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 °C por 48 h e pesada em balança digital com precisão de 0,01 g. Foi calculada a média mensal dos dados obtidos nos coletores de cada tratamento e a correspondente produção anual de serrapilheira em cada tratamento.

O material coletado em 3 meses consecutivos foi reunido para compor uma amostra trimestral, ou seja 1° trimestre (outubro, novembro e dezembro), 2° trimestre (janeiro, fevereiro e março), 3° trimestre (abril, maio e junho) e 4° trimestre (julho, agosto e setembro), para fins de análise química do teor de carbono. Tal procedimento foi adotado para reduzir os custos com as análises

químicas. Entretanto, devido a problemas no equipamento (analisador de carbono e nitrogênio), somente foi possível analisar as amostras do 1º trimestre. Sendo assim, optou-se por utilizar teores de carbono encontrados na literatura para determinação dos estoques e fluxos de carbono descritos neste estudo. O material coletado encontra-se moído em laboratório, para posterior análise em futuros trabalhos.



Figura 6: Instalação dos coletores de *litterfall* em sistema agroflorestal.

5.5) Estoque de serrapilheira

Em maio de 2009, o estoque de serrapilheira foi avaliado usando-se uma grade cortante com área interna de 0,5 m x 0,5 m, em 8 locais diferentes ao longo de um transecto em cada parcela (Figura 7). Todo o material contido dentro da grade foi coletado, secado individualmente a 65°C por 72 horas, e pesado em balança digital com precisão de 0,01 g.



Figura 7: Grade utilizada para coletas de serrapilheira em sistema agroflorestal.

5.6) Análise química de solo e litterfall

A concentração de carbono nas amostras de solo coletadas com trado e das amostras de *litterfall* referentes aos três primeiros meses de coleta, foi determinada usando-se um analisador elementar CNS LECO 2000.

5.7) Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 5 tratamentos (SAFs com diferentes arranjos de espécies e vegetação secundária) e 4 repetições. A comparação entre SAFs de mesma idade permitiu avaliar o efeito da diversidade de espécies nas variáveis estudadas e a comparação de SAFs com vegetação secundária permitiu inferir sobre o potencial de reestabelecimento da ciclagem de carbono nos sistemas agroflorestais. Foi empregado o programa Sigma Stat versão 2.0 para a análise estatística dos dados. Os efeitos de tratamento, data de coleta e interação entre data de coleta e tratamento sobre as variáveis *litterfall*, biomassa da parte

aérea, foram testados com análise de variância de 2 fatores com medidas repetidas. O efeito de tratamento sobre estoque de carbono no solo e estoque de serrapilheira, foi testado empregando-se uma análise de variância de 1 fator. O teste Tukey foi utilizado para a comparação de médias.

6) Resultados e Discussão

6.1) Estoque de carbono na fitomassa da parte aérea

Foram inventariados 1812, 1616, 1383 e 1392 indivíduos.ha⁻¹ nos SAFs 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Considerando-se todos os tratamentos, foram inventariadas 10 espécies, de porte arbóreo e arbustivo.

Os valores de estoque de carbono (EC) observados foram (média ± erro padrão) 41,06 ±7,3, 41,61 ±3,5, 30,78 ±6,14 e 35,03 ±3,5 Mg C ha⁻¹ para os SAFs 1, 2, 3 e 4, respectivamente, no ano de 2008 e 40,10 ±6,5, 44,16 ±2,9, 37,27 ±7,53 e 43,95 ±7,3 Mg C ha⁻¹ no ano de 2009 (Figura 8).

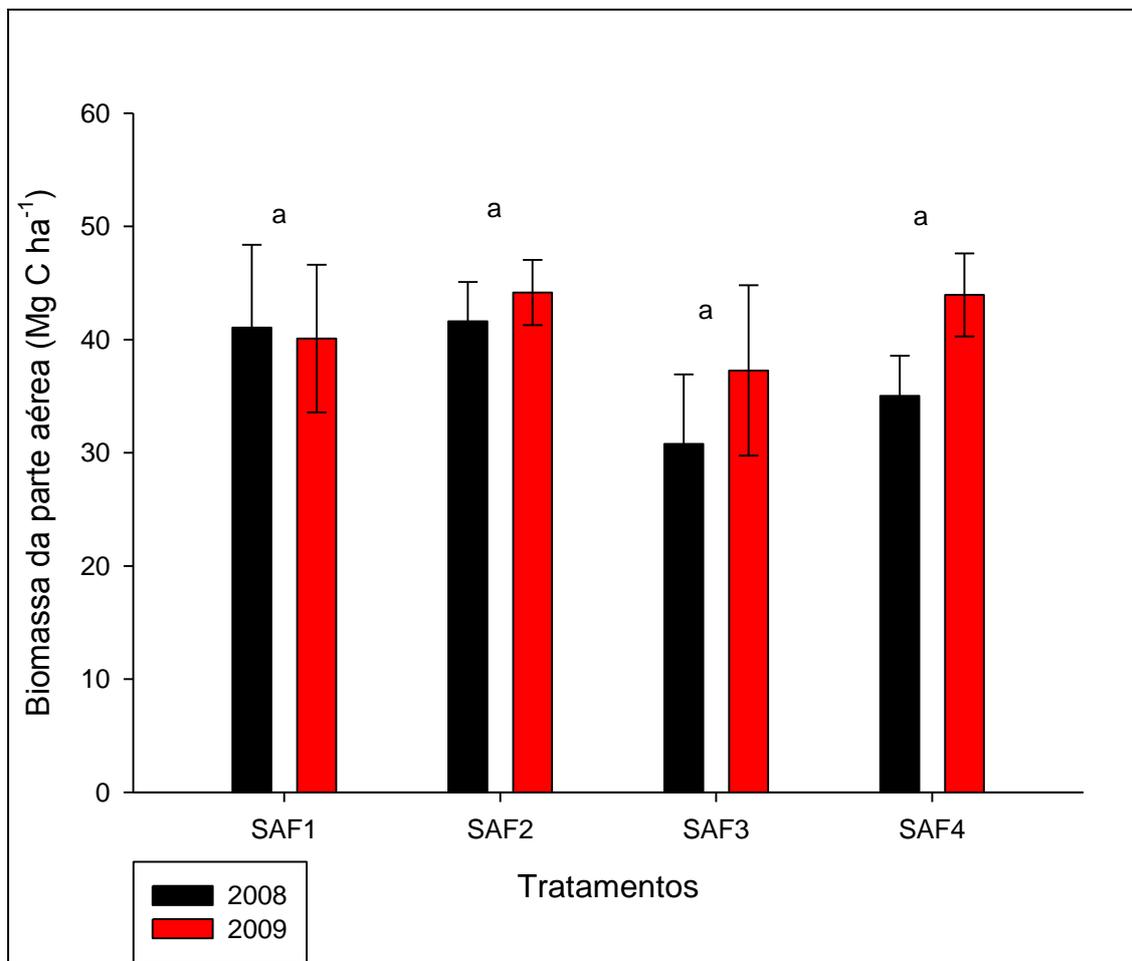


Figura 8: Estoque de carbono na biomassa da parte aérea em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açai, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açai, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açai, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açai e paricá, 9 anos de idade). Dados são média ± erro padrão (n=4). Letras iguais indicam que não houve diferença significativa entre SAFs, considerando-se a média de estoque de carbono (EC) em 2008 e 2009, ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Os valores de estoque de carbono encontrados nos SAF 1 e SAF 2 estão dentro da média estimada por Albrecht e Kandji (2003), que relataram que o potencial de EC em SAFs para a América do Sul varia de 39 a 102 Mg C ha⁻¹, média esta que está acima do valor encontrado no SAF 3. Em todos os tratamentos, os valores ficaram abaixo do valor observado por Montagnini e Nair (2004), que relataram um valor estimado em 50 Mg C ha⁻¹ para regiões tropicais, sendo que para os SAFs 1 e 2, os valores estão próximos. Os valores encontrados de EC deste estudo são bem inferiores ao valor médio (134 Mg C ha⁻¹) encontrado por Santos et al. (2004) em SAFs na região de Cametá, PA e representam aproximadamente 20 % do citado por Dixon (1995) para sistemas antrópicos, incluído o estoque de carbono no solo (228 Mg C ha⁻¹).

A diferença de estoque de carbono entre os sistemas estudados e a literatura pode estar relacionada ao elevado número de indivíduos de cacau (SAFs 1 e 2), cupuaçu (SAFs 3 e 4) e açaí (em todos os SAFs) presentes nos sistemas (Tabela 2). Estas espécies, naturalmente de baixo porte, quando comparadas a espécies arbóreas, podem diminuir a estimativa de biomassa, já que, segundo Higuchi et al. (1998), a ocorrência de mais árvores de grande porte numa amostra eleva a estimativa de biomassa. O fato de árvores de grande porte elevarem a estimativa de biomassa é constatado ao comparar o SAF 3, que possui menos indivíduos arbóreas, com os demais SAFs estudados (Tabela 2). De fato, não houve diferença significativa entre os SAFs, porém os resultados encontrados sugerem que SAFs com maior presença de indivíduos arbóreas podem ter uma estimativa de biomassa mais elevada. Os resultados sugerem que a diversidade de espécies não influenciou significativamente no estoque de carbono da biomassa da parte aérea, mas o número de indivíduos arbóreas tem grande influência nos resultados obtidos.

Existem grandes diferenças entre estimativas de carbono de sistemas agroflorestais nos trabalhos que tratam do assunto (SANTOS et al., 2004). Isso se deve, em parte, a grande variação existente entre as diversas equações que comumente são usadas para estimar o estoque de carbono da biomassa aérea. Por exemplo, a estimativa de biomassa seca (BS), usando-se 3 diferentes equações alométricas, sugeridas por Brown (1989) ($BS = \exp(-3,3012 + 0,9439 \times \ln(DAP^2) \times h)$), Higuchi (1998) ($BS = \exp(-1,754 + 2,655 \times \ln(DAP) \times 0,6)$) e Bartelt (2000) ($BS = \exp(-0,76 + 0,1242 \times DAP) + \exp(0,0204 + 0,3129 \times DAP)$), considerando-se DAP igual a 10 cm, é 15,4, 46,9 e 24,9 kg indivíduo⁻¹, respectivamente, indicando diferenças de até

3 vezes na estimativa de biomassa. Esse fato foi levado em consideração na escolha das equações utilizadas neste estudo, quando se optou por utilizar equações que aparentemente não superestimassem a biomassa, considerando o peso individual das árvores.

6.2) Estoque de carbono no solo

Os valores de estoque de carbono (EC) no solo encontrados para os SAFs 1, 2, 3 e 4, foram $84,90 \pm 5,9$, $82,38 \pm 3,2$, $83,18 \pm 5,1$ e $90,69 \pm 3,0$ Mg C ha⁻¹, respectivamente, enquanto que o EC na capoeira foi $97,89 \pm 2,3$ Mg C ha⁻¹. Não houve diferença significativa entre tratamentos com relação ao estoque de carbono no solo (Figura 9), demonstrando assim que a idade e a composição dos sistemas estudados não influenciaram os resultados de estoque de C no solo. Este fato sugere que SAFs podem acumular carbono no solo a níveis similares aos de uma capoeira, sendo, portanto, formas de uso da terra capazes de manter uma boa ciclagem de nutrientes.

Freitas et al. (2000) encontraram resultados similares aos aqui descritos, em solos do cerrado submetidos a cultivos agrícolas anuais, na profundidade de 0-40 cm, com valores que variam de $82,5$ Mg C ha⁻¹ a $84,4$ Mg C ha⁻¹. Alguns autores (BERNOUX, 1998, BATGES et al., 1999), relataram valores de 73 a 98 Mg C ha⁻¹ no solo, até 1 metro de profundidade, em florestas na Amazônia, valores estes condizentes com os encontrados nesse estudo.

Em comparação com os outros compartimentos de estoque de carbono avaliados neste estudo, como biomassa aérea e serrapilheira (Figura 15), os valores encontrados no solo demonstram a importância dessa fração no ciclo global de carbono e alertam para os cuidados que deve-se ter com relação a degradação dos solos.

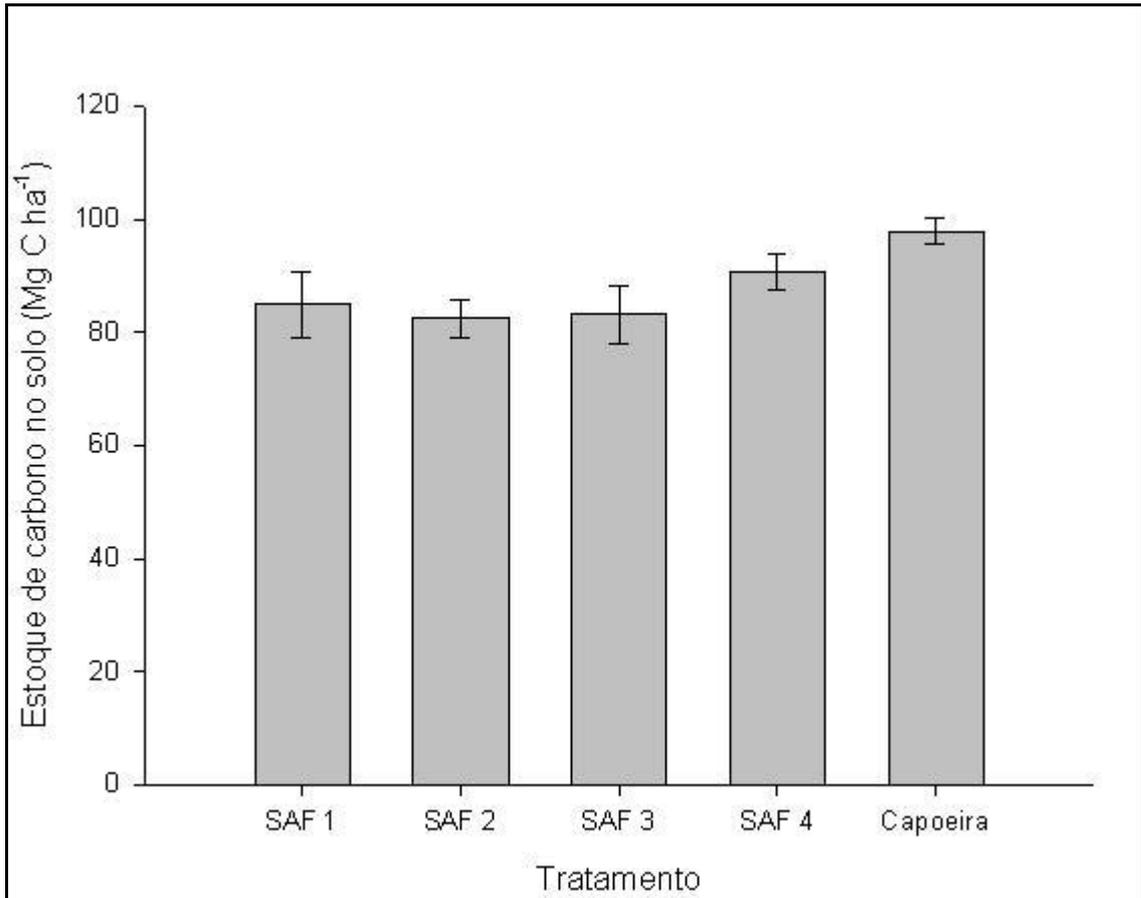


Figura 9: Estoque de carbono no solo (profundidade = 0-50 cm) de sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açai, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açai, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açai, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açai e paricá, 9 anos de idade). Dados são média \pm erro padrão (n=4). Considera-se a média de EC no solo, não há diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% pelo teste Tukey.

6.3) Deposição de material formador de serrapilheira (*litterfall*)

O aporte de carbono por meio da deposição da serrapilheira total foi 2,54 \pm 0,35, 3,56 \pm 0,56, 4,31 \pm 0,66 e 7,34 \pm 0,85 Mg C ha⁻¹, nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os valores registrados neste estudo foram similares aos encontrados em floresta de terra firme na Amazônia Central por Luizão e Schubart (1986) e em uma floresta tropical úmida no Panamá por Wieder e Wright, (1995). Somente houve diferença significativa do SAF 4 em relação aos demais, que não se diferenciaram entre si (Figura 10).

Dentre as frações da serrapilheira, a que mais contribuiu para a produção total foi o material não-lenhoso (incluindo folhas, material reprodutivo e miscelânea), representando 86,7%, 95,8%, 95,1% e 85,3% do total nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. O material não-lenhoso, principalmente folhas, representa o compartimento mais importante na maioria dos estudos de produção de serrapilheira em florestas tropicais (BARNES et al., 1998), e essa fração depende principalmente das espécies e da idade das árvores (ZIMMERMANN et al., 2002). O percentual de contribuição da fração não-lenhosa em relação à serrapilheira total registrado neste estudo foi semelhante ao encontrado por Luizão & Schubart (1987), Oliveira (1997) e Martins e Rodrigues (1999).

A fração que menos contribuiu para a produção total foi o material lenhoso, representando 13,3%, 4,2%, 4,9% e 14,7% do total nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Devido às diferenças na contribuição de material lenhoso e não-lenhoso, a deposição total de carbono na serrapilheira seguiu a tendência do material não-lenhoso (Figura 10). A pouca contribuição de material lenhoso, em parte, deve-se ao fato de que só foram considerados lenhosos ramos com DAP superior a 1 cm.

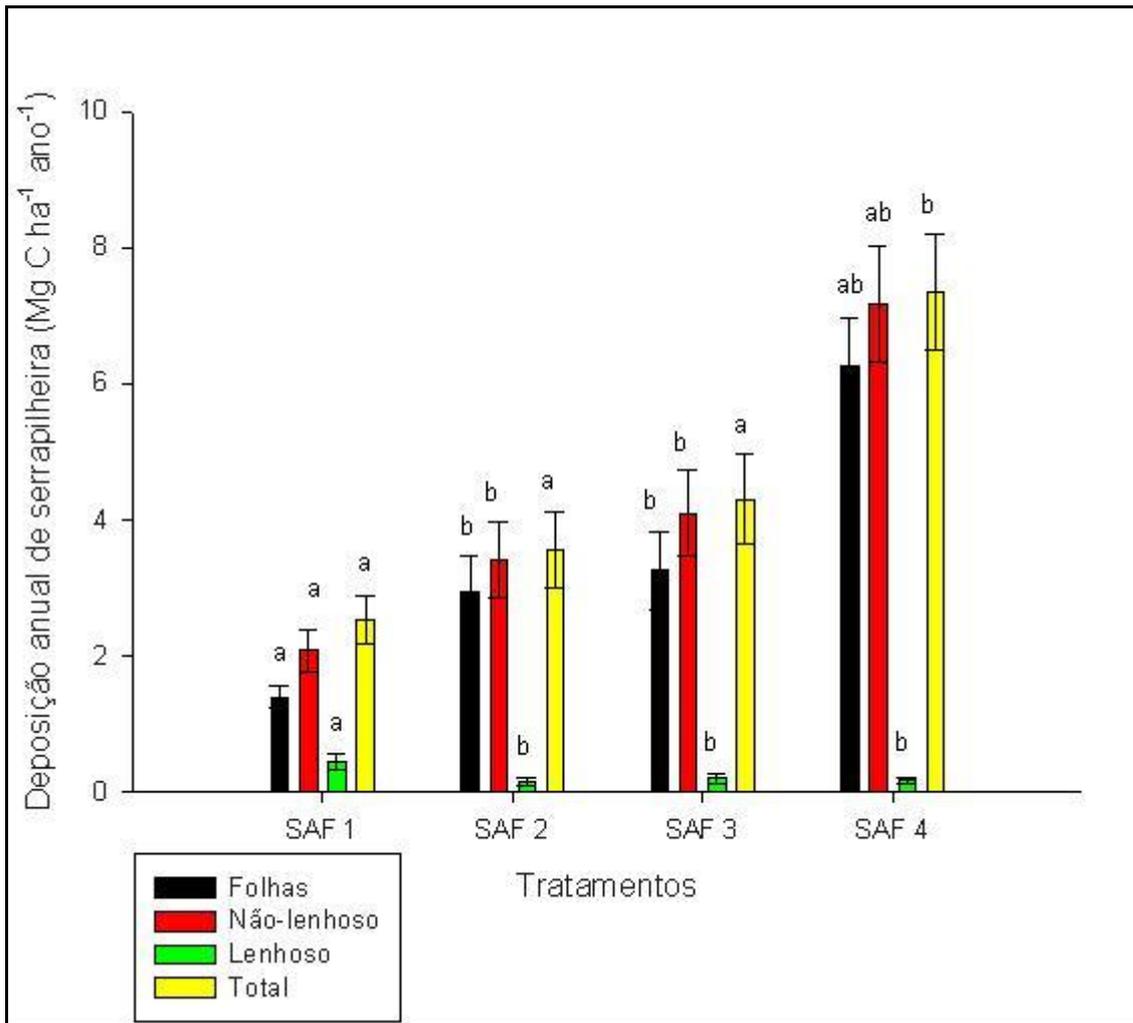


Figura 10: Deposição anual de carbono em diferentes frações de serrapilheira em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade). Dados são média \pm erro padrão (n=20). Letras diferentes indicam diferença significativa entre SAFs, para uma determinada fração de serrapilheira, ao nível de 5% pelo teste Tukey.

A produção mensal de serrapilheira das frações folhas e material não-lenhoso apresentou uma distribuição diferenciada ao longo do ano (Figuras 11 e 12). Esta diferença está diretamente relacionada com a precipitação. A estação seca (outubro, novembro e dezembro de 2008 e julho, agosto e setembro de 2009) foi caracterizada pela maior produção de serrapilheira em todos os sistemas estudados, com um total aportado de cerca de 9 Mg C ha^{-1} , enquanto que na estação chuvosa (janeiro a junho de 2009) a soma não superou 6 Mg C ha^{-1} . Muito provavelmente a elevação da temperatura do ar e a redução da disponibilidade de água no solo durante a estação seca (BALIEIRO, 2002) acarretaram um estresse hídrico às espécies, que, em resposta, diminuíram sua superfície de transpiração, via queda de

folhas. Estudos de produção de serrapilheira realizados por Luizão e Schubart (1987); Luizão (1989); Rodrigues et al. (2000); Vital et al. (2004) também mostraram máxima produção de serrapilheira no período de seca. Os (agro)ecossistemas de florestas tropicais, via de regra, apresentam produção contínua de material formador de serrapilheira no decorrer do ano, cuja quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação considerada (LEITÃO FILHO et al., 1993) e das variações climáticas.

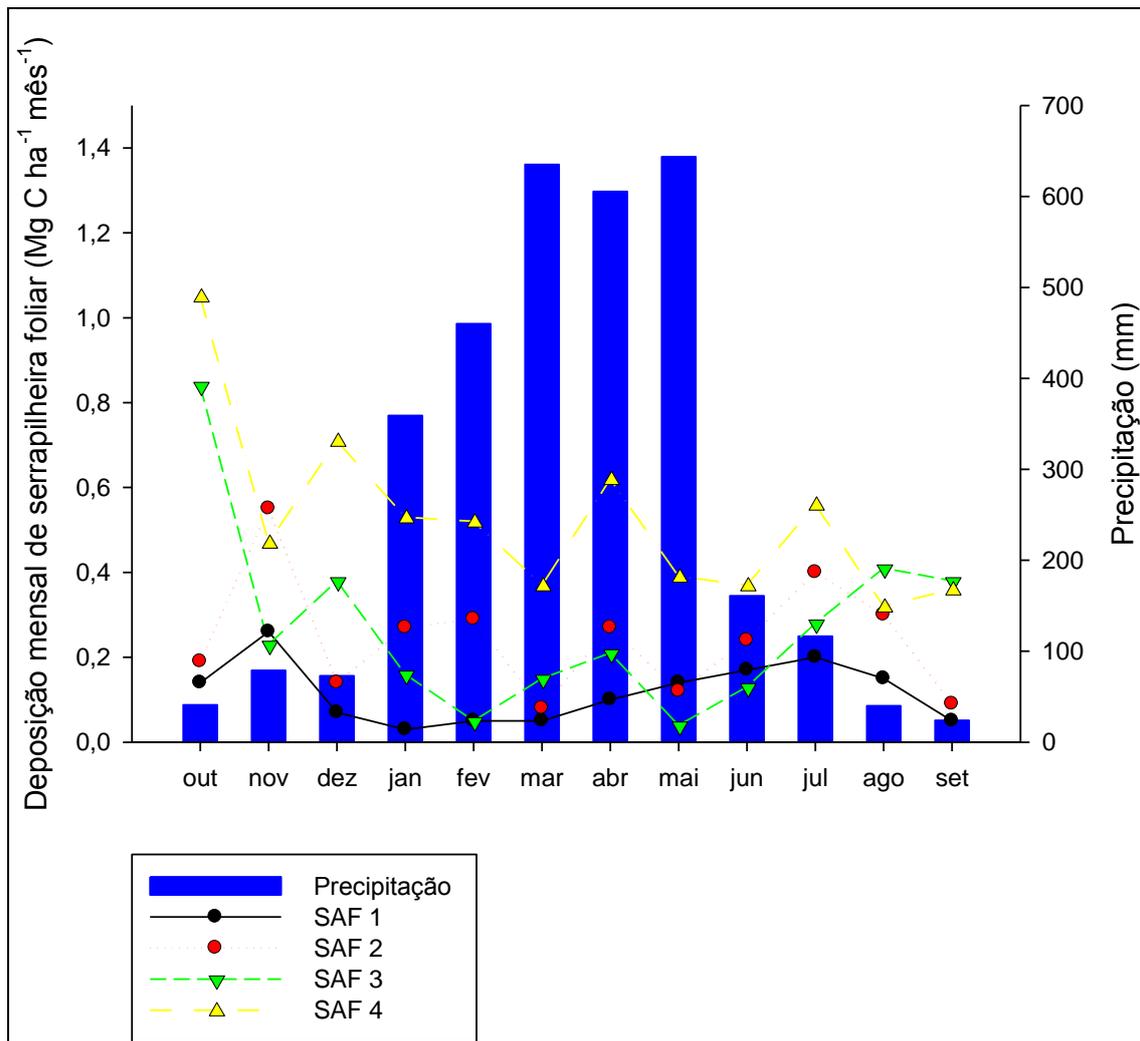


Figura 11: Deposição mensal de serrapilheira foliar x precipitação mensal em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade). Dados são média (n=20). Foram omitidas as barras de erro para melhor visualização dos dados.

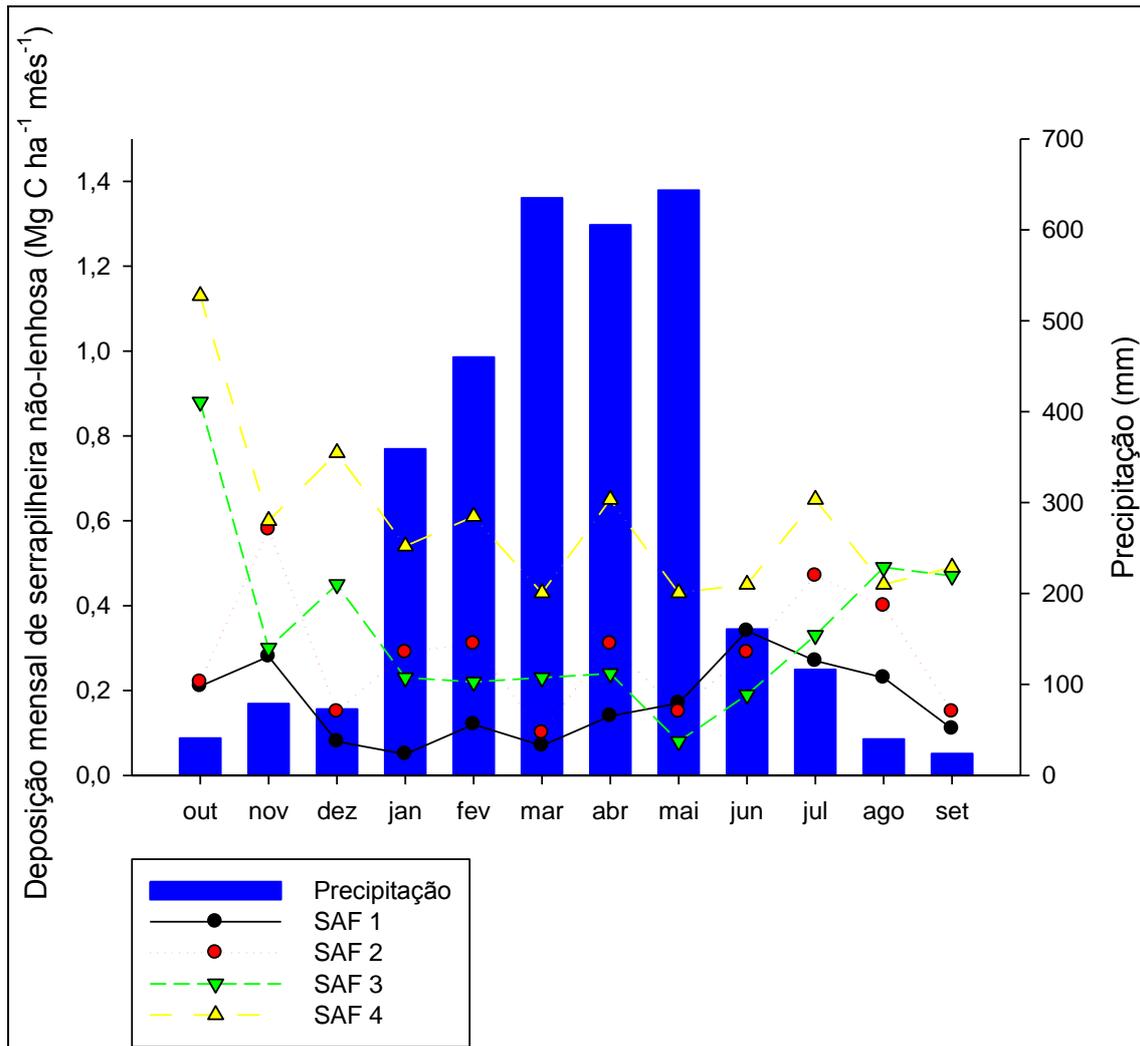


Figura 12: Deposição mensal de serrapilheira não-lenhosa x precipitação mensal em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, sendo SAF 1 (cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade), SAF 2 (cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade), SAF 3 (cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade) e SAF 4 (cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade). Dados são média ($n=20$). Foram omitidas as barras de erro para melhor visualização dos dados.

Tabela 4: Quantidade média mensal de carbono e o erro padrão da estimativa na deposição de serrapilheira, na fração folha, em Mg C ha⁻¹, no período de um ano de análise, entre outubro de 2008 e setembro de 2009.

Deposição de serrapilheira foliar (Mg C ha ⁻¹ mês ⁻¹)									
Mês	SAF 1		SAF 2		SAF 3		SAF 4		Total
out	0,14	± 0,02	0,19	±0,11	0,84	±0,38	1,05	±0,33	2,22 a
nov	0,26	± 0,08	0,55	±0,20	0,23	±0,10	0,47	±0,18	1,51 ab
dez	0,07	± 0,01	0,14	±0,01	0,38	±0,19	0,71	±0,25	1,29 ab
jan	0,03	±<0,01	0,27	±0,04	0,16	±0,14	0,53	±0,14	0,99 b
fev	0,05	±0,01	0,29	±0,09	0,05	±0,02	0,52	±0,20	0,91 b
mar	0,05	±0,01	0,08	±0,02	0,15	±0,08	0,37	±0,12	0,65 b
abr	0,10	±0,02	0,27	±0,15	0,21	±0,11	0,62	±0,19	1,21 ab
mai	0,14	±0,02	0,12	±0,01	0,04	±0,01	0,39	±0,03	0,68 b
jun	0,17	±0,02	0,24	±0,02	0,13	±0,02	0,37	±0,01	0,91 b
jul	0,20	±0,03	0,40	±0,09	0,28	±0,09	0,56	±0,26	1,43 ab
ago	0,15	±0,05	0,30	±0,04	0,41	±0,07	0,32	±0,09	1,18 ab
set	0,05	±0,01	0,09	±0,02	0,38	±0,08	0,36	±0,16	0,88 b
Total	1,40 B		2,94 B		3,26 B		6,26 A		13,86

*Letras maiúsculas indicam diferença entre tratamentos e minúsculas entre meses

Os SAFs 1 e 2 apresentaram picos de deposição de carbono em folhas no fim da estação seca (novembro), enquanto que os tratamentos 3 e 4 apresentaram picos em outubro (Figura 11). Os menores valores de deposição de folhas ocorreram em janeiro, março, maio e agosto para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Figura 11).

Não houve efeito significativo de interação entre tratamento e tempo, porém os efeitos isolados de tratamento e data de coleta foram significativos (Tabela 4). A deposição de serrapilheira foliar (Figuras 11 e 12) e não-lenhosa nos tratamentos 1 e

2 foi significativamente menor do que nos tratamentos 3 e 4 ($p < 0,05$) no período analisado, entre outubro de 2008 e setembro de 2009.

Tabela 5: Quantidade média mensal de carbono e o erro padrão da estimativa na deposição de serrapilheira, na fração não lenhosa, em Mg C ha^{-1} , no período de um ano de análise, entre outubro de 2008 e setembro de 2009.

Mês	Tratamentos								Total
	SAF 1		SAF 2		SAF 3		SAF 4		
out	0,21	± 0,05	0,22	± 0,11	0,88	± 0,37	1,13	± 0,33	2,44 a
nov	0,28	± 0,08	0,58	± 0,20	0,30	± 0,11	0,60	± 0,18	1,75 ab
dez	0,08	± 0,01	0,15	± 0,01	0,45	± 0,19	0,76	± 0,25	1,43 ab
jan	0,05	± 0,01	0,29	± 0,04	0,23	± 0,13	0,54	± 0,14	1,10 b
fev	0,12	± 0,03	0,31	± 0,10	0,22	± 0,08	0,61	± 0,20	1,26 b
mar	0,07	± 0,01	0,10	± 0,02	0,23	± 0,08	0,43	± 0,12	0,83 b
abr	0,14	± 0,02	0,31	± 0,16	0,24	± 0,12	0,65	± 0,19	1,34 a
mai	0,17	± 0,02	0,15	± 0,01	0,08	± 0,01	0,43	± 0,03	0,83 b
jun	0,34	± 0,07	0,29	± 0,02	0,19	± 0,03	0,45	± 0,03	1,27 b
jul	0,27	± 0,04	0,47	± 0,09	0,33	± 0,09	0,65	± 0,28	1,72 ab
ago	0,23	± 0,06	0,40	± 0,04	0,49	± 0,07	0,45	± 0,12	1,57 ab
set	0,11	± 0,02	0,15	± 0,02	0,47	± 0,08	0,49	± 0,17	1,22 b
Total	2,08 B		3,41 B		4,10 B		7,17 A		16,76

*Letras maiúsculas indicam diferença entre tratamentos e minúsculas entre meses

6.4) Estoque de serrapilheira

Nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 o carbono estocado na serrapilheira total foi, respectivamente, $1,59 \pm 0,16$, $1,87 \pm 0,16$, $2,35 \pm 0,34$ e $3,17 \pm 0,24$ Mg C ha⁻¹, enquanto que na vegetação secundária o valor foi $2,85 \pm 0,23$ Mg C ha⁻¹ (Figura 13). Os tratamentos 3 e 4 não diferiram estatisticamente entre si e com a capoeira em relação ao estoque de carbono na serrapilheira, enquanto que os tratamentos 1 e 2 apresentaram valores significativamente inferiores aos demais, porém significativamente iguais entre si (Figura 13). Estes resultados sugerem que sistemas agroflorestais podem estocar carbono na serrapilheira em níveis similares ao de vegetação secundária. Em Manaus, durante a estação chuvosa, os resultados encontrados por Tapia-Coral (2005) em SAFs, foram de $1,54$ Mg ha⁻¹ a $3,28$ Mg ha⁻¹ de biomassa seca (aproximadamente $0,77$ Mg C ha⁻¹ a $1,64$ Mg C ha⁻¹) e em capoeira, de $4,9$ Mg ha⁻¹ de biomassa seca (cerca de $2,45$ Mg C ha⁻¹). Os valores de estoque de carbono em serrapilheira nos sistemas avaliados confirmam a tese de que a serrapilheira é variável de acordo com o sistema e as espécies utilizadas (DELITTI, 1989).

De todo o carbono estocado na serrapilheira, grande parte está estocado na fração folhosa, correspondendo a 75,79%, 83,47%, 87,23%, 83,78% e 67,54% da serrapilheira total nos tratamentos 1, 2, 3, 4 e capoeira, respectivamente.

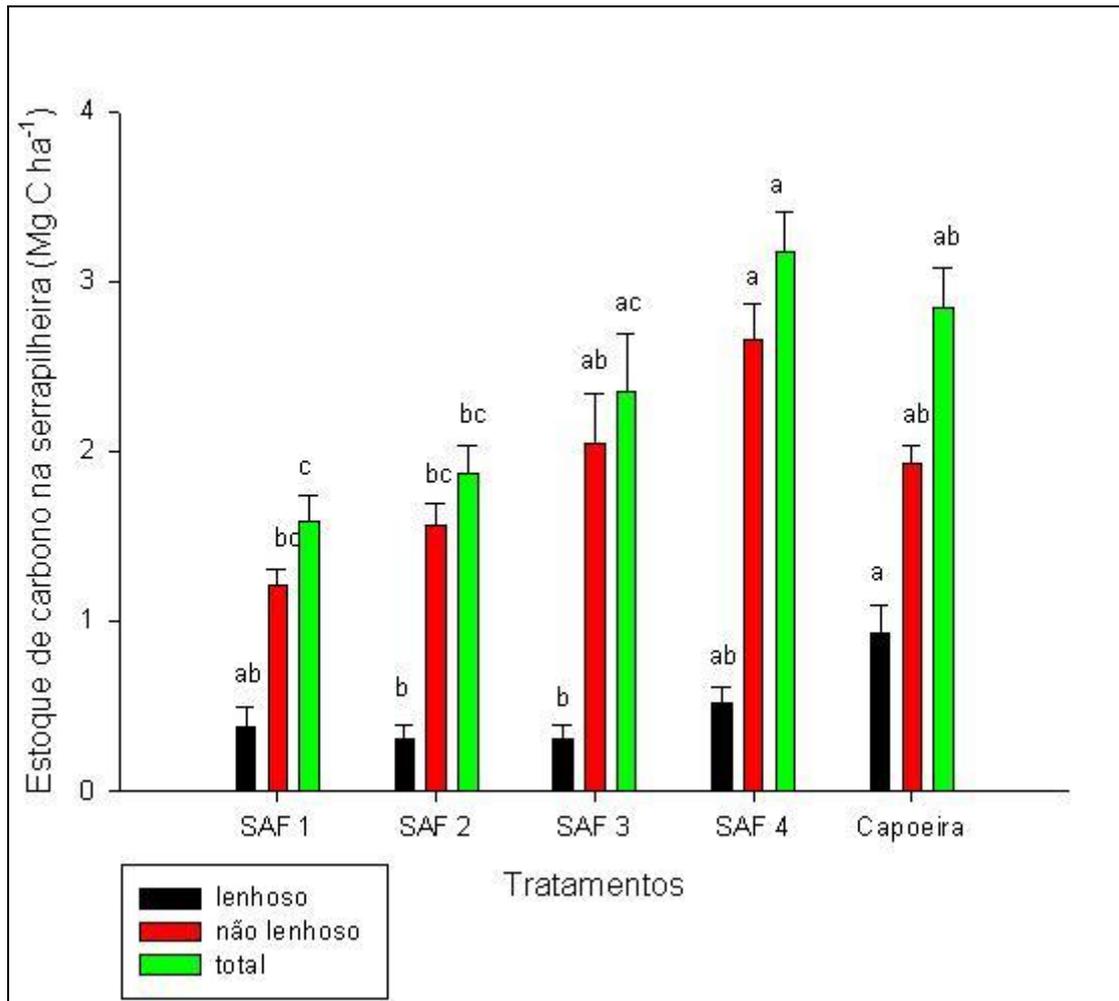


Figura 13: Estoque de carbono em diferentes frações de serrapilheira em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade). Dados são média \pm erro padrão (n=32). Letras diferentes indicam diferença significativa em SAFs e capoeira, considerando a média de EC na serrapilheira, ao nível de 5% pelo teste Tukey.

6.5) Produtividade primária líquida e estoque de carbono total

Os SAFs 1, 2, 3 e 4 tiveram um incremento anual de biomassa da parte aérea de -0,96, 2,54, 5,23 e 8,92 Mg C ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente. Somando-se a este incremento anual os valores de deposição anual de carbono via *litterfall*, a produtividade primária líquida atingiu 2,54, 6,11, 9,54 e 16,27 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nos SAFs 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Nos tratamentos SAF 1 e SAF 2 o incremento em biomassa foi afetado negativamente pelo manejo, isto é, diversos indivíduos de bananeira inventariados no primeiro ano foram cortados para produção de matéria

orgânica, de acordo com o manejo empregado pelo proprietário e, por conseqüência, a produtividade primária líquida destes tratamentos provavelmente ficou subestimada, já que não foram medidos os indivíduos cortados. No tratamento SAF 1 não houve incremento em biomassa da parte aérea, sendo a produtividade primária líquida igual ao valor da deposição de carbono anual via *litterfall*.

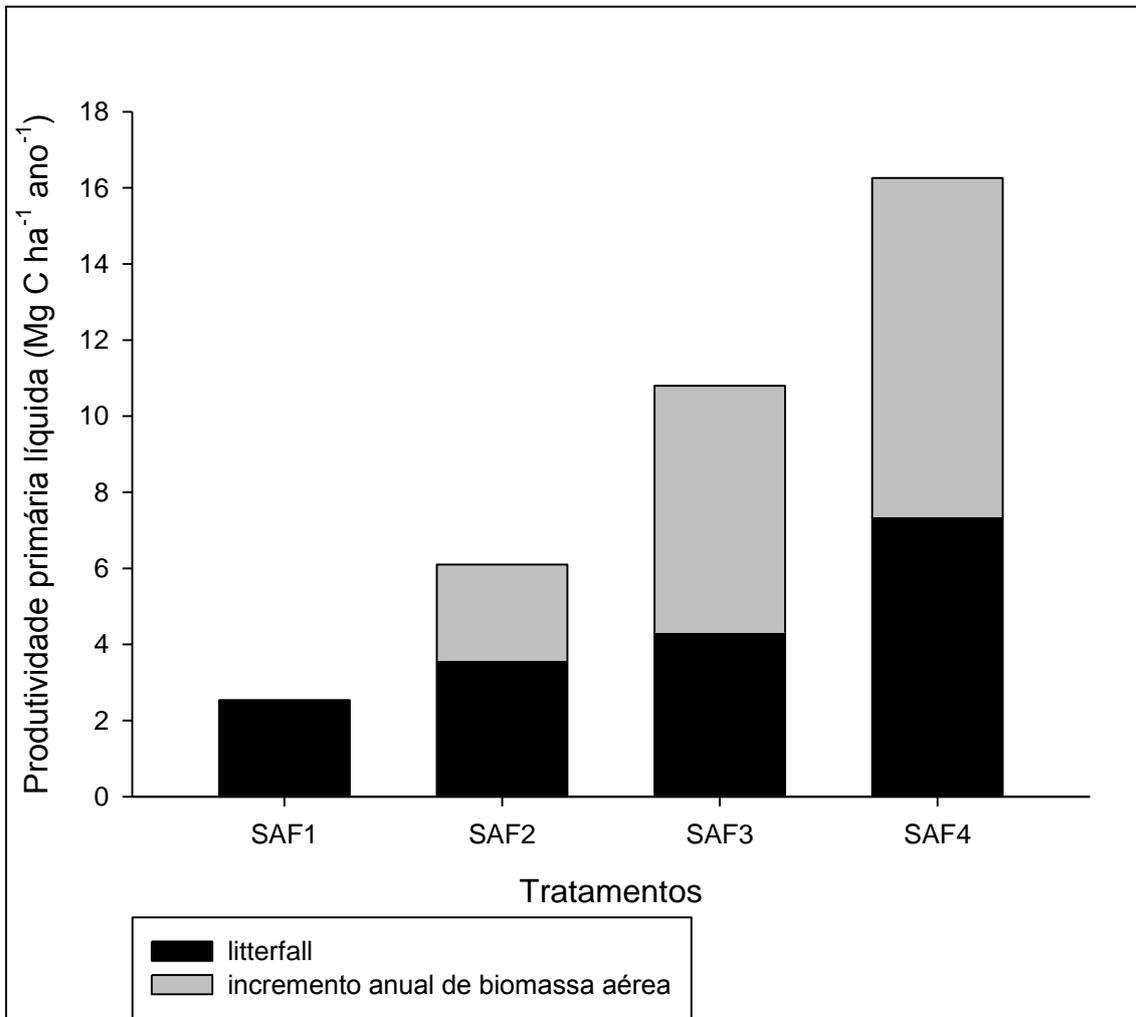


Figura 14: Produtividade primária líquida de sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade).

Os resultados de incremento em biomassa da parte aérea encontrados neste estudo são inferiores aos encontrados em SAFs na Costa Rica, com 9,67 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (ÁVILA, 2000), e 10,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (PALM, 2000). Também são inferiores a valores encontrados em SAFs na Amazônia brasileira, que variaram de 11,75 a 15 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (MAGAÑA, 2004).

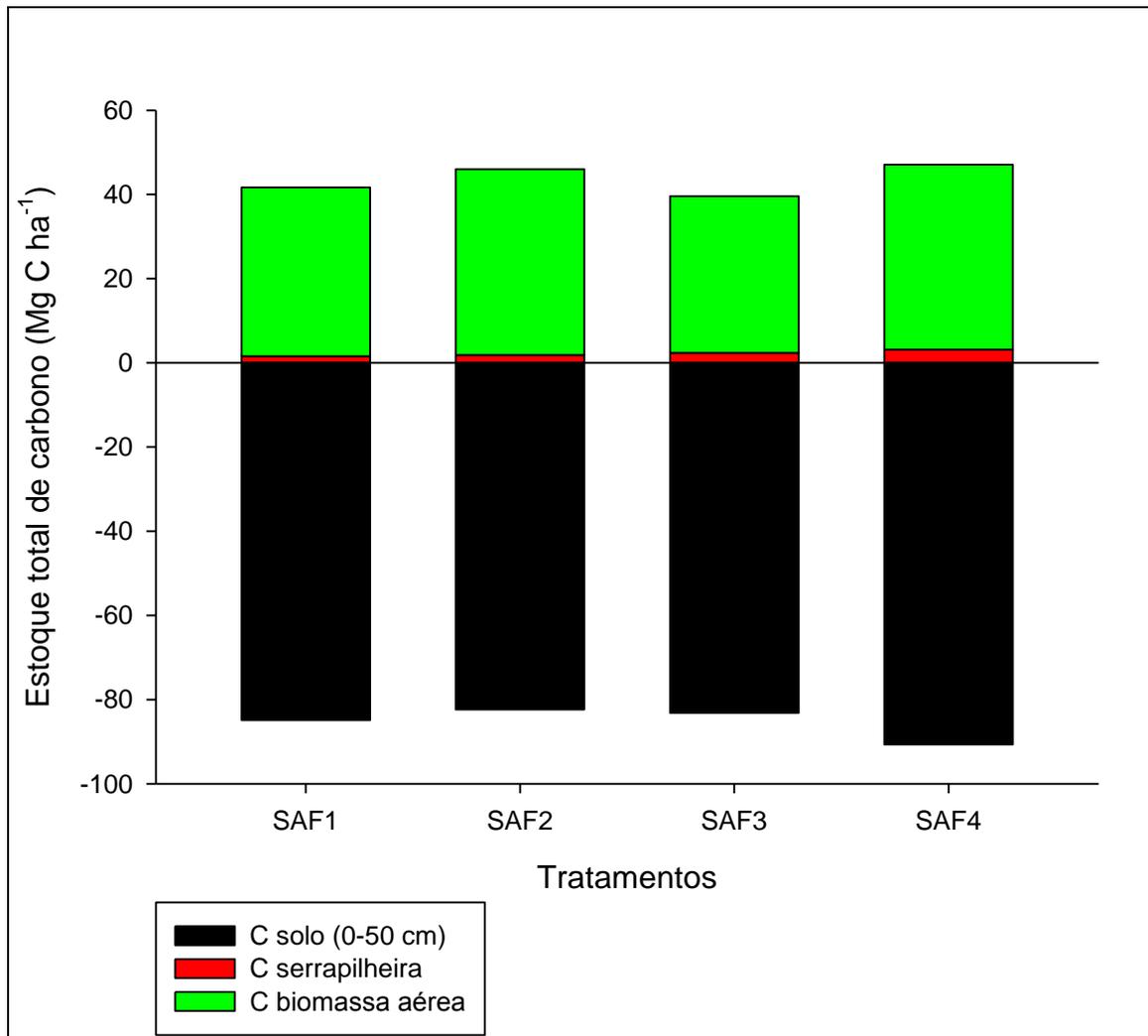


Figura 15: Estoque total de C de sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes em Tomé-Açu, Pará, (SAF 1: cacau, açaí, bananeira e seringueira, 14 anos de idade, SAF 2: cacau, açaí, bananeira, seringueira, taperebá, paricá e macacaúba, 14 anos de idade, SAF 3: cupuaçu, açaí, teca e mogno, 9 anos de idade, SAF 4: cupuaçu, açaí e paricá, 9 anos de idade).

Somando-se todos os compartimentos de carbono estudados (Figura 15), tem-se valores de 129,1, 132,0, 127,9 e 145, 2 Mg C ha⁻¹, para os SAFs 1, 2 3 e 4, respectivamente. Esses valores são inferiores aos citados por Dixon (1995), que relata valores de até 228 Mg C ha⁻¹. Comparando-se os estoques de carbono no solo e na parte aérea, nota-se que a maior parte do carbono estocado está no solo, constituindo-se assim, a fração mais importante no sistema solo-planta. Logo, é importante manter a qualidade do solo e os reservatórios de carbono por meio de técnicas de manejo conservacionistas, como aquelas usadas em sistemas agroflorestais.

7) Conclusões

- Os valores de estoques de carbono no solo e na serrapilheira em sistemas agroflorestais foram semelhantes aos encontrados na capoeira (vegetação secundária). Este fato sugere que sistemas agroflorestais têm boa ciclagem de carbono e se constituem em potenciais sistemas prestadores de serviços ambientais.
- A densidade de indivíduos arbóreos é fator determinante no acúmulo de biomassa aérea, o que sugere que SAFs conduzidos com a finalidade de acumular carbono devem ter o componente arbóreo como prioridade.
- A quantidade de carbono depositada via *litterfall* difere significativamente em sistemas agroflorestais com idades e composições diferentes.
- A idade dos SAFs não influenciou significativamente a quantidade de carbono acumulada no período de 12 meses considerando neste estudo, pois SAFs com pelo menos 9 anos de idade atingiram incremento em biomassa estável.

8) Recomendações

- Há necessidade de padronização dos métodos utilizados em estudos de estoque e ciclagem de carbono em SAFs para facilitar a comparação de dados de diferentes trabalhos.
- Na escolha das equações para estimar a biomassa da parte aérea, pode-se constatar que são necessários mais estudos sobre estoque de carbono em SAFs, e que equações nem sempre podem ser generalizadas para várias espécies, já que podem superestimar ou subestimar a quantidade de biomassa existente em uma determinada área. Preferivelmente devem ser desenvolvidas equações específicas para as espécies de acordo com as características edafoclimáticas e de manejo dos sistemas.

9) Referências Bibliográficas

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. New York. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.99, n.1, p.15-27. 2003.
- AREVALO, L., ALEGRE, J. e PALM, C. Manual para la determinación de las reservas total de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. 35 pp. 2003.
- ÁVILA, G. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas café bajo sombra, café a pleno sol, SSP y pastura a pleno sol. *Tesis MSc em Agricultura Sostenible*. CATIE. Turrialba. Costa. Rica. 99pp. 2000.
- BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; FONTES, R.L.F.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C. Accumulation and distribution of aboveground biomass and nutrients under pure and mixed stands of *Pseudosamanea guachapele* Dugand and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Journal of Plant Nutrition*, v.25, p.2639-2654. 2002.
- BARNES, B.V.; ZAK, D.R.; Denton, S.R.; Spurr, S.H. *Forest Ecology*. Editora John Wiley, New York. 774pp. 1998.
- BARTELT, D.; KOCH, J.; TOURINHO, M.M. Anbau von Acai (*Euterpe oleracea*) und Kakao (*Theobroma sylvestre*) in Primärwäldern der varzeas am rio Tocantins (Brasilien/Para). *Forstarchiv*, 71(6): 250-256. 2000.
- BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region. *Geoderma*, v. 89, n. 3/4, p. 273-286. 1999.
- BERNOUX, M. Conteúdo de carbono dos solos da Amazônia ocidental e mudanças decorrentes da conversão da floresta em pastagens. 98 p. *Tese (Doutorado)* – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1998.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass estimation for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, v. 35, p. 881-902. 1989.
- CHAPIN, F. S., III, P. A. MATSON, AND H. A. MOONEY. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer, New York. 2002.
- DELLITI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: *Simpósio sobre Mata Ciliar*, 1989, São Paulo. p. 88-98. São Paulo: Fundação Cargil, Secretaria de Meio Ambiente, Instituto de Botânica. 1989.
- DIXON, R.K. SAF's y gases invernadores. *Agroforesteria en las Américas*, Turrialba, San Jose, v.2, n.7, p.22-27. 1995.
- FISCHER, A.;VASSEUR, L. Smallholder perceptions of agroforestry projects in Panama. *Agroforestry Systems*, Hlland, v.54,p.103-113. 2002.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARROUY, M.C.L. & FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa. Agropecuária. Brasileira.*, 35:157-170. 2000.

GAMA-RODRIGUES, A.C.D.; BARROS, N.F.D.; GAMA-RODRIGUES, E.F.D.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; MARCIANO, C.R.; e CARNEIRO, J.G.D.A. Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 365p. 2006.

GÖTSCH, E. Break-trough in agriculture. Rio de Janeiro: AS-PTA, 22p. 1995.

HAIRIAH, K.; SITOMPULL, S.M.; NOORDWIJK, M.VAN.; PALM, C. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. In: Noordwijk, M. van.; Williams, S. and Verbist, B. (Ed.). *Towards integrated natural resource management in forest margins of the humid tropics: local action and global concerns*. ICRAF. ABS Lecture Note 4 A, Bogoi, 49pp. 2001.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. Manaus, *Acta Amazonica*, Manaus, v.28, n.2,p.153-165. 1998.

HOMMA, A. K. O. O desenvolvimento da agroindústria no Estado do Pará.2002. [on line] disponível na internet no endereço <http://www.mdic.gov.br/tecnologia/revistas/artigos/PA/alfredohomma.PDF>. Acessado em 18/08/2009

HOMMA, A.K.O. Cupuaçu: potencialidades e mercado, algumas especulações. In: Workshop Sobre as Culturas de Cupuaçu e Pupunha. 1996. Manaus. Anais. Manaus: Embrapa-CPAA, p.85-95. (Embrapa-CPAA. Documento, 6). 1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change*. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 25 de abril de 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).Land use, Land-use Change, and Forestry. 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 19 de setembro de 2009.

INTERNATIONAL CENTRE FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY (ICRAF). Agroforestry systems inventory (AFSI) project coordinators's report for the period September 1982 – June 1983. 1983. Disponível em: <www.worldagroforestrycentre.org>. Acesso em: 19 de janeiro de 2008.

INTERNATIONAL CENTRE FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY (ICRAF).Agroforestry defined. In: International center for research in agroforestry. 2004. Disponível em: <<http://www.ciesin.org/ic/icraf>> Acesso em: 15 de julho de 2009.

KALACSKA, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; CALVO-ALVARADO J.C.; QUESADA, M.; RIVARD, B.; JANZEN, D.H. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v. 200. P. 227-247. 2004.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. DE O.; CAMARÃO, A.; SÁ, T. D. DE A.; DENICH, M.; VIELHAUER, K. Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias. In: Gama-Rodrigues, A. C. et al. (Org.). CBSAF. VI. 2006. Anais... Campos dos Goytacazes: UENF, p. 119-138. 2006.

KETTERINGS, Q.M.; COE, R.; NOORDWIJK, M. VAN.; AMBAGAU, Y.; PALM, C.A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146: 199-209. 2001.

LEITÃO FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; CESAR, O.; TIMONI, J.L.; RUEDA, J.J. 1993. *Ecologia da mata atlântica em Cubatão, SP*. EDUNESP/EDUNICAMP, São Paulo. 86pp. 1998.

LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, v. 43, n. 3, p. 259 – 64. 1987.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: CBSAF. VI. 2006. Anais... Campos dos Goytacazes:UENF, p.87-100. 2006.

LUIZÃO, F.J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 19(4): 407-417. 1989.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. Produção e decomposição de liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Limnol. Bras.* 1: 575-600. 1986.

MAGAÑA, M. S. Cuantificación de carbono almacenado en la biomasa aérea y el mantillo em SAFs de café em SE. Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*. 11:41-42. 2004.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 22 (3): 405-412. 1999.

MARTIUS, C., HOFER, H., GARCIA, M.V.B., ROMBKE, J. & HANAGARTH, W. Litterfall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutr. Cycl. Agroecos.* 68:137-154. 2004.

MCGINLEY, K.; FINEGAN, B. Evaluation for sustainable forest management. Turrialba, CR: CIFOR: CATIE. 2002.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. New York, *Agroforestry Systems*. v.61, p.281-295. 2004.

NAIR, P. K. R.; GORDON, A. M.; MOSQUERA-LOSADA, M. R.. Agroforestry, in Jorgensen, S.E., Fath, B.D. (Eds): *Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology*, Vol. 1, Elsevier, Oxford, U.K, pp. 101-110. 2008.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D.. Agroforestry as strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Vol. 172, pp 10-23. 2009

NAIR, P.K.R. e NAIR V.D.. Carbon storage in North American agroforestry systems. In: J. Kimble, L.S. Heath, R.A. Birdsey and R. Lal (eds). *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. p. 333–346. 2003.

OCDE, Opening markets for environmental goods and services. *Policy Brief*, September 2005. OCDE, Paris. 2005.

OLIVEIRA, R.E. Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba-SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes. *Dissertação de Mestrado*. ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo. 85pp. 1997.

OSTERROOHT, von M. Manejo de SAF's. *Agroecologia Hoje*, 15: 12-13. 2002.

PALM, C.; TOMICH, T.; van NOORDWIJK, M.; VOSTI, S.; GOCKOWSKI, J.; ALEGRE, J. e VERCHOT, L. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). *Environ., Develop. Sustainab.*, v6:145-162. 2004.

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R. ONG, C.K.: Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, Holland, v 38, p. 3–50. 1998.

RODRIGUES, T. F.. Zoneamento agroecológico de Tomé-Açu, PA. Belém, Embrapa, 81p. 2001.

RODRIGUES, W.A.; KLINGE, H.; FITTKAU, E.J. Estrutura e funcionamento de um ecossistema florestal amazônico de terra firme junto à *Reserva Florestal Walter Egler*, município de Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil. *Acta Biol. Par.*, 29(1, 2, 3, 4): 219-243. 2000.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais -- 1. ed. -- Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF). Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 81 p. 2009.

SANTOS, G. A.; GAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 491p. 1999.

SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *Acta Amazonica*. v.34, n.1, p.1-8, 2004.

SMITH, N.; DUBOIS, J.; CURRENT, E.; LUTZ, E.; CLEMENT, C.. Experiências Agroflorestais na Amazônia Brasileira: Restrições e Oportunidades. *Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil*, Brasília. 146pp. 1998.

SONGWE, N.C., FASEHUN, F.E., OKALI, D.U.U. Litterfall and productivity in a tropical rain forest, southern Bankundu forest, Cameroon. *Journal Tropical Ecology*. 4:25-37. 1988.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. *Cerne*, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113. 2001.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry. New York, John Wiley & Sons, 496p. 1994.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166:858-871. 2001.

TAPIA-CORAL, S. C., LUIZÃO, F., WANDELLI, E., FERNANDES, E. C. M. Carbon and nutrient stocks of the litter layer in Central Amazonian agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 65:33-42. 2005.

TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B.; NEPSTAD, D.C.; MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.9, p.515-528. 1995.

VASCONCELOS, S. S.; ZARIN, D. J.; ARAUJO, M. M.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CARVALHO, C. J. R.; STAUDHAMMER, C. L.; OLIVEIRA, F. A.. Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. 24: 1-12.2008.

VERGARA, N. T. Sistemas agroflorestales: una cartilla. *Unasyuva*, v. 37, n.147. 1985. [on line] Disponível em: <[http://www.fao.org/docrep/r1340s/r1340s05.htm#sistemas agroflorestales: una cartilla....](http://www.fao.org/docrep/r1340s/r1340s05.htm#sistemas_agroflorestales:_una_cartilla....)>. Acesso em 18 de novembro de 2007.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A. FRANKEN, W. K. FONSECA, R. C. B. Produção de Serapilheira e Ciclagem de Nutrientes de Uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. Sociedade Brasileira de Investigações Florestais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.793-800. 2004.

WERNECK, M. S., PEDRALLI, G. & GIESEKE, L. F. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecidual com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica de Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Botânica*. v. 24, p.195-198. 2001.

WIEDER, K.; WRIGHT, J.S. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado island, Panama. *Ecology*, 76(6): 1971-1979. 1995.

WODA, C. Indicadores para serviços ambientais em sistemas agroflorestais: um estudo de caso no nordeste paraense. *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Editor técnico, Roberto Porro. Brasília, DF. 825p. 2009.

YAMADA, M. Japanese immigrant agroforestry in the Brazilian Amazon: A case study of sustainable rural development in the tropics. University of Florida, 821p. (Ph.D. Thesis). 1999.

YOUNG, A. Agroforestry for soil conservation. 4.ed. Wallingford, CAB International, 276 p. 1994.

ZIMMERMANN, S.; BRAUN, S.; CONEDERA, M.; BLASER, P. Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 161: 289-302. 2002.