



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**SILVIO ROBERTO MIRANDA DOS SANTOS**

**INTERAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO NA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM-PARÁ  
2016**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**SILVIO ROBERTO MIRANDA DOS SANTOS**

**INTERAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO NA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração: Agroecossistemas da Amazônia, para a obtenção do título de Doutor.**

**Orientador Prof<sup>o</sup> Dr. OSVALDO RYOHEI KATO  
Co-Orientador Prof<sup>o</sup> Dr. MANOEL MALHEIROS TOURINHO**

**BELÉM-PARÁ  
2016**

---

Santos, Silvio Roberto Miranda dos

Interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental / Silvio Roberto Miranda dos Santos. - Belém, 2016.

85 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) - Universidade Federal Rural da Amazônia / Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Orientador: Osvaldo Ryohei Kato.

1. Modelagem matemática 2. Modelagem computacional 3. Relações sistêmicas 4. Modelo presa - predador 5. Biomassa 6. Amazônia I. Kato, Osvaldo Ryohei, (orient.) II. Título.

---

CDD – 631.417098115



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



SILVIO ROBERTO MIRANDA DOS SANTOS

INTERAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO NA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração: Agroecossistemas da Amazônia, para a obtenção do Título de **Doutor**.

Aprovado em, 30 de junho de 2016

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Osvaldo Ryohei Kato - Orientador  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

---

Prof. Dr. Gideão Costa dos Santos - 1º Examinador  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO - IFPA

---

Dra. Débora Veiga de Aragão - 2º Examinadora  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

---

Profa. Dra. Márcia Alessandra Brito de Aviz dos Santos - 3º Examinadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

---

Prof. Dr. José Felipe de Almeida - 4º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

À **DEUS**, Criador e Senhor  
de tudo.....

**Agradeço**

*“Sabedoria é a arte de subir ao alto de si  
mesmo”*

*(Autor Desconhecido)*

*“Uma **pesquisa** nunca tem um ponto final,  
pois o **conhecimento** é infinito. A gente a  
finaliza por motivos financeiros,  
contratuais, formais, temporais e até,  
mesmo, pessoais”.*

*(Silvio R.M. Santos)*

*A meu pai Damião (in memoria)  
A minha mãe Izabel e aos meus irmãos  
A Concy, minha esposa  
A Silvia Renata, minha querida filha  
e a Marie, amizade fidedigna  
**Dedico***

## AGRADECIMENTOS

- Agradeço a **DEUS** acima de tudo;
- A Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA;
- A Coordenadoria do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias (PPGDCA/UFRA);
- Ao Projeto Várzea/UFRA, pelo apoio acadêmico, pessoal e logístico;
- Ao Prof<sup>o</sup>. Osvaldo Ryohei Kato e ao Prof<sup>o</sup>. Manoel Malheiros Tourinho, pela orientação, amizade, conselhos e muita paciência;
- Agradeço a confiança e a colaboração dos proprietários das áreas onde foram realizados os estudos: i) Cametá: Sr. Raimundo Lousada, Sr. Wilson Pinto, Sra. Maria Amélia, Sr. Zito e Sr. Felipe, e suas famílias e ii) Tomé-açú: Sr. Michinori Konagano e Sr. José Maria Mendes, e suas famílias;
- Ao Sr. Raimundo Ribeiro, Agrônomo, pela amizade e parceria na pesquisa em Cametá;
- Ao Sr. Zito e ao Sr. Pedrinho (mateiros) pelo apoio à pesquisa de campo em Cametá;
- Ao Ewerton Sena aluno de Engenharia Florestal da UEPA e a Gisele Pompeu aluna do curso de Doutorado da UFRA, pela amizade e parceria na pesquisa em Tomé-Açu;
- Ao Sr. Edson e ao Sr. Bahia (mateiro), funcionários da Fazenda Konagano, pelo apoio na pesquisa de campo em Tomé-Açu;
- A todos os Professores do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias;
- Aos Professores José Felipe de Almeida e Otávio Chase, ICIBE/UFRA, pelas dicas no uso das Equações de Lotka-Volterra (Modelo Presa-Predador);
- Em especial a Beatriz Pereira, aluna de Agronomia da UFRA, pela amizade e inestimável contribuição na aplicação do Modelo Presa-Predador e programa MATLAB;
- As secretárias da Pós-graduação Shirle Monteiro, Mylena Rodrigues e Gracy Monteiro, pela força e por facilitar a vida complicada dos doutorandos;
- Aos colegas de turma de Doutorado em Ciências Agrárias/2012: Bruno Wendell, Carlos Renato, Elizangela Beckmann, Fabio dos Reis, Félix Lelis, Francimary Carneiro, Klewton Adriano, Márcia Nágem Krag, Neire Maria, Oberdan Müller, Rosianne Pereira, Taciane Almeida e Tâmara Thaiz, pelo convívio e incentivo;
- As colegas de turma de Doutorado em Ciências Agrárias/2010: Gizele Sousa, Laura Dias, Valéria Homci e Rosigreide Silva, pela amizade e incentivo;
- A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso desse Trabalho, ou melhor, desse **Sonho**. *Valeu Mesmo. Fui!!!!!!!!!!!!*

## SUMÁRIO

	pag.
<b>RESUMO</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA</b> .....	14
<b>3. OBJETIVO</b> .....	18
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>5. TEORIA GERAL DOS SISTEMAS (TGS)</b> .....	23
5.1. SISTEMAS MATEMÁTICOS ELEMENTARES (SME).....	25
5.2. EQUAÇÕES DIFERENCIAIS SIMULTÂNEAS (EDS).....	27
5.3. EQUAÇÕES DE LOTKA-VOLTERRA - MODELO PRESA-PREDADOR.....	28
<b>6. METODOLOGIA</b> .....	32
6.1. ÁREAS DOS ESTUDOS.....	32
6.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DOS ESTUDOS.....	33
6.2.1. Município de Cametá.....	33
6.2.2. Município de Tomé-Açu.....	34
6.3. MÉTODOS.....	35
6.3.1. Coleta de dados.....	35
6.3.2. Composição Florística e Estrutura da vegetação.....	37
6.3.3. Finalidades das espécies.....	38
6.3.4. Biomassa Seca (BS) acima do solo.....	38
6.3.5. Estoque de Carbono (EC).....	39
6.3.6. Matriz de Correlação.....	40
6.3.7. O Modelo Presa-Predador de Lotka-Volterra.....	40
6.3.8. Comparativo: SAF Tradicional e SAF Comercial.....	42
<b>7. RESULTADOS</b> .....	43
7.1. SAF TRADICIONAIS - CULTIVADOS EM CAMETÁ (SAF-CM).....	43
7.1.1. Composição florística.....	43
7.1.2. Finalidades das espécies dos SAF-CM.....	44
7.1.3. Estrutura da vegetação.....	46
7.1.4. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) dos SAF-CM.....	47
7.2. SAF COMERCIAIS - CULTIVADOS EM TOMÉ-AÇÚ (SAF-TA).....	49
7.2.1. Composição florística.....	49

<b>7.2.2. Finalidades das espécies dos SAF-TA.....</b>	<b>51</b>
<b>7.2.3. Estrutura da vegetação.....</b>	<b>52</b>
<b>7.2.4. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) dos SAF-TA.....</b>	<b>53</b>
7.3. CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS NOS SAF-CM / SAF-TA.....	55
7.4. FLORESTAS DE VÁRZEA (FVA) E DE TERRA FIRME (FTF) E OS SAF.....	56
7.5. ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM SAF.....	57
<b>7.5.1. Interação e Ponto de Equilíbrio - SAF-CM.....</b>	<b>57</b>
<b>7.5.2. Interação e Ponto de Equilíbrio - SAF-TA.....</b>	<b>59</b>
<b>8. DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
8.1. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO.....	61
8.2. FINALIDADES DAS ESPÉCIES DOS SAF.....	63
8.3. ESTOQUE DE CARBONO (EC) NA BIOMASSA SECA (BS).....	64
8.4. ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM SAF.....	66
<b>9. CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
<b>11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE TABELAS

	pag.
Tabela 1. Equações utilizadas na estimativa de Biomassa Seca (BS) acima do solo na vegetação (kg/indivíduo) em sistemas agroflorestais (SAF) e fragmento de floresta nativa de várzea (FVA) e de terra firme (FTF), nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado do Pará. Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e diâmetro a altura do peito (DAP). Respectivamente, as equações 1 e 2 (BS-folhas e BS-estipes de açai), as equações 3 e 4 (BS-folhas e BS-madeira de cacau) e as equações 5 e 6 (BS-folhas e BS-madeira de árvores).....	39
Tabela 2. Composição florística de quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Abundância (N), médias e erro padrão da média do diâmetro a altura do peito (DAP) ( $M_1 \pm e$ ) e da altura total (H) ( $M_2 \pm e$ ) e dos SAF ( $M_3$ ).....	43
Tabela 3. Espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Ocorrência: presença (x) e ausência (-). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrair fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha ou carvão (E); artesanato (L) e diverso (D).....	44
Tabela 4. Abundância (N), área basal (G), densidade relativa (Dr), dominância relativa (Dor) e índice de valor de cobertura (IVC) das espécies mais importantes (baseado no IVC), encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará.....	47
Tabela 5. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo, encontrado em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Média ( $M$ ) e erro padrão da média ( $e$ ).....	48
Tabela 6. Composição florística de quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Abundância (N), médias e erro padrão da média do diâmetro a altura do peito (DAP) ( $M_1 \pm e$ ) e da altura total (H) ( $M_2 \pm e$ ) e dos SAF ( $M_3$ ).....	50
Tabela 7. Espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Ocorrência: presença (x) e ausência (-). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrair fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha ou carvão (E); artesanato (L) e diverso (D).....	50
Tabela 8. Abundância (N), área basal (G), densidade relativa (Dr), dominância relativa (Dor) e índice de valor de cobertura (IVC) das espécies mais importantes (baseado no IVC), encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará.....	53
Tabela 9. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo, encontrado em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Médias ( $M$ ) e erro padrão da média ( $e$ ).....	54
Tabela 10. Resumo comparativo de médias de Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de sistemas agroflorestais (SAF) estudados nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado do Pará, com as médias de EC na BS de outros estudos realizados em SAF, florestas nativas de várzea (FVA) e de terra firme (FTF), quintais agroflorestais (QAF), capoeiras (CAP), capoeiras enriquecidas (CAE), consórcios de árvores (CAR), monocultivo de árvores (MCA) e plantio de árvores para enriquecimento (PAE), em regiões adjacentes a área de estudo e na Amazônia. Métodos de determinação de biomassa na vegetação (MDBV).....	65

## LISTA DE FIGURAS

		pag.
Figura 1.	Exemplos de elementos complexos para demonstrar o conceito de sistema em termos matemáticos elementares.....	26
Figura 2.	Modelo de oscilação simples: Presa-Predador de Lotka-Volterra, mostrando à presa (Q) consumida pelo predador (H). (a) Modelo; (b) resultados da simulação; (c) a mesma simulação com as duas populações.....	31
Figura 3.	Áreas dos estudos nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado do Pará.....	32
Figura 4.	Modelo Presa-Predador no contexto da interação da assimilação de Carbono por plantas cultivadas em sistemas agroflorestais (SAF) na Amazônia Oriental.....	41
Figura 5.	Categorias de uso de espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Cametá, Pará, considerando a perspectiva uso dentro das propriedades com SAF.....	45
Figura 6	Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de espécies florestais cultivadas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Cametá, Pará.....	49
Figura 7.	Categorias de uso de espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Tomé-Açú, Pará, considerando a perspectiva de uso dentro das propriedades com SAF....	51
Figura 8.	Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de espécies florestais cultivadas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Tomé-Açú, Pará.....	54
Figura 9	Análise de Correlação de variáveis quantitativas e qualitativas de espécies cultivadas em sistemas agroflorestais (SAF), estudados nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado do Pará. Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), sendo: $r$ Forte (0,70 – 0,89) e $r$ Muito Forte (0,90 – 0,99). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrain fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha e carvão (E); artesanato (L) e diverso (D).....	56
Figura 10	Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Cametá, Para. Utilizando as Equações Simultâneas de Lotka-Volterra (Modelo Presa-Predador).....	58
Figura 11	Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Tomé-Açú, Para. Utilizando as Equações Simultâneas de Lotka-Volterra (Modelo Presa-Predador).....	60
Figura 12	Categorias de uso de espécies encontradas em sistemas agroflorestais (SAF) nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado de Pará.....	63

## INTERAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO NA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Este estudo apresenta os resultados da avaliação da interação e ponto de equilíbrio entre fatores bióticos e abióticos conjugados na assimilação de Carbono entre dois tipos de sistemas agroflorestais (SAF): um cultivado em Cametá-PA (SAF-CM), classificado como tradicional e outro em Tomé-Açú-PA (SAF-TA), classificado como comercial. Utilizou-se no estudo oito parcelas amostrais de 50 m x 50 m (0,25 ha), quatro em cada área, divididas em dez subparcelas de 10 m x 25 m, onde foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e aferida à altura total (H) de todos os indivíduos ( $n_i$ ) com DAP  $\geq$  5 cm. Foram inventariados nos SAF-CM um total de 9.932  $n_i$ /ha, média de 2.458  $n_i$ /ha, pertencentes a 10 famílias, 13 gêneros e 13 espécies e nos SAF-TA um total de 4.996  $n_i$ /ha, média de 1.249  $n_i$ /ha, pertencentes a 9 famílias, 13 gêneros e 13 espécies. *Euterpe oleracea* e *Theobroma cacao*, foram às espécies mais importantes nas duas áreas deste estudo, outras espécies, também, se destacaram: *Virola surinamensis*, *Hevea brasiliensis* e *Carapa guianensis*, nos SAF-CM, e *Spondia lutea*, *Bertholletia excelsa* e *Swietenia macrophylla*, nos SAF-TA; com resultados ratificados pelas análises florística e estrutural. O uso como lenha e carvão (energia) foi mais frequente (73,7%) nos SAF-CM, enquanto, o uso na construção em geral (69,2%) nos SAF-TA. Os altos percentuais de espécies de consumo doméstico (65%) no SAF-CM e de espécies comerciais (93%) nos SAF-TA, revelam o grande contraste entre o SAF tradicional focado na biodiversidade e o SAF comercial focado na produção/venda. Tanto nos SAF-CM quanto nos SAF-TA o estoque de Carbono (EC) contido na biomassa seca (BS) acima do solo foi maior nas árvores do que no açai (*Euterpe oleracea*) e cacau (*Theobroma cacao*); o manejo adotado nos SAF influencia o EC contido na BS. Nesse sentido os SAF-CM mostraram maior eficiência que os SAF-TA. A modelagem matemática Presa-Predador nas populações de Carbono e de Plantas nos SAF estudados demonstrou que os SAF-CM foram mais interativos e equilibrados que os SAF-TA, pois apresentaram maior número de eventos. O modelo Presa-Predador mostrou aptidão e eficiência na avaliação da interação e do ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (abiótica) e de Plantas (biótica) cultivadas em SAF, ou seja, não é somente a espécie comercial, mas sim a cobertura vegetal compondo o sistema e suas interações internas e externas, com o ambiente em seu entorno (a vegetação, o solo, a água). Outrossim, os resultados apresentados acima ratificam e despontam os SAF como alternativa de produção sustentável, demonstrando a sua capacidade de gerar produtos para consumo doméstico e venda, e ainda, aptidão socioeconômica e ecológica desses importantes agroecossistemas na Amazônia Oriental, dentro de suas particularidades.

**Palavras-chaves:** Modelagem Matemática e Computacional, Relações Sistêmicas, Modelo Presa-Predador, Biomassa, Amazônia.

## INTERACTION AND BALANCE POINT IN CARBON ASSIMILATION IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN EASTERN AMAZON

### ABSTRACT

This study presents the results of the evaluation of the interaction and balance between biotic and abiotic factors combined in carbon assimilation between two types of agroforestry systems (SAF): a cultivated in Cametá-PA (SAF-CM), classified as traditional and other in Tome-Acu-PA (SAF-TA), classified as commercial. Was used in the study eight sample plots of 50 m x 50 m (0.25 ha), four in each area, divided into ten sub-plots of 10 m x 25 m, which measured the diameter at breast height (DBH) and measured the total height (H) of all individuals ( $n_i$ ) with DBH  $\geq$  5 cm. Were inventoried in the SAF-CM a total of 9,932  $n_i$ /ha, average of 2,458  $n_i$ /ha, belonging to 10 families, 13 genera and 13 species and SAF-TA a total of 4,996  $n_i$ /ha average of 1,249  $n_i$ /ha, belonging to 9 families, 13 genera and 13 species. *Euterpe oleracea* and *Theobroma cacao*, were the most important species in the two areas of this study, other species also stood out: *Virola surinamensis*, *Hevea brasiliensis* and *Carapa guianensis* in SAF-CM, and *Spondia lutea*, *Bertholletia excelsa* and *Swietenia macrophylla* in SAF-TA; with results ratified by the floristic and structural analysis. The fuel wood and coal (energy) was more frequent (73.7%) in SAF-CM, while the use in general construction (69.2%) in SAF-TA. The high percentage of species of domestic consumption (65%) in SAF-CM and commercial species (93%) in SAF-TA reveal the stark contrast between the traditional SAF focused on biodiversity and commercial SAF focused on production/sale. Both SAF-CM as the SAF-TA stock of carbon (EC) contained in the dry biomass (BS) above ground level was higher in the trees than in açai (*Euterpe oleracea*) and cocoa (*Theobroma cacao*); management adopted in SAF influence the EC contained in the BS. In this sense the SAF-CM showed greater efficiency than the SAF-TA. Mathematical modeling prey-predator populations in Carbon and plants in the study showed that SAF SAF-CM were more interactive and balanced that SAF-TA, because a higher number of events. The predator-prey model showed aptitude and efficiency in appraisal interaction and breakeven in carbon assimilation among populations Carbon (abiotic) and plants (biotic) grown in SAF, ie, it is not only commercial species, but vegetation composing the system and its internal and external interactions with the environment in their surroundings (vegetation, soil, water). Furthermore, the results presented above confirm the SAF and emerge as an alternative for sustainable production, demonstrating its ability to generate products for domestic consumption and sale, and also socio-economic and ecological suitability of these important agricultural ecosystems in the eastern Amazon, in its particularities.

**Word-keys:** Mathematical Modeling and Computational, Systemic Relations, Prey-Predator Model, Biomass, Amazon.

## INTERAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO NA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a mídia em geral tem evidenciado as mudanças climáticas globais e seus efeitos, causadas por diversas atividades antrópicas. Tais mudanças ratificadas pelo aumento na frequência e intensidade de fenômenos naturais, como secas, incêndios florestais, tempestades, degelo nos polos, inundações, etc., tudo consequência de atividades antrópicas instáveis e intensivas, observadas com agravos, principalmente nas últimas décadas.

Nesse contexto alguns fatores são vistos e/ou apontados como os que mais favorecem essas mudanças, dentre os quais a queima de combustíveis fósseis, as atividades industriais, as queimadas, os desmatamentos, a pecuária extensiva e agricultura itinerante de corte e queima, despontam como mais danosos e maiores emissores dos gases de efeito estufa (GEE) (Santos *et al*, 2004). Entre esses o gás carbônico ou dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), são considerados os mais importantes, cuja concentração na atmosfera vem aumentando. O  $\text{CO}_2$  é o que mais contribui para o aquecimento, uma vez que apresenta maior teor na atmosfera e representa cerca de 55% do total das emissões mundiais de GEE. Estima-se que a permanência do  $\text{CO}_2$  na atmosfera seja no mínimo de um século. Contudo, o  $\text{CH}_4$ , o  $\text{N}_2\text{O}$  e o clorofluorcarboneto (CFC), possuem potencial de aquecimento muito maior ao do  $\text{CO}_2$ , apesar da concentração e emissão à atmosfera serem menores (Faris, 2009).

Os GEE na atmosfera aumentam e potencializam o chamado “buraco de ozônio” e consequente aquecimento global, tem afetado de forma direta e perceptível o clima em todo planeta. Não parece haver mais nenhuma dúvida de que o homem com suas instituições e tecnologias está diante de uma grande ameaça e também de um grande desafio. Como reverter essa tendência e como promover o desenvolvimento limpo diante de um cenário tão sombrio.

Diante disso há necessidade urgente de mudança nos atuais paradigmas de consumo, principalmente nos países mais industrializados e a definição de uma nova matriz tecnológica e energética, diferente e independente da que existe hoje, baseada quase que exclusivamente na queima de combustíveis fósseis, ou como a que temos no Brasil, centrada no represamento de rios formando grande lagos e reservatórios, somando áreas cada vez maiores, para geração de energia, mas, com grandes perdas ambientais, biodiversidade e agravos socioeconômicos, ou ainda, nas inadequadas formas de uso e de manejo dos recursos naturais, contrapondo as práticas sustentáveis como condição necessária para o desenvolvimento pleno e equilibrado.

Pesquisas feitas pela Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), por exemplo, ratificam que práticas como desmatamento, queimadas, agricultura itinerante de corte e queima, estão entre as atividades mais danosas ao meio ambiente, pois, aumentam a emissão de GEE e outras substâncias poluentes, reduzindo a capacidade natural de um ecossistema no fluxo de Carbono (Batistella *et al.*, 2009).

No âmbito das atividades agrárias uma medida de amplo alcance visando amenizar as implicações da emissão de GEE, é o uso de agroecossistemas compostos de espécies vegetais (cultivares agrícolas, frutíferas e florestais) de elevada capacidade de absorção de CO<sub>2</sub> e adsorção de Carbono, via fotossíntese, processo conhecido popularmente como “Sequestro de Carbono” ou como “Descarbonização” termo recentemente utilizado na Conferência Mundial do Clima, realizada em Paris no final de 2015.

Agroecossistema pode ser entendido como a capacidade de um ecossistema antrópico de manter a produção no tempo e possui quatro propriedades fundamentais: a) *produtividade*, a produção por unidade de recurso numa área, b) *estabilidade*, a manutenção da produtividade mesmo com eventos súbitos, c) *sustentabilidade*, a capacidade de um agroecossistema manter sua produtividade quando exposta a distúrbios e d) *equidade*, a distribuição da produtividade do agroecossistema (Conway, 1987).

## **2. JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA**

O desenvolvimento do parque industrial brasileiro no final da década de 1950 e o modelo político do início da década de 1960 impuseram ao Estado brasileiro uma mudança de plano em relação ao desenvolvimento da economia do país e em particular o da Amazônia. Até então, a economia da região alicerçava-se no extrativismo vegetal como o da castanha do Pará ou anteriormente o da borracha de seringueira. Assim, na segunda metade da década de 1960, iniciou-se uma nova fase na economia regional, onde a estratégia de “valorização da Amazônia” que inspirava os planos de desenvolvimento para a região deu lugar a uma nova estratégia a de “integração da Amazônia” à economia nacional e internacional. Nessa política, as formas tradicionais de exploração econômica da região baseada no extrativismo vegetal e agricultura de subsistência, sofreram grandes e profundas mudanças induzidas principalmente pela política de ocupação, com abertura de grandes eixos rodoviários como Transamazônica e Belém-Brasília e pela política de incentivos fiscais, baseada na doação de terras públicas, na agropecuária e assentamentos agrícolas com poucos critérios técnicos e preceitos ambientais e sociais. Essa forma de ocupação e exploração teve seu ápice na década de 1970.

Contudo, essa mesma política de pretensa inserção da Amazônia à economia global, baseada principalmente na exploração de seus recursos naturais em grande escala, incentivou e iniciou a discussão sobre qual seria a melhor forma de uso da terra e seus recursos naturais, com vistas à sustentabilidade não somente de seus ecossistemas naturais, mas, também, suas externalidades econômica e social, focada num desenvolvimento de menor impacto ambiental tanto em escala local quanto regional. O reconhecimento de que a diversidade de recursos, o potencial hídrico-energético e seus impactos e, sobretudo, as suas aptidões produtivas seriam fundamentais ao desenvolvimento, constituiu-se num avanço, fruto dessa discussão.

Em termos agrícolas, as atividades antrópicas, como aumento da pressão demográfica e o uso intensivo da terra para cultivo, tem causado a queda progressiva da produtividade e motivando a agricultura itinerante de subsistência, que por sua vez utiliza como prática de manejo o corte e queima da vegetação, tal procedimento se caracteriza pelo avanço sobre novas áreas de mata nativa ou em recuperação para continuar produzindo de modo intensivo o solo com baixo nível tecnológico. As consequências ambientais desse sistema é a perda de biodiversidade, Carbono da biomassa da vegetação e do solo, com consequente liberação de CO<sub>2</sub> à atmosfera impactando negativamente o clima global (Kato, 2009).

Contrastando com o sistema de cultivo itinerante baseado no corte e na queima da vegetação e abertura de novas áreas com expansão da fronteira agrícola, existe a agricultura permanente e diversificada dos consórcios e das agroflorestas, como também de subsistência, praticadas há séculos por povos tradicionais, indígenas e nativos, se apresentando com boas perspectivas de desenvolvimento sustentável na região amazônica (Luizão *et al.*, 2008).

Na literatura especializada observa-se que os verdadeiros e significativos avanços relacionados à formulação de teorias do Desenvolvimento Sustentável ocorreram a partir da divulgação do Relatório Brundtland, em CMMAD (1991), que o definiu como:

*“Aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”. A partir daí os conceitos passaram a incorporar uma nova dimensão e ótica baseada em valores como a solidariedade, a responsabilidade e a ética, então: “O desenvolvimento sustentável é mais que crescimento. Ele exige mudança no teor do crescimento a fim de torná-lo menos intensivo e dispendioso de matérias-primas e de energia, e mais equitativo em seus impactos”.*

Dessa forma a utilização de agroecossistemas que funcionem como uma espécie de “fossa sumidoura” de CO<sub>2</sub> deveria ser admitida como alternativa para absorver e adsorver Carbono (Tourinho, 2008). Entre as inúmeras alternativas desses ecossistemas antrópicos um dos mais promissores é conhecido como sistema agroflorestal (SAF), pois cumpre requisitos agrícolas, ambientais e socioeconômicos, cientificamente comprovados (Santos *et al.*, 2004).

A conservação dos recursos naturais renováveis na Amazônia é imprescindível não somente para a proteção das espécies da flora e da fauna conhecidas, algumas eventualmente em perigo de extinção, mas, sobretudo, para proteger os recursos intangíveis como a cultura e a sabedoria do povo amazônico. A conservação ou preservação desse verdadeiro patrimônio natural-histórico-cultural passa pela educação. É imperativo saber como usar esses recursos mantendo o equilíbrio necessário entre a produção e meio ambiente. Tornar prática comum o reaproveitamento de áreas utilizadas, potencializando o uso de recursos principalmente solo e água, visando frear o avanço sobre áreas naturais, substituindo sistemas produtivos itinerantes baseados na prática de corte e queima por sistemas de cultivos permanentes e perenes e de práticas sustentáveis como os agroecossistemas (Alvim, 1977).

Enquanto, que a determinação de biomassa de ecossistemas naturais e/ou antrópicos é imprescindível aos estudos de Carbono, efeitos de desmatamentos e plantios (florestamento e reflorestamento) e, também, representa um importante indicador para monitorar e controlar a exportação de nutriente da vegetação e do solo, para balizar iniciativas que visam minimizar os impactos ambientais gerados após atividades antrópicas que potencializam a geração dos GEE (Higuchi *et al.*, 1998; Ketterings *et al.*, 2001).

Análises prévias do balanço do acúmulo de biomassa e do fluxo e estoque de Carbono em ecossistemas florestais na Amazônia demonstraram ser necessários cerca de 90 anos para uma capoeira de até 20 anos reabsorvesse, via fotossíntese, cerca de 180 milhões de toneladas de Carbono liberado à atmosfera (Salomão *et al.*, 1998).

Conforme escreve sobre a floresta Amazônica, Alvim (1973):

*“Enquanto a planta está crescendo, produz mais oxigênio do que consome. Então ela está efetivamente enriquecendo o ambiente de oxigênio. Acontece que uma plantação natural não pode crescer indefinidamente. Uma floresta, como por exemplo, a amazônica, não está crescendo mais - já chegou ao ponto máximo de desenvolvimento que poderia alcançar, num estado que chamamos de clímax. (...) Assim, a massa vegetal que ocupa uma determinada área da Amazônia permanece constante através dos anos. Não está havendo produção de massa vegetal. E se não está havendo produção de massa vegetal é porque não está havendo maior produção de oxigênio do que o consumo. Numa vegetação nesse estado, tudo o que a planta produz, em oxigênio, durante o dia, consome durante a noite”.*

Nesse contexto, o SAF é admitido como uma das formas de cultivo que mais favorece o desenvolvimento, a resiliência e a estabilidade, junto ao manejo de florestas, florestamentos e reflorestamentos. Uma alternativa viável econômica e ambientalmente, capaz de contribuir na produção e renda, conservar a biodiversidade, fixar Carbono e na redução do efeito estufa (Smith *et al.*, 1998). O SAF entre os sistemas de uso da terra seria o que têm o maior ativo de biomassa e com manejo adequado é capaz de tornar líquido esse ativo (Osterrooht, 2002).

Dentre diversas definições os SAF têm sido vistos como modelos e tecnologias de uso da terra onde se combinam espécies arbóreas a arbustivas, cultivos agrícolas e/ou pastagens, em função do tempo e espaço, visando aumentar a produção de forma sustentada (Fassbender, 1993). Também, são vistos como uma forma de ajudar a frear o desmatamento, por reduzir a predominância do ciclo de agricultura migratória de corte e queima e da pecuária extensiva praticadas na Amazônia, sendo opção para gerar produção e renda significativa numa área relativamente pequena (Smith *et al.*, 1998).

Os SAF em comparação aos sistemas convencionais de uso da terra apresentam maior diversidade, pois, permitem a coexistência em combinação de espécies arbóreas com plantas frutíferas e/ou animais, simultaneamente ou sequencialmente na mesma área, são vistos como uma alternativa promissora e viável para pequenas propriedades, podendo minorar a baixa produtividade, a carência de alimentos e a degradação ambiental (Santos, 2002). Quando bem manejado o SAF assegura o sortimento contínuo de produtos e serviços úteis às propriedades e comunidades, ao autoconsumo e para a comercialização (Dubois, 1996).

Segundo Homma *et al.* (1995), os SAF promovem a sustentabilidade econômica, produzindo bens de mercado e consumo, razão pela qual haveria uma tendência de reduzir o uso e o avanço em novas áreas de florestas e a migração de produtores, ao mesmo tempo em que permitem aumento da renda. Podem ser, ainda, um importante instrumento para alcançar objetivos socioeconômicos, fixando o produtor em sua terra, reduzindo o êxodo a expansão da fronteira agrícola e melhoria da qualidade de vida, sobretudo na Amazônia (Arima *et al.*, 1998; Dias *et al.*, 2015). Além, disso os SAF constituem-se numa das grandes alternativas de sistemas assimiladores de Carbono na biomassa vegetal e no solo (Kato *et al.*, 2006).

Estudos mostram ser crescente o cultivo em SAF na Amazônia, em regra agricultores cultivam espécies nativas com fins comerciais e para subsistência. Esses sistemas de produção podem apresentar várias classificações e/ou tipos (Smith *et al.*, 1998). Na região amazônica, devido à dinâmica da sucessão vegetal e diversidade natural, essa classificação pode ser ainda mais variada e indefinida. Smith *et al.* (1998) classificaram ou dividiram os SAF em tradicional e comercial: a) *SAF Tradicional*, caracteriza-se por apresentar alta diversidade específica e genética, maior uso de regeneração natural, grande número de espécies para subsistência e menor uso de insumos e mão-de-obra, é aquele praticado por índios e comunidades tradicionais e b) *SAF Comercial*, caracteriza-se por apresentar baixa diversidade de espécies, menor uso da regeneração natural, mais espécies para fins de comercialização e maior uso de insumos e mão-de-obra, é aquele praticado sob orientação e assistência técnica.

### 3. OBJETIVO

Avaliar a evolução das populações, a interação e o ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono por espécies cultivadas em SAF em Cametá e Tomé-Açú, Pará, à luz da Teoria Geral dos Sistemas, utilizando o Modelo Presa-Predador de Lotka-Volterra. Ampliando as possibilidades de interações bióticas e abióticas.

#### Objetivos Específicos:

- Identificar a importância socioeconômica e finalidades das espécies cultivadas em SAF estudados nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú;
- Descrever e analisar o estoque de Carbono (EC) na biomassa seca (BS) dos SAF estudados e comparar com outros sistemas de produção na região e na Amazônia;
- Avaliar a interação e o ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono em SAF cultivados em Cametá e em Tomé-Açú;
- Analisar a aptidão do Modelo Presa-Predador na avaliação da assimilação de Carbono nos SAF estudados em Cametá e em Tomé-Açú.

### 4. REVISÃO DE LITERATURA

Nenhum outro assunto sobre a Amazônia foi tão debatido como a forma que seus recursos naturais têm sido explorados e manejados. Contudo, manejar ou administrar envolve não somente as atividades de produção e de tecnologia, mas, o planejamento do uso da terra sem agravos dos diversos recursos naturais (Santos *et al.*, 2004).

É grande a discussão em torno da importância da adequação das atividades produtivas aos princípios de sustentabilidade, que seria a forma pela qual se obteria produção contínua e uniforme sem depredar os meios de produção (bióticos e abióticos) nos ecossistemas naturais e/ou antrópicos, bem como, considerar aptidões e particularidades das comunidades vegetais e humanas envolvidas, adotando práticas e técnicas acuradas de manejo dos recursos naturais (Santos, 2002). Especificamente relacionada com as atividades agrícolas, principal suporte à sustentabilidade, pode-se classificar os sistemas de produção ou agroecossistema em seu ambiente em níveis: global, nacional, regional ou local (Camino & Müller, 1993).

O desenvolvimento econômico mundial sempre esteve baseado na premissa da infinita oferta de recursos naturais e suposição da inquestionável e presunçosa capacidade do homem de manipular e controlar a natureza. Porém, devido aos efeitos do desequilíbrio ambiental atingindo o cotidiano das pessoas e afetando as atividades econômicas, tornou imperiosa a

análise dos ônus ecológicos e sociais do uso inadequado desses recursos. A ideia da natureza vista como fonte de matéria-prima, almoxarifado ou como obstáculo ao progresso, contrapõe-se aos princípios de sustentabilidade, através dos quais se procura definir o uso dos recursos naturais segundo os critérios de permanência, reprodução, resiliência e temporalidade, ou um novo paradigma de desenvolvimento (Santos *et al.*, 2004).

Todas as discussões e iniciativas tomadas a nível mundial a partir do Protocolo de Kioto, em 1997, potencializaram o surgimento de um comércio regular de compra e venda de Carbono, o chamado Crédito do Carbono. Estimativas mostram que esse novo comércio, que trata o Carbono como uma “commodity” deve movimentar cerca de US\$ 5 bilhões de dólares por ano, com preço médio pago ao produtor de US\$ 5.00 t CO<sub>2</sub>/ha/ano. Empresas poluidoras, sobretudo da Europa e dos Estados Unidos comprariam Carbono fixado em outros países via reflorestamentos, plantios consorciados, SAF e outros sistemas produtivos (Rezende, 2003).

O ciclo do Carbono é certamente um dos mais influenciado por atividades antrópicas. A industrialização, a geração de energia via queima de combustíveis fósseis, principalmente nos países desenvolvidos e o desmatamento, as queimadas em florestas, roças e pastagens, sobretudo na faixa tropical, são formas de interferência no ciclo do Carbono gerando aumento na emissão de CO<sub>2</sub>. O grande problema é que a intensificação dessas atividades vem causando acúmulo e potencializando os GEE na atmosfera (IPEF, 2000).

No contexto da redução das emissões de CO<sub>2</sub> as florestas têm sido apontadas como imprescindíveis, pois são capazes de absorver e adsorver grandes quantidades de Carbono. Mesmo tendo importante papel no fluxo de Carbono, as florestas, também, podem contribuir para o aumento desse gás na atmosfera, sobretudo quando usada indevidamente em atividades antrópicas não planejadas como as queimadas e os desmatamentos, pois o Carbono fixado nas árvores e demais componentes da floresta e no solo, podem retornar à atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> (Gibbs *et al.*, 2010). Entretanto, há outras atividades que contribuem para a transferência do Carbono à atmosfera como a queima da madeira como lenha ou para a produção de carvão ou, ainda, no processo de polpação para produzir papel (Barros, 2009).

Um dos aspectos mais relevante nos estudos de Carbono vegetal é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada de forma fidedigna para que haja consistência na quantificação do Carbono nos ecossistemas naturais ou antrópicos (Sanquetta, 2002). O estudo da biomassa e o padrão de mudança no tempo é pré-requisito para entender a função de florestas e outros ecossistemas no ciclo do Carbono (Fan *et al.*, 1998; Brown *et al.*, 1999). Nesse contexto a quantificação de biomassa de um ecossistema é frequentemente apontada como uma das fontes essenciais aos estudos de Carbono (Ketterings *et al.*, 2001; Hairiah *et al.*, 2001).

A biomassa de um ecossistema pode ser obtida por métodos diretos (destrutivo) ou indiretos (não destrutivo). O método destrutivo é mais acurado e eficaz, mas é difícil pesar todas as árvores de uma área e, em geral, os trabalhos que utilizam o método destrutivo baseiam-se em poucas e pequenas parcelas, sistematicamente escolhidas. Enquanto, que o método não destrutivo é mais rápido, pode amostrar uma área maior e um maior número de indivíduos, pois, utiliza variáveis mais facilmente obtidas no campo, como o diâmetro acima do peito (DAP) e a altura (H), aplicadas em modelos matemáticos (equações alométricas), embora esteja sujeito a erros de medição nem sempre mencionado que podem influenciar os cálculos para mais ou para menos. Toda via, estudos mostraram que modelos que utilizam somente o DAP apresentaram resultados tão similares quanto os que utilizam também o DAP e a H (Higuchi *et al.*, 1998; Hairiah *et al.*, 2001).

a) Determinação pelo Método Direto

A quantificação de biomassa pelo método direto ou destrutivo significa uma medição real feita diretamente na vegetação, onde, todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas, incisadas, cubadas, secadas e pesadas, sendo feita posteriormente a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse (Higuchi & Carvalho, 1994). Esses métodos podem ser enquadrados em duas categorias: Método da Árvore Individual e Método da Parcela (Sanquetta, 2002).

O primeiro método consiste na seleção de uma árvore média através de um inventário florestal piloto, para o cálculo do diâmetro ou da área seccional ou transversal dessa árvore. Após, essa etapa procede-se a derrubada e a determinação de biomassa quando então será definido o número de indivíduos que constituirá a amostra. Enquanto, que o segundo método consiste no corte raso em uma área pré-definida, onde se determina a biomassa pela pesagem, após a secagem de todos os componentes da árvore (inclusive as raízes) de todos os indivíduos contidos na parcela (Pardé, 1980). A biomassa obtida por esse método baseia-se em poucas e pequenas parcelas tendenciosamente escolhidas, dessa forma seus resultados não seriam tão consistentes ou confiáveis (Brown *et al.*, 1999).

b) Determinação pelo Método Indireto

O método indireto ou não destrutivo é baseado na utilização da variável dependente que é a biomassa e as variáveis independentes geralmente de fácil mensuração, como o DAP e a H da árvore, obtidas em inventários florístico ou florestal. Esse método tem a vantagem de não ser destrutivo, pois não há necessidade de cortar nenhuma árvore do povoamento vegetal (natural ou plantado). Os inventários florísticos e florestais geralmente aplicam amostragens validadas estatisticamente e podem fornecer estimativas representativas para grandes áreas,

assim os fatores que influenciam a estimativa de biomassa ou as equações alométricas são, na maioria dos casos, baseados em estudos locais (Somogyi *et al.*, 2006). Portanto, devido às exigências sobre os recursos nas medições de campo, as avaliações de biomassa pelo método indireto na prática são feitas de duas formas: Fator de Expansão (BFs) ou Fator de Expansão de Biomassa (BEF- Biomass Expansion Factor) e Equações Alométricas ou Equações de Biomassa (BEs - Biomass Equations) (Somogyi *et al.*, 2006).

A estimativa de biomassa em grandes áreas de floresta naturais ou plantadas apresenta um problema de amostragem, pois, a biomassa de um povoamento vegetal muda com a idade, com sistema de uso da terra, condições edafoclimáticas e topografia (Brown & Lugo, 1992).

A estimativa de biomassa exige transparência e especificação dos componentes das árvores (fuste, casca, galhos, folhas, frutos e raízes,) ou de seus talhões, para avaliação. Esses componentes são medidos separadamente, todos juntos ou agregados (por exemplo: fuste e galhos). As raízes finas geralmente não são incluídas nas estimativas de biomassa de árvores, porque o método utilizado para a estimativa da biomassa de raízes finas seria o Método do Talhão Específico ao invés do Método da Árvore Específica (Somogyi *et al.*, 2006).

A biomassa total de um local inclui a biomassa da árvore, como também, pode incluir a biomassa da vegetação de um povoamento natural ou plantado, uma lavoura, uma pastagem ou um bosque (árvores, palmeiras, camadas arbustivas, arbustos, gramíneas, ervas, epífitas, trepadeiras, briófitas e líquens), tem a funcionalidade de um sistema (Somogyi *et al.*, 2006).

Christofolletti (1979), assim definia e conceituava um sistema:

*“Como um conjunto de objetos ou atributos de suas relações, que se encontram organizado para executar uma função particular” ou “um conjunto de unidades com relações entre si e o seu grau de organização permite que assumam função de um todo que é maior do que a soma de suas partes”.*

Os sistemas dividem-se por sua *natureza* e sua *constituição*. Quanto a sua natureza podem ser *abertos* (apresentam relações de troca com o ambiente, através de entradas e saídas) ou *fechados* (não apresentam troca com o meio ambiente que os circunda, pois são herméticos a qualquer influência ambiental); enquanto que por sua constituição podem ser *concretos* (compostos de vegetais, de animais, de seres vivos e de objetos ou coisas reais) ou *abstratos* (quando compostos de conceitos, planos, hipóteses e ideias) (Arrigh, 1996).

Sobre a natureza dos sistemas Bertalanffy (1968), assim dizia:

*“(...) se as leis dos sistemas biológicos - que regem os processos como crescimento e adaptação - podem ser aplicados às áreas além da biologia; e se a lei da gravidade é igualmente aplicável às maçãs e aos planetas; e se a lei da probabilidade se aplica igualmente à genética e aos seguros de vida, então as leis dos sistemas biológicos, bem poderiam ser aplicáveis à psique humana, às instituições sociais, e ao conjunto global da ecosfera”.*

Um sistema seja ele natural ou social comporta-se como um todo, no qual as variações de qualquer elemento dependem de todos os outros. Qualquer variação em uma quantidade de um elemento é função das quantidades de todos os elementos. Por outro lado, a variação de certo elemento determina a variação de todos os outros elementos e do sistema total, a totalidade expressa o equilíbrio do sistema. Dessa forma, todo e qualquer sistema é definido como um complexo de elementos em interação, que significa que a Interação é, portanto, um conceito permeável e transversal a essas duas áreas do conhecimento (Bertalanffy, 1975).

Não há relações, sejam biológicas, químicas ou sociológicas sem interação. No caso aqui estudado a interação seria a influência recíproca de dois ou mais elementos, indivíduos ou espécies que ocorre quando a ação de um provoca uma reação do outro ou dos restantes. Contrapondo a casualidade (evento que não se esperava) e a interatividade (capacidade de um sistema de se comunicar e permitir intercâmbio) são essenciais no conceito de interação. Mas, muitas dúvidas persistem seja pela complexidade do tema, profusão de conceitos e de teorias incompletas das mais diversas áreas do conhecimento que muitas vezes, mais confunde do que contribui (Primo, 2000). Assim é preciso avançar: testar conceitos, teorias e modelos.

Nesse contexto, preocupados com a banalização do termo que parece querer abarcar os mais diversos tipos de fenômenos ou atividades como, por exemplo, o simples sacolejo das cadeiras numa sala de cinema e com o uso de óculos 3D que aproxima e insere o espectador na cena ou, mesmo, um programa de televisão onde o telespectador que por telefone, pode votar numa das alternativas apresentadas, é rotulado com interação (Machado, 1997). Como também, com o iminente risco de a interação ser entendida e representar nada a mais que isso, somente, que motivou diversas pesquisas focadas e alicerçadas em estudos tradicionais das interações humanas, as quais tem buscado contribuir para o entendimento do que realmente é a interação, suas propriedades e onde e quando ela ocorre (Primo, 2000).

Para Shannon & Weaver (1962) o paradigma do processo comunicativo compreendia um modelo de fluxo linear, porém, a evolução da teoria da comunicação, o transformou num modelo com ênfase na interação. Então, o primeiro paradigma se baseava na transmissão linear e consecutiva de informações e na superioridade do emissor, enquanto que o segundo valorizava a dinamicidade do processo, onde todos os participantes são atuantes na relação. Estudando a dinâmica da interação Berlo (1991), identificou a existência de uma relação de interdependência, onde cada elemento depende do outro, onde um influencia o outro. Essa interdependência é evidente e varia em grau, nível, intensidade, qualidade e de contexto para contexto. Contudo, o autor adverte para o risco ou limitação em entender a interação apenas como ação e reação. Ela é profunda além das partes e o todo diferente das partes.

Os estudos pragmáticos pretendem investigar a relação entre os interagentes, mediado pela comunicação que valoriza a relação interdependente do indivíduo com seu meio e com seus pares, onde cada comportamento individual é afetado pelo comportamento coletivo ou o todo é maior que a soma das partes (Bertalanffy, 1975). Uma obra clássica que contribuiu para o estudo e entendimento da interação foi a “Pragmática da Comunicação Humana”, de Watzlawick *et al.* (1993), para esses autores, a interação é uma série complexa de mensagens trocadas entre as pessoas. Porém, o entendimento de comunicação vai além das trocas verbais, em suma, todo comportamento é comunicação. No nosso estudo busca-se a troca de energia que está na presa (o Carbono) e a que está no predador (plantas cultivadas em SAF).

Não obstante é essencial lembrar que além de analisarmos os interagentes é preciso valorizar a relação entre eles. Haja vista que essa relação envolve os três elementos inter-relacionados: participação, relação e contexto. A valorização de apenas um ou outro elemento desqualifica o entendimento do processo (Fisher, 1987). Então, após esta breve exposição, pode-se sugerir dois tipos de interação: mútua e reativa, discutidas em virtude das seguintes dimensões: a) *sistema*: um conjunto de objetos ou entidades que se inter-relacionam entre si formando um todo; b) *processo*: acontecimentos que apresentam mudanças no tempo; c) *operação*: a produção de um trabalho ou a relação entre a ação e a transformação; d) *fluxo*: curso ou sequência da relação; e) *taxa de transferência*: se passa entre a decodificação e a codificação; f) *relação*: o encontro, a conexão, as trocas entre elementos ou subsistemas; g) *interface*: superfície de contato, agenciamentos de articulação, interpretação e tradução.

Por sua vez a TGS considera os sistemas como *autopoiéticos* - os que se mantêm; e como *autoreferentes* - os que se reconstituem. O que significa na verdade, a capacidade de um sistema de elaborar a partir dele mesmo, a sua estrutura e os elementos que o compõe. Nesse sentido o sistema é composto de comunicações e/ou informações, onde a finalidade é o pré-requisito básico e é a comunicação que produz a interação (Bertalanffy, 1973).

## 5. TEORIA GERAL DOS SISTEMAS (TGS)

A Teoria Geral de Sistemas (TGS) surgiu na década de 1960, com início de debates de duas teorias magnas a própria TGS do biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy e a Teoria dos Sistemas Sociais (TSS) do sociólogo americano Charles Loomis. Essas teorias colocaram à disposição da comunidade científica elementos, processos e padrões encontrados tanto na biologia quanto na sociologia, haja vista ambas as ciências retratar o “mundos dos vivos”. A TGS não visa solucionar problemas ou soluções práticas, mas produzir teorias, modelos e

conceitos que possam criar condições aplicáveis à realidade empírica. Portanto, Bertalanffy criticava a visão do mundo dividido em diferentes áreas do conhecimento, como matemática, física, química, biologia, sociologia, etc., com barreiras e fronteiras definidas, intransponíveis, com lacunas entre si, dizia que a natureza não estava dividida em partes (Bertalanffy, 1968).

Todavia, a TGS afirma que as propriedades de um sistema não podem ser descritas significativamente em termos de seus elementos separados. Segundo Bertalanffy (1968), a TGS seria um instrumento útil capaz de fornecer modelos a serem utilizados em diferentes campos das ciências e transmitidos de uns para os outros, resguardando-se do perigo das analogias aparentes. A compreensão de um sistema só ocorreria quando analisado na íntegra, envolvendo todas as fases e interdependências de suas partes (Bertalanffy, 1973).

A TGS conduz a “noção-mestra” da natureza absoluta: biótipo (base geográfica ou de território) + biocenose (interações entre seres vivos, animais, plantas, etc.). Tais interações alteradas pela ação antrópica em ambas as dimensões de um ecossistema: “O homem está na natureza e a natureza está no homem” (Pena-Vega, 2003).

Contudo, os sistemas naturais permitem observar a evolução e a diferenciação à medida que considera a complexidade e a diversidade de fenômenos ambientais, culturais e socioeconômicos, bem como, o processo de apropriação e uso dos recursos naturais no espaço e no tempo. Dessa forma Kuhn (1962) considera que existe nas ciências naturais um grau de consenso, unidade e uniformidade maior que nas ciências sociais.

A intervenção do homem no ambiente enquanto processo de uso, continuamente tem sido uma atividade predatória, muitas vezes sem critério, planejamento algum ou bom senso necessário, onde a natureza é vista como depósito ou almoxarifado. Amparada inicialmente por razões de sobrevivência e/ou subsistência e depois pela mercantilização das ideias, na visão de que os recursos naturais e as demais espécies foram concebidos para fins comerciais, pouco ou raramente de conservação ou preservação (Thomas, 1989).

Embora o meio ambiente seja caracterizado como o conjunto de recursos naturais cuja preservação depende da continuidade de todas as espécies, inclusive a humana, o conceito de dependência parece claro. A dependência decorre de uma interdependência entre os seres vivos e que as condições socioambientais dos habitat estaria em constante variação (Lieber, 2003). Nesse sentido a preservação de qualquer espécie, a rigor, dependeria inevitavelmente de ações humana, uma vez que a preservação em si não é um fenômeno natural, como sugeria por Darwin (1877). Haja vista, o homem não se obriga à sobrevivência do mais apto, mas, do que melhor se adapta as condições socioeconômicas. Isto em suma, justifica o desperdício de recursos ao contrário do discurso utilitarista que persiste (Lieber & Romano-Lieber, 2001).

A abordagem sistêmica possibilita organizar o todo a partir da religação das partes, podendo ser utilizada pelos sistemas onde ocorrem reações simultâneas e efêmeras a cada instante em que operam nas comunicações dos sistemas, seja este biológico ou social (Parsons, 1968). Comumente as pesquisas chegam a seus resultados pelo método analítico, mas o avanço da ciência nos últimos anos tem permitido alcançar tais resultados e relações pela abordagem sistêmica que organiza os saberes de forma mais abrangente, constituindo não mais num fator isolado mais numa rede de inter-relações que influenciam indiretamente o resultado final, compreender não somente a análise, mas também a síntese (Souza, 1998).

É própria da abordagem analítica a validação dos resultados por provas experimentais apoiadas por teorias, modelos, etc., já a abordagem sistêmica caracteriza-se pela comparação do funcionamento dos modelos matemáticos com a realidade que a permeia. A abordagem analítica e a abordagem sistêmica são complementares, a primeira enfoca os elementos, as partes isoladas, já a segunda enfoca a importância das interações entre esses elementos e o reflexo de seus efeitos. A riqueza de detalhes, o controle do local através de experimentos é elementar à abordagem analítica; já a percepção plena é de natureza da abordagem sistêmica. A primeira é independente da duração e tempo, enquanto que a segunda é integral, considera e complementa as redes interconectadas (Casanova, 2006).

No universo não existe nada fragmentado, compartimentado, tudo está intrínseco e coeso, esse fato dissipa todas as noções de importância apenas das partes, porque pertencemos a uma só teia, um único complexo de eventos onde várias relações não lineares se combinam, ora se alternando ora se contrapondo. Daí decorre a importância das Equações Diferenciais Simultâneas (EDS) para aferição dos valores interativos. Como nas relações de troca há uma incessante interconectividade entre a parte e o todo, não há nada que não se complemente; por isso o todo é maior que as partes juntas; o elo das relações sistêmicas (Bertalanffy, 1975).

### 5.1. SISTEMAS MATEMÁTICOS ELEMENTARES (SME)

A complexidade dos Sistemas Matemáticos Elementares (SME) e a função das Equações Diferenciais Simultâneas (EDS) são descritas por Bertalanffy (1975) como características somativas de um elemento que se mostram idênticas dentro e fora do complexo que podem ser obtidas por meio da soma das características do sistema e do comportamento dos elementos conhecidos isoladamente.

As características constitutivas dos sistemas são aquelas que dependem das relações específicas no interior do complexo. Para compreender estas características devemos conhecer

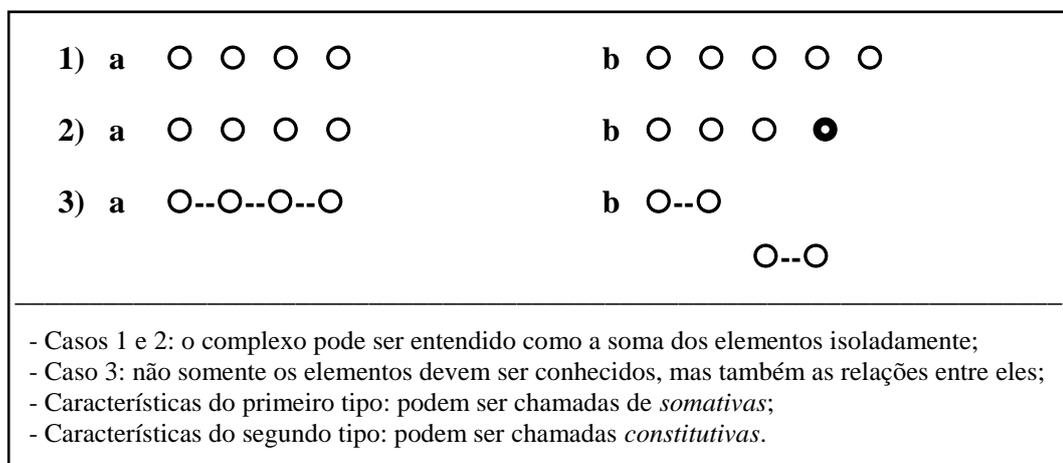
não somente as partes, mas também as relações entre elas e para compreender o significado da expressão “*o todo é mais que a soma das partes*” consistem em dizer que as características constitutivas não são explicáveis a partir das características das partes isoladas. Portanto, as características dos complexos comparadas às dos elementos isolados parecem “*novas*” ou “*emergentes*”. Porém, se for conhecido o total das partes contidas em um sistema e as relações entre elas, o comportamento do sistema pode ser derivado do comportamento das partes. Pode-se conceber tal soma como sendo gradualmente composta, enquanto que o total das partes com suas inter-relações tem de ser concebido como constituído simultaneamente.

Na física estes enunciados são triviais, mas podem tornar-se problemáticos e conduzir a concepções confusas na biologia, na psicologia e na sociologia, devido uma interpretação errônea da concepção mecanicista, uma vez que é preciso considerar a tendência para a resolução dos fenômenos em elementos interdependentes e em cadeias causais. Na física mecânica as inter-relações são geralmente deixadas de lado (Bertalanffy, 1975).

Tratando-se de aplicação para deduções rigorosas a TGS seria de natureza axiomática - proposição evidente, máxima, verdade que não exige demonstração - isto é, as proposições que exprimem propriedades e princípios dos sistemas deveriam ser deduzidas da noção de “sistema” e de um adequado conjunto axiomático (Bertalanffy, 1975).

Buscando exemplificar o conceito de sistema em termos matemáticos elementares, Bertalanffy (1975), cita três possíveis diferenciações (Figura 1), descritas a seguir:

- 1) De acordo com o seu número;
- 2) De acordo com sua espécie e
- 3) De acordo com as relações dos elementos.



**Figura 1.** Exemplos de elementos complexos para demonstrar o conceito de sistema em termos matemáticos elementares. Fonte: Bertalanffy (1975).

A alteração de qualquer medida  $Q_i$  é, portanto, função de todas as  $Q$ , de  $Q_1$  a  $Q_n$ . Inversamente, a alteração de qualquer  $Q_i$  acarreta a alteração de todas as outras medidas e do sistema enquanto totalidade.

Matematicamente, um sistema pode ser medido de várias maneiras, como no caso do sistema de EDS. Designando certa medida dos elementos  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), por  $Q_i$ , estas, para um número finito de elementos e no caso mais simples, serão da forma, como no exemplo de sistema de equações diferenciais simultâneas proposto por Bertalanffy (1975):

$$dQ_1/dt = f_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

$$dQ_2/dt = f_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

$$dQ_n/dt = f_n(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

Esses sistemas de equações são encontrados e aplicados em muitos campos das ciências e representam o princípio geral da cinética e é a expressão geral da lei de ação das massas. Os mesmos sistemas, também, já foram utilizados para relacionar, equacionar e solucionar problemas demográficos (Skrabal, 1949; Lotka, 1956).

## 5.2. EQUAÇÕES DIFERENCIAIS SIMULTÂNEAS (EDS)

As Equações Diferenciais Simultâneas (EDS) se constitui num capítulo amplo na Matemática podendo ser abordado de várias maneiras, dependendo do objetivo de cada estudo e do emprego das equações diferenciais como modelo formulado para descrever situações reais. Essas equações mesmo sendo pouco conhecidas e empregadas, estão presentes no dia a dia das pessoas, como num cálculo de velocidade de um veículo que é uma função do espaço ou no cálculo de juros no comércio que é uma função da oferta e da demanda. Assim as EDS se tornaram importantes ferramentas pelas inúmeras formas de aplicação, usadas em cálculos simples ou complexos, sem abrir mão da modelagem (Bassanezi & Ferreira Jr., 1988).

Sobre as equações diferenciais e os sistemas matemáticos, Bassanezi & Ferreira Jr. (1988) dizem:

*"(...) Na verdade poderíamos dizer que a quantidade de equações que possuem soluções explícitas é praticamente nula, se comparada àquelas que não têm soluções, por mais liberais que sejamos quanto às operações aceitáveis. A importância do estudo de tais equações está no que podemos aprender delas e na utilização que delas fazemos para analisar as demais".*

O modelo matemático é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado, podendo ser considerado como uma síntese da reflexão sobre alguma parte da realidade. Seu objetivo é explicar ou entender a situação estudada para, eventualmente, poder agir sobre ela (Braun, 1979; Bassanezi & Ferreira Jr., 1988). A modelagem é um processo dinâmico que cria modelos matemáticos, constituída das seguintes fases complementares: experimentos, abstração, formulação do modelo, resolução, validação, modificação e aplicação (Diacu, 2000; Zill, 2001; Bassanezi, 2009).

Uma modelagem eficiente nos permite fazer previsões, tomar decisões, explicar e entender; enfim, participar do mundo real com capacidade de influenciar em suas mudanças. A linguagem oferecida pelas equações diferenciais e equações de diferenças é fundamental na transferência e no entendimento da linguagem "natural", uma vez que a palavra chave variação aparece quase sempre nas situações reais (Bassanezi, 2009).

### 5.3. EQUAÇÕES DE LOTKA-VOLTERRA - MODELO PRESA-PREDADOR

O modelo de Presa-Predador de Lotka-Volterra é de grande valia na história da modelagem matemática de sistemas ecológicos. Trata-se de equações diferenciais não lineares de primeira ordem, frequentemente usadas para descrever dinâmicas nos sistemas biológicos, especialmente quando duas espécies interagem: uma como presa e outra como predadora (Lütz, 2011). Pode-se afirmar que Equação de Lotka-Volterra, Modelo Presa-Predador, pode ser descrita como vanguarda matemática no emprego das EDS em análises interativas de SAF.

A seleção natural levou a concepção de grupos de espécies que coexistem com a competição mesmo explorando um ao outro para sobreviver. O resultado desses encontros entre essas espécies resultou nas relações do tipo “presa e predador”, envolvendo o uso de uma espécie chamada de presa como alimento por outra chamada de predador que pela justa relação à definição envolve a morte da presa (Odum *et al.*, 1987).

Existem diversos casos na natureza envolvendo interação entre várias espécies, uma servindo como fonte de alimento para outra. Em seu livro *Elements of Mathematical Ecology*, Mark Kot (2001) refere que Umberto D’Ancona, biólogo italiano, fez uma análise estatística com dados sobre a venda de peixes nos mercados de Trieste, Fiume e Veneza, na Itália, entre os anos de 1910 e 1923. A pesca havia sido suspensa em algumas partes do mar Adriático durante a Primeira Guerra Mundial, 1914 a 1918, D’Ancona demonstrou que houve aumento na frequência relativa de determinadas espécies e redução de outras espécies, ou seja, proibida a pesca a lógica seria de que todas as espécies aumentariam suas populações.

Os dados de D'Ancona mostravam que a frequência de predadores aumentara durante os anos de guerra e diminuiria posteriormente com o aumento da pesca. A frequência das presas, por outro lado, seguiria um padrão inverso. Então, D'Ancona propôs a questão a Vito Volterra, um matemático italiano, que desenvolveu em 1925 um par simples de equações diferenciais para descrever o sistema biológico e modela a situação em que há duas espécies que convivem e uma delas é predadora da outra. No mesmo ano o biofísico americano Alfred J. Lotka reproduziu diversos modelos semelhantes no estudo das interações e publicou o livro intitulado "*Elements of Physical Biology*" apresentando a mesma modelagem que considera que a única fonte de alimento da espécie predadora é a espécie presa e que não há competição alguma entre indivíduos da mesma espécie. Como ambos publicaram a mesma equação, então o modelo foi chamado de Lotka-Volterra (Lütz, 2011). Trazendo o raciocínio para o conteúdo do nosso estudo, as interações a serem determinadas analiticamente são aquelas em que toma o Carbono como "presa" e as plantas cultivadas nos SAF como "predadoras".

Um sistema deve ser criado para as condições iniciais e indicar qual o ponto de partida e quantos indivíduos de cada espécie está no instante inicial. O modelo de Lotka-Volterra estabelece que o número de indivíduos de cada espécie evolui com o tempo e chega ao seu "ótimo interativo" - o qual se traduz graficamente no ponto de equilíbrio (Figura 2), de acordo com o sistema simultâneo e diferencial. O sistema Presa-Predador é uma consequência da lei de equilíbrio e se definirmos  $N(t)$  como o número (ou densidade) de presas e  $P(t)$  e número (ou densidade) de predadores, o sistema proposto por Lotka-Volterra apresenta a seguinte forma e modela a situação em que há duas espécies que convivem: uma é presa e outra é predadora, representado pelo conjunto de equações 1 e 2:

(1)

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy$$

(2)

$$\frac{dy}{dt} = -cy + dxy$$

Nas Equações  $x$  é a população de presas e  $y$  é a população de predadores; onde:  $a$  é a taxa de crescimento (ou natalidade) da população presa;  $b$  é a taxa de decrescimento (ou mortalidade) da população presa;  $c$  é a taxa de crescimento (ou natalidade) da população predador e  $d$  é a taxa de decrescimento (ou mortalidade) da população predador.

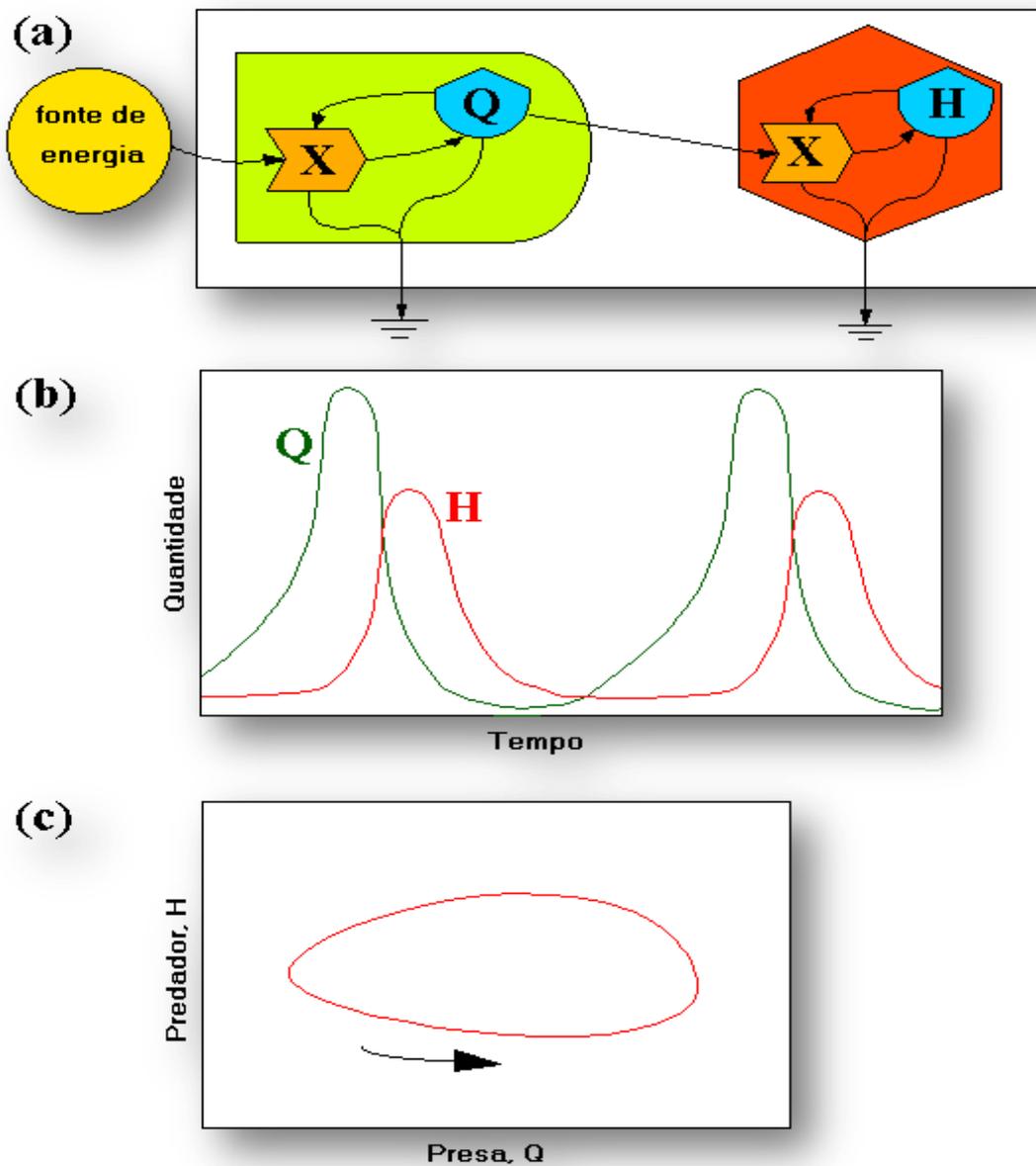
Na Equação 1 (PRESA) o termo ( $ax$ ) indica que as presas crescerão de modo exponencial na ausência de predadores. Enquanto, o termo ( $-bxy$ ) implica na redução das presas por ação dos predadores. Na Equação 2 (PREDADOR): o termo ( $-cy$ ) indica que a população de predadores decai exponencialmente na ausência de presas. Enquanto, o termo ( $dxy$ ) indica que a perda de presas leva à produção de novos predadores.

No contexto ambiental e ecológico, além da variação do valor inicial, comportamento e dinâmica de um sistema ou objeto em relação ao tempo, o diferencial significa a oscilação de populações e/ou suas interações nos mais diversos contextos de interação (predação ou concorrência) entre os principais sistemas: Presa-Predador, Recurso x Consumidor, Vegetação x Pastador, População humana x Recurso natural. Então as equações de Lotka-Volterra apesar de ser um modelo simples da dinâmica de presas e de predadores, elas captam a existência de oscilações ou de periodicidade ou da dinâmica no tempo (Kraenkel, 2016).

Alguns sistemas desenvolvem e apresentam repetidas oscilações, a qualquer momento as quantidades aumentam ou diminuem. Logo a relação estabelecida entre os elementos constitui-se em um sistema oscilatório. Um exemplo simples de um sistema de oscilações, é o modelo Presa-Predador de Lotka-Volterra (Figura 2). O diagrama de sistema mostra que há uma fonte de pressão constante disponível para a população de presas (Figura 2, a). Quando a população de presas começa a crescer exponencialmente, a população de predadores deve crescer também, fazendo com que a população de presas se reduza novamente, com menos presa disponível a população de predadores diminui em razão do fator “clímax” alcançado (Figura 2, b). Esse processo de oscilações repetidas gera um gráfico circular (Figura 2, c).

O Ponto de Equilíbrio ocorre quando as populações são iguais ou proporcionais, ficam sem oscilar ou baixar, gerando uma estabilidade física ou numérica. A partir desse ponto é possível observar e diferenciar a evolução das populações presa e predadora, num sistema oscilante que quando cresce a presa, também cresce a predadora e quando decresce a presa, também decresce a predadora (Figura 2b) (Chase *et.al.*, 2011).

A luz da TGS o modelo Presa-Predador tem contribuído com estudos para avaliar a interação entre organismos vivos, entre populações, sendo um a presa e o outro predador, por exemplo: felinos e antílopes, tubarão e peixes, etc., são geralmente do reino animal. No entanto, Aviz dos Santos (2011) utilizou o modelo para avaliar uma interação pioneira entre árvores (presa) e população humana (predador), estudando a pressão demográfica sobre a vegetação de uma clareira (regeneração natural) no município de Moju, Estado do Pará.



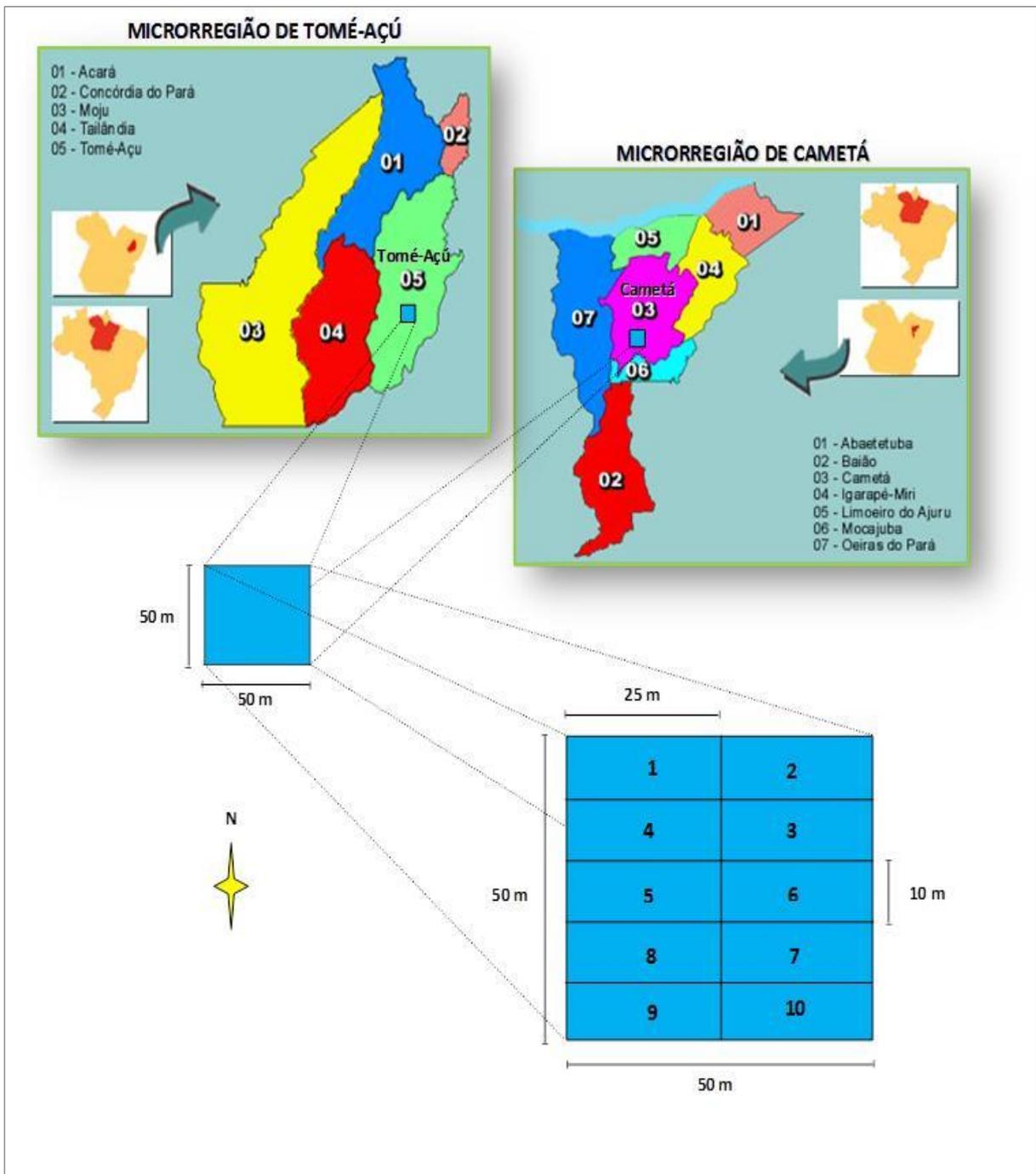
**Figura 2.** Modelo de oscilação simples: Presa-Predador de Lotka-Volterra, mostrando à presa (Q) consumida pelo predador (H). (a) Modelo; (b) resultados da simulação e ponto de equilíbrio (Q/H); (c) a mesma simulação com as duas populações. Fonte: Odum *et al.* (1987).

No presente estudo o modelo foi utilizado com pioneirismo e vanguarda metodológica, para analisar as interações entre organismos vivos (plantas) e um elemento químico (Carbono) resultante tanto de atividades biológicas (naturais) como a respiração de plantas e animais, quanto atividades antrópicas como desmatamentos, queimadas, agricultura, industrialização e principalmente queima de combustíveis fósseis. Assim o modelo foi adaptado, onde a presa é o Carbono (assimilado via fotossíntese) e o predador é a vegetação (espécies frutíferas e florestais) cultivada em SAF, nos municípios de Cametá e de Tomé-Açu, Estado do Pará.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. ÁREAS DOS ESTUDOS

Localização das áreas dos estudos e croqui esquemático das parcelas e sub-parcelas instaladas e estudadas em oito sistemas agroflorestais (SAF), quatro no município de Cametá (SAF Tradicionais) e quatro no município de Tomé-Açu (SAF Comerciais) (Figura 3).



**Figura 3.** Áreas dos estudos nos municípios de Cametá e de Tomé-Açu, Estado do Pará.  
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

## 6.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS

### 6.2.1. Município de Cametá

O município de Cametá, Estado do Pará, pertence à mesorregião do nordeste paraense, microrregião de Cametá, situa-se a 184 km de Belém, ocupa uma área de aproximadamente 3.122,9 km<sup>2</sup>, suas coordenadas geográficas são: Latitude 02°14'40"S e Longitude 49°29'45"W, numa altitude de cerca de 150 m (Figura 3). Cametá faz divisa ao norte com o município de Limoeiro do Ajuru, ao sul com o município de Mocajuba, a leste com o município de Igarapé-Miri e a oeste com o município de Oeiras do Pará (IBGE, 2008).

O clima da região é quente e úmido, conforme a classificação de Köppen o tipo é Ami. A temperatura média anual é de 26,5°C, mínima de 22°C e máxima de 31°C; umidade relativa do ar de 85%; a pluviosidade anual é elevada, 2250 mm a 2500 mm, apresenta uma estação mais chuvosa de janeiro a maio e outra menos chuvosa de junho a dezembro (IBGE, 2010).

Apresenta uma população de cerca de 120.896 habitantes, sendo 68.068 hab. (56,3%) população urbana e 52.838 hab. (43,7%) população rural, com densidade demográfica de 39,23 hab/km<sup>2</sup> e estimativa de 130.868 habitantes para 2016 (IBGE, 2010). O município apresentou renda per capita de cerca de R\$ 3.679,41 e produto interno bruto (PIB) de R\$ 457.759,00 (IBGE, 2012). O índice de desenvolvimento humano municipal (IDH) foi de 0,328 (1991), 0,432 (2000) e 0,577 (2010); apresentado evolução positiva (PNUD, 2013).

Os SAF tradicionais são os que melhor caracterizam os estudados em Cametá, esses SAF são aqueles praticados pelos índios e comunidades tradicionais (caboclos e ribeirinhos), também, denominados de agrofloresta que consiste num povoamento vegetal permanente. Sua criação está quase sempre ligada às atividades agrícola ou extrativista, apresenta composição bastante diversificada formando pelo menos três andares (Dubois, 1996).

Nas várzeas do rio Juba, a maioria dos SAF caracteriza-se por apresentar cobertura vegetal em torno de 50 % da área e sub-bosque relativamente aberto e muitas palmeiras e arbustos (Apêndice 1.1). Esses SAF foram enriquecidos com espécies frutíferas e comerciais (principalmente o açaí e o cacau), depois de implantados são submetidos a manejos moderado e/ou esporádico que visam minimizar impactos no meio ambiente e área de produção, que consiste em desbastes de açazeiros dos indivíduos mais velhos (aproveitados na produção de palmitos), corte de cipós e de espécies invasoras indesejáveis, coletas de sementes, frutos, óleos, cascas e ervas para fins medicinais e uma eventual extração de madeira para uso na propriedade. A média de idade desses SAF, em regime de manejo, é de aproximadamente 12 anos, entre o início (1987-1991) quando começou o manejo e a coleta de dados da pesquisa de campo no ano de 2001 (Santos, 2002).

### 6.2.2. Município de Tomé-Açu

O município de Tomé-Açu, Estado do Pará, pertence à mesorregião do nordeste paraense, microrregião de Tomé-Açu, situa-se a 208 km de Belém, ocupa uma área de aproximadamente 5.145,4 km<sup>2</sup>, suas coordenadas geográficas são: Latitude 02°40'54"S e Longitude 48°16'11"W, numa altitude de cerca de 45 m (Figura 3). Tomé-Açu faz divisa ao norte com os municípios de Acará, São Domingos do Capim e Concórdia do Pará, ao sul com o município de Ipixuna do Pará, a leste com os municípios de Ipixuna do Pará e Aurora do Pará e a oeste com os municípios de Acará e Tailândia (IBGE, 2008).

O clima da região clima é o quente e úmido, conforme a classificação de Köppen é do tipo Ami. Apresenta índice pluviométrico bastante elevado, com mês de menor precipitação inferior a 60 mm, precipitação média anual entre 2.144 mm a 2.581 mm, com maior precipitação entre os meses de novembro e junho (IBGE, 2010).

Apresenta uma população de cerca de 56.518 habitantes, sendo 31.563 hab. (55,8%) população urbana e 24.955 hab. (44,2%) população rural, com densidade demográfica de 10,98 hab/km<sup>2</sup>, com uma estimativa de 60.456 habitantes para 2016 (IBGE, 2010). O município apresentou renda per capita de cerca de R\$ 5.933,32 e produto interno bruto (PIB) de R\$ 343.633,00. O índice de desenvolvimento humano municipal (IDH) foi de 0,347 (1991), 0,438 (2000) e 0,585 (2010); apresentado evolução positiva (PNUD, 2013).

Os SAF comerciais são os que melhor caracterizam os estudados em Tomé-Açu (SAF-TA), a média de idade de plantio desses SAF é de 12 anos (Apêndice 1.2). São os SAF mais cultivados entre os agricultores nipo-brasileiros de Tomé-Açu, começaram a ser introduzidos em substituição aos plantios em monocultivo de pimenta-do-reino após o colapso na produção dos pimentais que foram praticamente dizimados pela fusariose, doença causada pelo fungo *Fusarium solani f. sp. Piperis*, que surgiu na década de 1950 e devastou a região com o passar dos anos com ápice na década de 1970 (Duarte & Albuquerque, 2005; Homma, 2006).

Na região de Tomé-Açu e adjacências esses SAF são cultivados sistematicamente e vistos como referência de eficiência técnica, produtividade e viabilidade socioeconômica. Apresentam algumas particularidades na sua origem e/ou implantação como a sequência de plantio: pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) >>> maracujá (*Passiflora edulis* Sims.) >>> frutíferas arbustivas >>> frutíferas palmeiras >>> frutíferas arbóreas >>> espécies florestais.

A evolução dos SAF em Tomé-Açu foi estudada por Barros (2009), que identificou 442 sistemas, aos quais agrupou em diferentes arranjos: SAF frutíferos com bordadura, SAF madeireiros com sombreamento e SAF com espécies sombreadoras do cacau indicadas pela Ceplac (Comissão Executiva da Lavoura Cacaueira).

### 6.3. MÉTODOS

#### 6.3.1. Coleta de dados

No inventário florestal as medições das espécies de palmeiras que formam touceiras como o açai, cada estipe existente nas referidas touceiras foi considerada como um indivíduo. Caso contrário poderia subdimensionar ou superdimensionar um indivíduo, o que causaria distorções nas análises, exemplo: vamos considerar a variável DAP, onde uma touceira possui três estipes com DAP igual a 7 cm, 8 cm e 9 cm. Então, se considerarmos a touceira como um indivíduo através da média aritmética do DAP das três estipes, o  $DAP = 8$  cm, por outro lado, se considerarmos a touceira como um indivíduo pela somatória do DAP das três estipes, o  $DAP = 24$  cm. Portanto, no primeiro caso estaria subdimensionando a amostra, pois, é como os estipes de 7 e 9 cm não existissem; enquanto, no segundo estaria superdimensionando a amostra, pois existiria um indivíduo muito grande. Bem como, se fizermos a mesma projeção com a variável altura, teríamos ora um indivíduo anão, ora um indivíduo gigante.

##### a) Coleta nos SAF Tradicionais em Cametá (SAF-CM)

No período de março a maio de 2001, uma pesquisa exploratória foi realizada nas comunidades das várzeas dos rios Juba, Jubinha e Mendaruçu, no município de Cametá, visando identificar agricultores familiares que usassem na propriedade cultivos em regime de SAF como meio de sobrevivência. A partir das informações obtidas realizaram-se visitas técnicas, onde algumas famílias foram entrevistadas sobre o sistema de manejo desses SAF e perpetradas observações da paisagem no local. Nesse aspecto não houve diferenciação entre a forma de manejo nas três comunidades, optando pela ilha Juba, devido ao maior número de famílias residentes que nas comunidades de Jubinha e Mendaruçu.

A seleção das áreas seguiu critérios não formais: a) Tamanho: pequenas ( $< 10$  ha), médias ( $10 \text{ ha} < \text{área} < 20 \text{ ha}$ ) e grandes ( $> 20 \text{ ha}$ ), segundo os proprietários; b) Localização ao longo do rio, evitando unidades próximas umas das outras; c) Exploram o SAF como meio de sobrevivência e d) Residência nas unidades de produção. Utilizou-se do estudo de original (Santos, 2002), as propriedades: Sítio do Lousada, 22 ha (20 ha manejado); Sítio do Wilson, 8 ha (7 ha manejado); Sítio do Zito, 5 ha (4 ha manejado) e Sítio da Amélia, 15 ha (14 ha manejado). Médias de 12,5 ha de área total dos sítios e de 11,3 ha de área manejada. Os SAF estudados encontram-se dentro das áreas manejadas em cada propriedade.

Nas propriedades rurais foram selecionadas quatro unidades de produção com cultivo em SAF de diferentes idades (10 anos, 11 anos, 13 anos e 14 anos), aqui representadas por: SAF 1-CM ( $02^{\circ}23'16,2''$  S e  $049^{\circ}29'08,2''$  W, 10 anos), SAF 2-CM ( $02^{\circ}23'49,6''$  S e

049°29'13,4" W, 11 anos), SAF 3-CM (02°23'06,6" S e 049°28'57,3" W, 13 anos) e SAF 4-CM (02°23'26,0" S e 049°29'58,6" W, 14 anos). Em cada unidade foram inventariadas três parcelas amostrais de 50 m x 50 m (0,25 ha), tamanho mínimo de parcela sugerido em vários estudos (Laurance *et al.*, 1999; Clark & Clark, 2000; Keller *et al.*, 2001), num total de doze parcelas, dividida em dez subparcelas de 10 m x 25 m, cada (Figura 3), onde foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (H) de todos os indivíduos com  $DAP \geq 5$  cm. Todos os dados anotados em planilha de campo.

Visando homogeneizar as áreas de amostragem e minimizar as interferências e condições ambientais, as parcelas foram localizadas na várzea alta e distante em média 5 m de algum curso d'água.

Na propriedade Sítio do Felipe foi selecionada e instalada uma unidade de pesquisa num fragmento de floresta nativa de várzea (FVA-CM) (02°23'10,5" S e 049°29'25,5" W), para estudar a composição florística e influência no arranjo dos SAF-CM. Nessa unidade foi inventariada uma parcela amostral de 50 m x 50 m (0,25 ha), dividida em dez subparcelas de 10 m x 25 m, cada (Figura 3), onde foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (H) de todos os indivíduos com  $DAP \geq 5$  cm. Todos os dados anotados em planilha de campo.

#### b) Coleta nos SAF Comerciais em Tomé-Açú (SAF-TA)

Nos meses de dezembro/2013 e maio/2014, foram realizadas viagens de pesquisa em propriedades rurais do município de Tomé-Açú, visando identificar produção e plantio em regime de SAF. Nessas visitas técnicas foram realizadas entrevistas informais (2013) e pesquisa formal (2014) com aplicação de questionários sobre plantio, arranjos, manejo e exploração dos SAF e, também, perpetradas observações da paisagem, visando subsidiar a seleção das áreas de pesquisa. Posteriormente, foi realizada em fevereiro/2015, nova visita técnica para seleção e definição das propriedades onde seria conduzida a pesquisa de campo. Duas propriedades com cultivo em SAF foram selecionadas: Fazenda São Francisco, área de 70 ha (30 ha com SAF) e Fazenda Konagano, área de 850 ha (230 ha com SAF). Após essa etapa teve início a pesquisa de campo, realizada no período de março/2015 a maio/2015.

Nas propriedades rurais foram selecionadas quatro unidades de produção com cultivo em SAF de diferentes idades (3 anos, 9 anos, 15 anos e 21 anos), aqui representadas por: SAF 1-TA (02°32'09,6" S e 048°16'23,4" W, 3 anos), SAF 2-TA (02°31'49,3" S e 048°16'26,0" W, 9 anos), SAF 3-TA (02°29'04,4" S e 048°16'54,9" W, 15 anos) e SAF 4-TA (02°28'52,6" S e 048°16'48,4" W, 21 anos). Em cada unidade foram inventariadas três parcelas amostrais

de 50 m x 50 m (0,25 ha), tamanho mínimo de parcela sugerido em vários estudos (Laurance *et al.*, 1999; Clark & Clark, 2000; Keller *et al.*, 2001), num total de doze parcelas, dividida em dez subparcelas de 10 m x 25 m, cada (Figura 3), onde foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (H) de todos os indivíduos com  $DAP \geq 5$  cm. Sendo, as unidades estudadas: SAF 1-TA e SAF 2-TA, na Fazenda São Francisco e SAF 3-TA e SAF 4-TA, na Fazenda Konagano. Todos os dados anotados em planilha de campo.

Visando minimizar influências de áreas adjacentes (antrópica ou natural) às áreas de SAF selecionados. As parcelas amostrais foram instaladas evitando-se as linhas de bordaduras das referidas unidades produtivas.

Na Fazenda Konagano foi selecionada e instalada uma unidade de pesquisa num fragmento de floresta nativa de terra firme (FTF-TA) ( $02^{\circ}24'04,4''$  S e  $048^{\circ}12'06,8''$  W), para estudar a composição florística e influência no arranjo dos SAF-TA. Nessa unidade foi inventariada uma parcela amostral de 50 m x 50 m (0,25 ha), dividida em dez subparcelas de 10 m x 25 m, cada (Figura 3), onde foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (H) de todos os indivíduos com  $DAP \geq 5$  cm. Todos os dados anotados em planilha de campo.

### 6.3.2. Composição Florística e Estrutura da vegetação

As análises florística e estrutural foram os fatores inicialmente utilizados para avaliar a fitossociologia dos SAF. A florística realizada através da identificação botânica das espécies, enquanto que a estrutural seguiu as recomendações de Brower *et al.* (1998), avaliada pela: a) Abundância ( $N = n_i$ , onde:  $n_i$  é o número de indivíduos da espécie  $i$ ); b) Frequência absoluta ( $Fa = f_i/K$ , onde:  $f_i$  é o número de parcelas em que ocorreu a espécie  $i$  e  $K$  é o número total de parcelas); c) Área basal ( $G = \sum G_i$ , onde:  $G_i$  é a soma da área transversal da espécie  $i$ ); d) Densidade relativa ( $Dr = (n_i/N)*100$ , onde:  $n_i$  é o número de indivíduos da espécie  $i$  e  $N$  é o número total de indivíduos amostrados); e) Dominância relativa ( $Dor = (G/\sum G_t)*100$ , onde:  $G$  é a área basal da espécie  $i$  e  $\sum G_t$  é a somatória da área basal de todas as espécies amostradas); f) Frequência relativa ( $Fr = (Fa_i/\sum Fa)*100$ , onde:  $Fa_i$  é a frequência absoluta da espécie  $i$  e  $\sum Fa$  é a somatória das frequências absolutas de todas as espécies amostradas); g) Índice de valor de cobertura ( $IVC = Dr_i + Dor_i$ ), aplicado nos SAF, e h) Índice de valor de importância ( $IVI = Dr_i + Dor_i + Fr_i$ ), aplicado nos fragmentos de floresta nativa.

Os parâmetros estruturais da vegetação dos SAF e do fragmento de floresta nativa das duas áreas estudadas foram calculados nas respectivas unidades numéricas e de tamanho (indivíduo =  $n_i$  e metro = m) por unidade de área (hectare = ha). De tal modo temos: indivíduo por hectare ( $n_i/ha$  ou  $n_i ha^{-1}$ ); metro por hectare ( $m^2/ha$  ou  $m^2 ha^{-1}$ ).

### 6.3.3. Finalidades das espécies

A finalidade das espécies dos SAF foi avaliada a partir das perspectivas de uso das espécies e de sua importância para o consumo na propriedade ou para a venda nos mercados local e circunvizinho. A classificação de uso das espécies dada pelos agricultores e pelas comunidades, bem como, semelhança na tipologia e designação, nortearam o enquadramento das espécies cultivadas nos SAF-CM e SAF-TA, em oito categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrair fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha e carvão (E); artesanato (L) e diverso (D). Definido, ainda, o percentual para o autoconsumo ou consumo doméstico e para a venda (localidade, circunvizinhança ou externa).

### 6.3.4. Biomassa Seca (BS) acima do solo

Para determinação da biomassa seca (BS) acima do solo e estoque de Carbono (EC) dos SAF das duas áreas de estudo, a vegetação foi dividida em três componentes principais: palmeiras (açai), arbusto (cacau) e árvores (espécies florestais). A BS foi calculada pelo Método Indireto, utilizando as equações alométricas: Equações 1 e 2 (BS-folhas e BS-estipes de açai); Equações 3 e 4 (BS-folhas e BS-madeira de cacau) e Equações 5 e 6 (BS-folhas e BS-madeira de árvores) (Bartelt *et al.*, 2000). As equações utilizadas para determinar a BS englobam os componentes aéreos (folhas, fuste, galhos, cascas e ritidomas) (Tabela 1).

A BS acima do solo foi calculada em unidade de peso (tonelada = t ou megagramas = Mg) por unidade de área (hectare = ha), assim determinou-se o total em toneladas (t) de BS, para depois determinar a quantidade de BS por hectare ( $t BS/ha$  ou  $t BS ha^{-1}$ ) e a quantidade de Carbono (C) contida na BS por hectare ( $t C/ha$  ou  $t C ha^{-1}$ ). A BS de folhas e estipes de açai e a BS de folhas e madeira de cacau e árvores foi obtida somando as respectivas BS contidas nos SAF e nos fragmentos de floresta nativa das áreas estudadas. Bem como a BS total acima do solo foi obtida pela soma da BS (soma da BS contida em cada parte da planta: folhas e madeira ou estipes) dos SAF e das florestas nativas, nas duas áreas de estudo.

**Tabela 1.** Equações utilizadas na estimativa de Biomassa Seca (BS) acima do solo na vegetação (kg/indivíduo) em sistemas agroflorestais (SAF) e fragmentos de floresta nativa de várzea (FVA) e de terra firme (FTF), nos municípios de Cameté e de Tomé-Açú, Estado do Pará. Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e diâmetro a altura do peito (DAP). Respectivamente, as equações 1 e 2 (BS-folhas e BS-estipes de açaí), as equações 3 e 4 (BS-folhas e BS-madeira de cacau) e as equações 5 e 6 (BS-folhas e BS-madeira de árvores).

	Equações Alométricas	$R^2$	Nível da amostra (cm)
<b>AÇAÍ</b>			
1	$BS = \exp(-0,0550 + 0,0451 \times DAP)$	0,92	$DAP \geq 5$
2	$BS = \exp(-0,0470 + 0,0750 \times DAP)$	0,99	$DAP \geq 5$
<b>CACAU</b>			
3	$BS = \exp(-1,3200 + 0,0566 \times DAP)$	0,96	$DAP \geq 5$
4	$BS = \exp(0,0320 + 0,0810 \times DAP)$	0,99	$DAP \geq 5$
<b>ÁRVORES</b>			
5	$BS = \exp(-0,7600 + 0,1242 \times DAP)$	0,77	$DAP \geq 5$
6	$BS = \exp(0,2040 + 0,3129 \times DAP)$	0,99	$DAP \geq 5$

Fonte: Bartelt *et al.* (2000).

A estimativa de BS deve ser fidedigna e cuidadosamente analisada, pois, sua variação influencia o EC na vegetação natural ou plantada. A quantidade de Carbono encontrada em cada compartimento (folha, galhos, madeira, raiz) ou estrato numa determinada área permite fazer estimativas mais acuradas sobre os EC desses ecossistemas (Dallagnol *et al.*, 2011).

### 6.3.5. Estoque de Carbono (EC)

O Estoque de Carbono (EC) contido na Biomassa Seca (BS) acima do solo da vegetação em diversos estudos realizados em áreas naturais ou antrópicas tem sido obtido pela multiplicação da BS total (soma da BS contida em cada parte da planta: folhas, galhos, fustes, cascas e raízes) por um fator igual a 0,45, pois, segundo a literatura especializada em média a BS da vegetação contém cerca de 45% de Carbono, variando entre 0,43 a 0,48 (Murillo, 1997; Higuchi *et al.*, 1998; Thibau, 2000), como também, poder-se-ia utilizar um valor fixo igual a 0,50 ou 50%, pois, segundo estudos do Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC (IPCC, 2003 e 2007) e de Montagnini & Nair (2004), seria a quantidade de Carbono contida na biomassa da vegetação. O EC foi obtido pela equação linear simples:

$$EC = BS \text{ Total} \times FCC^*$$

\* FCC (FATOR DE CONVERSÃO DE CARBONO) = 0,45

Segundo a literatura em média a BS contém cerca de 0,45 % de Carbono.

(Equação elaborada neste estudo, 2016)

Entretanto, neste estudo o EC na BS da vegetação dos SAF e dos fragmentos de floresta nativa das duas áreas de estudo, foi obtido multiplicando-se a BS pelo fator 0,45, acima citado, e doravante denominado de Fator de Conversão de Carbono (FCC).

### 6.3.6. Matriz de Correlação

A Análise de Correlação é um método estatístico muito utilizado para estudar o grau de relacionamento entre variáveis, fornece um número, indicando como duas variáveis oscilam conjuntamente. Mede a intensidade e a direção da relação linear ou não linear entre duas variáveis. É um indicador que atende à necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que, para isso, seja preciso o ajuste de uma função matemática. Não existe a distinção entre a variável explicativa e a variável resposta, ou seja, o grau de variação conjunta entre  $X$  e  $Y$  é igual ao grau de variação entre  $Y$  e  $X$  (Lira, 2004).

As variáveis correlacionadas no limite (correlação perfeita), como se a variável correlacionasse consigo mesma, o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) será igual a um (1), podendo ser positiva ou negativa. Já as variáveis não correlacionadas no limite (correlação nula), caso de absoluta independência, o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) será igual à zero (0). Nesse intervalo há várias classes de correlações, tais como:  $r$  Fraca (0,10 – 0,39),  $r$  Moderada (0,40 – 0,69),  $r$  Forte (0,70 – 0,89) e  $r$  Muito Forte (0,90 – 0,99).

Foram selecionadas 14 variáveis para compor a matriz de correlação, seis (6) quantitativas representadas por: N ( $n_i/ha$ ), G ( $m^2/ha$ ), BS (t/ha), EC (t/ha), DAP (cm), H (m) e oito (8) qualitativas representadas pelas categorias de uso das espécies cultivadas nos SAF estudados, a seguir: A (%), F (%), M (%), O (%), C (%), E (%), L (%) e D (%). Os dados foram tabulados e analisados em planilha do software Microsoft Excel 2010.

### 6.3.7. O Modelo Presa-Predador de Lotka-Volterra

Para o estudo deste Modelo o Carbono foi considerado como presa e a planta como predadora. Entretanto, o modelo Presa-Predador é comumente usado para avaliar interações entre duas populações de seres vivos (bióticas), exemplo: tubarão  $x$  peixes, felinos  $x$  servos, peixes  $x$  algas. Utiliza-lo para avaliar a interação entre um componente abiótico (Carbono) como presa e um componente biótico (plantas) como predador, foi a principio um desafio.

Entretanto, julgamos ser assim que a ciência e os métodos avançam. Havia algumas incertezas, mas, que ao longo do caminho foram sendo discutidas e dirimidas com professores

do Instituto Ciberespacial (ICIBE) e equipe do Projeto Várzea, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Também, tínhamos a convicção de que o modelo poderia nos fornecer resultados coerentes e confiáveis, talvez inusitados, pois, o Carbono não apresenta eventos naturais de nascimento e de mortalidade. Assim, o “*nascimento*” do Carbono foi considerado pela produção natural ou atividades antrópica e a “*mortalidade*” pela assimilação de Carbono por plantas, via fotossíntese. Então, a partir dessa conjectura passamos a considerar o Carbono a “*população presa*” e as Plantas a “*população predadora*”.

Para o uso e aplicação metodológica foi utilizado o modelo Presa-Predador de Lotka-Volterra, onde: a PRESA foi representada pelo estoque de Carbono (EC) encontrado nos SAF-CM e SAF-TA e o PREDADOR pela população de plantas (açáí, cacau e árvores) cultivadas nos SAF-CM e SAF-TA. Os SAF estudados têm médias de idade de 12 anos de manejo, a partir do enriquecimento de capoeira ou de floresta explorada (SAF Tradicionais de Cametá) e de 12 anos de plantio (SAF Comerciais de Tomé-Açú). Dessa forma o modelo Presa-Predador, assim ficou representado (Figura 4).

PRESA (Carbono)	$x$	PREDADOR (Plantas)
$\frac{\partial \text{Carbono}}{\partial t} = \text{Emissão} \times \text{Carbono} - \text{Absorção} \times \text{Carbono} \times \text{Plantas}$		
$\frac{\partial \text{Plantas}}{\partial t} = - \text{Plantio} \times \text{Plantas} + \text{Desbaste} \times \text{Carbono} \times \text{Plantas}$		

**Figura 4.** Modelo Presa-Predador no contexto da interação da assimilação de Carbono por plantas cultivadas em sistemas agroflorestais (SAF) na Amazônia Oriental.

Fonte: Chase *et. al.* (2011), adaptada pelo autor deste estudo, 2016.

Onde:

- a) taxa de crescimento da população presa = emissão de Carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>);
- b) taxa de decrescimento da população presa = absorção de Carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>);
- c) taxa de crescimento da população predador = plantio nos SAF;
- d) taxa de decrescimento da população predador = desbastes nos SAF.

O Matrix Laboratory (MATLAB) é um ambiente de programação de alto nível que possui características de aplicativo, um software interativo destinado a cálculos numéricos e gráficos científicos. Seu ponto forte é a manipulação e o cálculo de autovalores e autovetores, cálculos matriciais, fatoração de matrizes, resolução de sistemas lineares e de equações diferenciais (Farina & Posser, 2015), como por exemplo, o modelo Presa-Predador de Lotka-

Volterra - utilizado neste estudo para avaliar as interações entre Carbono (presa) e o número de plantas (predador) na pesquisa realizada com espécies vegetais cultivadas em SAF nos municípios de Cametá (tradicional) e Tomé-Açu (comerciais).

### **6.3.8. Comparativo: SAF Tradicional e SAF Comercial**

O estudo comparativo representará a discussão dos resultados das áreas de estudos (SAF-CM e SAF-TA), realizada primeiro dentro de cada área entre suas respectivas parcelas e em seguida será feita através do cruzamento dos resultados das duas áreas estudadas com resultados de outros estudos realizados nas regiões adjacentes e na Amazônia.

O estudo comparativo entre os SAF-CM (Tradicional) com os SAF-TA (Comercial) está alicerçado em pontos comuns das duas pesquisas como: a) Mesma metodologia de coleta de dados (inventário florestal) e de análises florística e estrutural e b) Mesma metodologia para determinação da biomassa seca (BS) e estoque de carbono (EC). Contudo, considerando sempre algumas analogias e particularidades visando vislumbrar diferenciais relevantes entre si e obter resultados consistentes, equilibrados e imparciais. Mas, essa etapa do estudo não terá o objetivo de mostrar qual sistema é o melhor ou o pior, o tradicional ou o comercial, mas sim mostrar os pontos positivos e negativos de cada um, visando assim contribuir e orientar a condução e o manejo desses sistemas produtivos.

Levar em consideração as diferenças é importante para entender o quanto o manejo influencia o ciclo do Carbono. A decisão de uso da terra deve incluir não apenas as mudanças na cobertura vegetal, como o reflorestamento, o enriquecimento de capoeiras, a conversão de florestas em pastagens e roças, entre outras, mas também todas as formas de manejo, como o extrativismo, o uso de produtos não madeireiros e a extração da madeira (Houghton, 2010).

Assim visando minorar possíveis distorções no comparativo deste estudo com outros realizados na região e na Amazônia, os ecossistemas foram enquadrados em três categorias de uso da terra, elaboradas e apresentadas neste estudo, conforme os níveis de antropia e manejo: a) *Ecossistemas Antrópicos*: aqueles que foram plantados e tem manejo constante e intensivo; b) *Ecossistemas Antropizados*: aqueles que já foram explorados e/ou alterados têm manejo moderado e esporádico, visando a sua recuperação ambiental e viabilidade comercial e c) *Ecossistemas Naturais*: aqueles que não foram explorados e/ou alterados ou que têm pequenas intervenções e uso eventual como, por exemplo, o extrativismo de produtos não madeireiros, mas que, mesmo assim, mantém sua fisionomia e características naturais.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. SAF TRADICIONAIS - CULTIVADOS EM CAMETÁ (SAF-CM)

#### 7.1.1. Composição florística

Nos quatro SAF estudados com as seguintes idades de manejo: SAF 1-CM (10 anos), SAF 2-CM (11 anos), SAF 3-CM (13 anos) e SAF 4-CM (14 anos), foram inventariados no total 9.932  $n_i$ /ha, média de 2.458  $n_i$ /ha, com DAP  $\geq$  5 cm, pertencentes a 14 famílias, 19 gêneros e 19 espécies, médias de 10, 13 e 13, respectivamente (Tabela 2). Mimosaceae foi à família que apresentou o maior número de espécies ( $i = 3$ ) (Tabela 3).

O maior número de espécies ocorreu no SAF 1-CM ( $i = 15$ ) e o menor no SAF 4-CM ( $i = 11$ ) (Tabela 2). Seis espécies (31,6%) foram comuns a todos os SAF: *Euterpe oleracea*, *Theobroma cacao*, *Virola surinamensis*, *Hevea brasiliensis*, *Carapa guianensis* e *Inga paraensis*; três espécies (15,8%) ocorreram em três SAF: *Astrocaryum murumuru*, *Pentaclethra macroloba* e *Mora paraensis*; nove espécies (47,4%) em dois SAF: *Anacardium giganteum*, *Spondias lutea*, *Mauritia flexuosa*, *Macarobium angustifolium*, *Swartzia acuminata*, *Hura crepitans*, *Sarcaulus brasiliensis* e *Sterculia speciosa* e uma espécie (5,3%) foi exclusiva do SAF 1-CM: *Symphonia globulifera* (Tabela 3).

**Tabela 2.** Composição florística de quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Abundância (N), médias e erro padrão da média do diâmetro a altura do peito (DAP) ( $M_1 \pm e$ ) e da altura total (H) ( $M_2 \pm e$ ) e dos SAF ( $M_3$ ).

Parcelas	Famílias	Gêneros	Espécies	N ( $n_i$ /ha)	DAP (cm) ( $M_1 \pm e$ )	H (m) ( $M_2 \pm e$ )
SAF 1-CM	11	15	15	2512	11,52 $\pm$ 0,31	12,02 $\pm$ 0,35
SAF 2-CM	11	14	14	2388	10,66 $\pm$ 0,31	8,43 $\pm$ 0,33
SAF 3-CM	8	12	12	2620	9,96 $\pm$ 0,28	7,57 $\pm$ 0,26
SAF 4-CM	9	11	11	2312	10,47 $\pm$ 0,37	7,76 $\pm$ 0,33
$M_3$	10	13	13	2458	10,65 $\pm$ 0,32	8,95 $\pm$ 0,32

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

As maiores médias de DAP e de H foram encontradas no SAF 1-CM e as menores no SAF 3-CM (Tabela 2). Esse fato pode estar relacionado à origem dos SAF - o enriquecimento - pois, o cultivo de novas plantas, propicia num estágio inicial maior crescimento em altura, considerando que essas plantas terão maior competição por luz do que por área, haja vista que foram introduzidas num ambiente sombreado com indivíduos de maior porte.

**Tabela 3.** Espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Ocorrência: presença (x) e ausência (-). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrain fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha e carvão (E); artesanato (L) e diverso (D).

Família / Espécie	Nome vulgar	SAF 1- CM	SAF 2- CM	SAF 3- CM	SAF 4- CM	Categorias de uso
<b>ANACARDIACEAE</b>						
<i>Anacardium giganteum</i> Hanck ex Engel.	Cajuí	-	x	x	-	A,F,E
<i>Spondias lutea</i> L.	Taperebá	x	-	-	x	A,F,M,C,E
<b>ARECACEAE</b>						
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	x	x	x	x	A,F,M,O,C,L
<i>Mauritia flexuosa</i> L.	Buriti	x	-	x	-	A,F,C,L
<b>CAESALPINIACEAE</b>						
<i>Macrolobium angustifolium</i> (Bent) Cow.	Ipê da várzea	x	x	-	-	M,O,C,E
<i>Swartzia acuminata</i> Willd.	Pitaíca	x	x	-	-	O,C,E
<b>CLUSIACEAE</b>						
<i>Symphonia globulifera</i> L. F.	Anani	x	-	-	-	C,E,L
<b>EUPHORBIACEAE</b>						
<i>Hura crepitans</i> L.	Assacú	-	x	-	x	O,E,L
<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	Seringueira	x	x	x	x	F,M,O,L
<b>FABACEAE</b>						
<i>Pterocarpus amazonicus</i> Huber.	Mututi	x	x	-	x	F,O,C,E
<b>MELIACEAE</b>						
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	x	x	x	x	F,M,C,E
<b>MIMOSACEAE</b>						
<i>Pithecellobium acacioides</i> Ducke	Esponjeira	-	-	x	x	O,E,D
<i>Inga paraensis</i> Ducke	Ingá	x	x	x	x	A,F,M,O,E
<i>Pentaclethra maculosa</i> (Willd) O.Kutz	Pracaxi	x	x	x	-	M,O,E
<b>MORACEAE</b>						
<i>Mora paraensis</i> Ducke	Pracuíba	-	x	x	x	F,M,C,E
<b>MYRISTICACEAE</b>						
<i>Virola surinamensis</i> (Rol.) Warb.	Virola	x	x	x	x	F,M,C
<b>SAPOTACEAE</b>						
<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A.DC) Eyma.	Jaraí branco	x	x	-	-	C,E
<b>STERCULIACEAE</b>						
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	x	x	x	x	A,F,M,O
<i>Sterculia speciosa</i> K. Schu.	Capoteiro	x	-	x	-	C,E,D

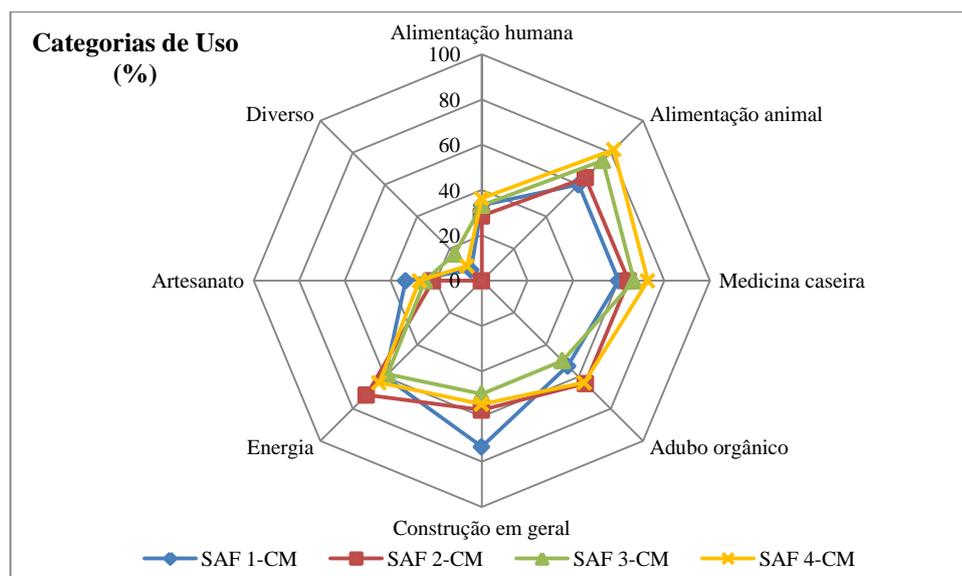
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

### 7.1.2. Finalidades das espécies dos SAF-CM

Nos quatro SAF-CM existem espécies usadas nas propriedades com maior ou menor frequência e espécies para venda. O maior percentual (73,7%) foi das espécies usadas como lenha e carvão (energia), seguido das usadas na construção em geral (68,8%), na alimentação animal/atrain fauna (57,9%), na medicina caseira e como adubo orgânico (52,6%) cada, na alimentação humana (31,6%), no artesanato (21,1%) e das espécies de uso diverso (10,5%) (Tabela 3). O elevado número de espécies usadas como lenha e carvão nos SAF-CM deve-se, em grande parte, à inacessibilidade da população local a outras fontes de energia para uso

doméstico, o mesmo observa-se nas espécies usadas na construção em geral, mas, nesse caso os fatores preponderantes são a carência de recursos, ausência de linha de crédito e a baixa renda. Vale ressaltar, a importância das espécies que servem para alimentação animal/atrair fauna, pois, propiciam a biodiversidade atraindo espécies dispersoras de sementes e, ainda, espécies fontes de proteína e complemento alimentar (caça) das famílias dos agricultores. Em geral, cerca de 65% das espécies cultivadas nos SAF-CM servem para consumo doméstico e 53% servem para venda na comunidade e na sede do município. As espécies chamadas de “adubadeiras” pelos agricultores das áreas estudadas são representadas por *Hevea brasiliensis*, *Hura crepitans*, *Theobroma cacao* e *Euterpe oleracea* e pelas leguminosas (Tabela 3).

Quando consideramos o uso das espécies dos SAF dentro das respectivas propriedades os resultados apresentaram algumas particularidades, por exemplo: no SAF 1-CM, o uso de espécies para construções em geral foi o mais importante com 73,3%; no SAF 2-CM, foi o uso como lenha e carvão (energia) com 71,4%; no SAF 3-CM, foi o uso na medicina caseira com 75% e no SAF 4-CM, foram os usos na alimentação animal/atrair fauna (81,8%) e na medicina caseira (72,7%). As espécies de alimentação humana curiosamente apresentaram percentuais que podem ser considerados baixos, entre 28,6% (SAF 2-CM) e 36,4% (SAF 4-CM), principalmente se avaliarmos que um dos objetivos dos SAF é a produção de alimentos para consumo e venda. Isso pode ter ocorrido devido esses SAF serem originários de capoeira ou floresta explorada que somente após o início do seu manejo, os mesmos foram aos poucos sendo enriquecidos com espécies frutíferas e comerciais (Figura 5).



**Figura 5.** Categorias de uso de espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Cametá, Pará, considerando a perspectiva de uso dentro das propriedades com SAF.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Outros acontecimentos mereceram destaque, o primeiro foi à preservação de espécies adubadeiras com percentuais sempre acima de 50%, demonstrando visão e consciência desses agricultores e a importância que atribuem a essas espécies e o segundo foi o uso relativamente baixo de espécies com potencialidades para o artesanato, com percentuais entre 21,4% e 33,3%, sobretudo, considerando que essa atividade, comumente realizada pelas mulheres, tem grande apelo ecológico e que poderia gerar emprego e renda às famílias com a venda desses produtos na própria comunidade, circunvizinhanças e para visitantes (Figura 5).

### 7.1.3. Estrutura da vegetação

A maior abundância (N) ocorreu no SAF 3-CM (2.620  $n_i$ /ha) e a menor no SAF 4-CM (2.312  $n_i$ /ha). Nos SAF-CM *Euterpe oleracea* foi mais abundante ( $N_{\text{média}} = 1.303$   $n_i$ /ha e  $Dr_{\text{média}} = 52,4\%$ ) e se destacou no SAF 1-CM com  $Dr$  de 74,52%; seguida de *Theobroma cacao* ( $N_{\text{média}} = 732$   $n_i$ /ha e  $Dr_{\text{média}} = 30,2\%$ ) e se destacou no SAF 4-CM com densidade relativa de 59,69%. Juntas apresentaram  $Dr_{\text{média}}$  de 82,6% nos SAF-CM (Tabela 4).

A área basal média dos SAF-CM foi de 32,42  $m^2$ /ha. O SAF 1-CM apresentou a maior área basal (37,77  $m^2$ /ha) e o SAF 4-CM a menor (28,24  $m^2$ /ha). *Euterpe oleracea* apresentou maior área basal e dominância relativa em três dos quatro SAF, a maior  $G = 12,94$   $m^2$ /ha (média de 9,05  $m^2$ /ha) e  $Dor = 34,26\%$ , no SAF 1-CM. *Theobroma cacao*, segunda espécie mais abundante, apresentou área basal média de 2,76  $m^2$ /ha, a maior ( $G = 4,85$   $m^2$ /ha) ocorreu no SAF 4-CM. *Anacardium giganteum* mesmo pouco abundante (16  $n_i$ /ha) se destacou com área basal de 4,08  $m^2$ /ha no SAF 3-CM e *Virola surinamensis* com área basal de 8,05  $m^2$ /ha no SAF 1-TA e 7,72  $m^2$ /ha no SAF 4-CM. *Euterpe oleracea* apresentou os maiores valores percentual dos parâmetros analisados nos SAF, exceto o SAF 4-CM onde *Theobroma cacao* despontou como principal espécie (Tabela 4).

O IVC ratificou a importância das espécies representada pela densidade relativa - que retrata a riqueza de espécies numa área, e pela dominância relativa - que retrata a ocupação de área horizontal ( $m^2$ ) e vertical (m) nos tamanhos dos indivíduos amostrados. *Euterpe oleracea* e *Theobroma cacao* foram mais importantes nos SAF-CM, juntas apresentaram  $IVC_{\text{médio}} = 119,06$  (59,5% do total do IVC). *Euterpe oleracea* dominou os SAF 1, 2 e 3, com destaque no SAF 1-CM com  $IVC = 108,78$  (54,4% do total do IVC) e *Theobroma cacao* o SAF 4-CM com  $IVC = 76,86$  (38,4% do total do IVC). Outras espécies, também, foram importantes com base nos valores do IVC nos SAF-CM: *Virola surinamensis*, *Hevea brasiliensis*, *Carapa guianensis*, *Anacardium giganteum* e *Pterocarpua amazonicus* (Tabela 4).

**Tabela 4.** Abundância (N), área basal (G), densidade relativa (Dr), dominância relativa (Dor) e índice de valor de cobertura (IVC) das espécies mais importantes (baseado no IVC), encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará.

Parcelas	Nome científico	Nome vulgar	N (n <sub>i</sub> /ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	Dr (%)	Dor (%)	IVC
SAF 1-CM	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	1872	12,94	74,52	34,26	108,78
	<i>Virola surinamensis</i>	Virola	244	8,05	9,71	21,32	31,03
	<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira	116	5,48	4,62	14,50	19,12
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	68	2,55	2,71	6,74	9,45
	<i>Pterocarpus amazonicus</i>	Mututi	56	2,67	2,23	7,06	9,29
	Outras espécies (10)	-	156	6,09	6,21	16,12	22,33
	Total		2512	37,77	100,00	100,00	200,00
SAF 2-CM	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	1484	10,40	62,14	32,09	94,23
	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	496	1,78	20,77	5,48	26,25
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	108	5,24	4,52	16,16	20,69
	<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira	72	5,27	3,02	16,27	19,29
	<i>Virola surinamensis</i>	Virola	132	3,60	5,53	11,12	16,65
	Outras espécies (9)	-	96	6,11	4,02	18,87	22,89
Total		2388	32,40	100,00	100,00	200,00	
SAF 3-CM	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	1352	9,07	51,60	28,99	80,59
	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	984	4,20	37,56	13,42	50,98
	<i>Anacardium giganteum</i>	Cajuí	16	4,08	0,61	13,03	13,64
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	72	3,07	2,75	9,80	12,55
	<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira	44	2,92	1,68	9,33	11,01
	Outras espécies (7)	-	152	7,95	5,80	25,43	31,23
Total		2620	31,28	100,00	100,00	200,00	
SAF 4-CM	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	1380	4,85	59,69	17,17	76,86
	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	504	3,79	21,80	13,41	35,21
	<i>Virola surinamensis</i>	Virola	180	7,72	7,79	27,34	35,13
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	60	5,00	2,60	17,70	20,29
	<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira	120	1,60	5,19	5,67	10,86
	Outras espécies (6)	-	68	5,28	2,94	18,71	21,65
Total		2312	28,24	100,00	100,00	200,00	

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

#### 7.1.4. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) dos SAF-CM

A avaliação do EC contido na BS acima do solo nos SAF-CM mostrou o EC de açaí de 7,85 t/ha, média de 1,96 t/ha (42,8% nas folhas e 57,2% nos estipes); o EC de cacau de 2,89 t/ha, média de 0,72 t/ha (17,9% nas folhas e 82,1% na madeira) e as árvores com o maior EC de 219,06 t/ha, média de 54,77 t/ha (1% nas folhas e 99% na madeira). O percentual de concentração e distribuição do EC total nos componentes da vegetação dos quatro SAF-CM foi de 20,6% nas folhas e 79,4% nos estipe/madeira (Tabela 5).

O EC total dos SAF-CM foi de 229,81 t/ha (média de 57,45 t/ha), sendo 95,3% nas árvores, 3,4% no açaí e 1,3% no cacau. Os SAF 1-CM e SAF 4-CM apresentaram EC total superior à média; o maior EC ocorreu no SAF 1-CM (81,53 t/ha) e o menor EC ocorreu no SAF 2-CM (38,89 t/ha). Observam-se valores extremos para os EC de açaí e de cacau nos

SAF 1-CM e SAF 4-CM, corroborando o observado nos valores de abundância, enquanto, as árvores apesar de menos abundantes apresentaram a maior EC (Tabelas 4 e 5).

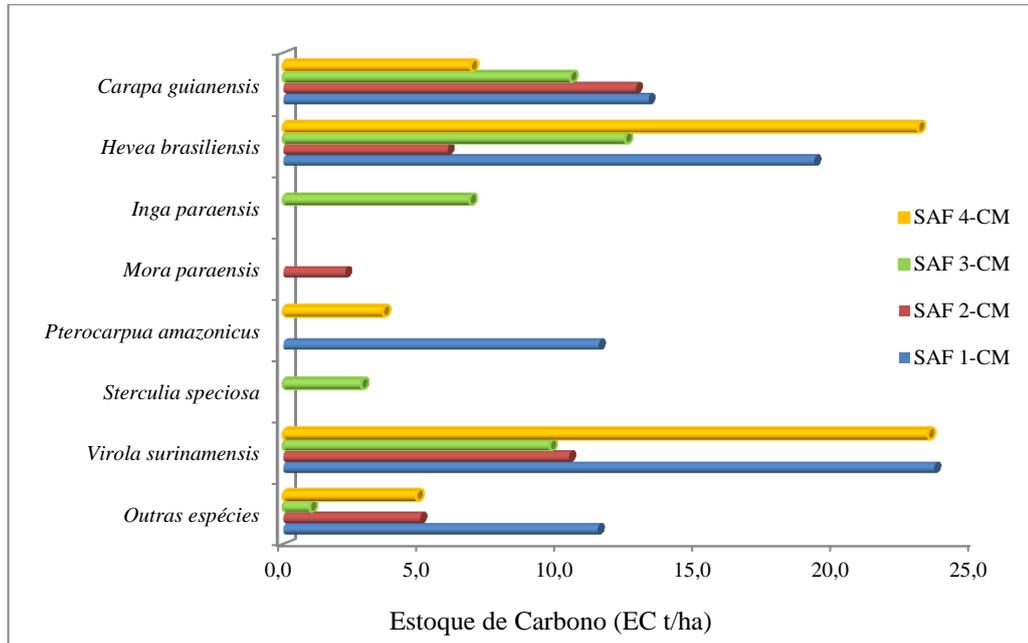
**Tabela 5.** Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo, encontrado em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Cametá, Pará. Fator de Conversão de Carbono (FCC), Média (*M*) e erro padrão da média (*e*).

Equações Alométricas	EC (t/ha)						
	SAF 1-CM	SAF 2-CM	SAF 3-CM	SAF 4-CM	Total	<i>M</i>	<i>e</i>
<b>AÇAÍ</b>							
Eq-1 (BS-folhas)*(FCC)	1,20	0,96	0,86	0,33	3,36	0,84	0,02
Eq-2 (BS-estipes)*(FCC)	1,61	1,28	1,15	0,45	4,49	1,12	0,03
<b>Eq-1 + Eq-2</b>	<b>2,81</b>	<b>2,24</b>	<b>2,02</b>	<b>0,78</b>	<b>7,85</b>	<b>1,96</b>	<b>-</b>
<b>CACAU</b>							
Eq-3 (BS-folhas)*(FCC)	0,01	0,09	0,18	0,24	0,52	0,13	0,01
Eq-4 (BS-madeira)*(FCC)	0,05	0,40	0,83	1,10	2,37	0,59	0,04
<b>Eq-3 + Eq-4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,48</b>	<b>1,00</b>	<b>1,34</b>	<b>2,89</b>	<b>0,72</b>	<b>-</b>
<b>ÁRVORES</b>							
Eq-5 (BS-folhas)*(FCC)	0,78	0,45	0,42	0,60	2,25	0,56	0,02
Eq-6 (BS-madeira)*(FCC)	77,88	35,71	42,41	60,81	216,82	54,20	2,05
<b>Eq-5 + Eq-6</b>	<b>78,65</b>	<b>36,17</b>	<b>42,83</b>	<b>61,41</b>	<b>219,06</b>	<b>54,77</b>	<b>-</b>
<b>EC Total (t/ha)</b>	<b>81,53</b>	<b>38,89</b>	<b>45,85</b>	<b>63,53</b>	<b>229,81</b>	<b>57,45</b>	<b>-</b>

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Entre as árvores, algumas espécies se destacaram em EC: *Carapa guianensis*, *Virola surinamensis* e *Hevea brasiliensis*, presentes nos quatro SAF-CM. Dentre elas *Virola surinamensis* e *Hevea brasiliensis*, apresentaram EC de 23,53 t/ha e 19,19 t/ha no SAF 1-CM e 23,30 t/ha e 22,93 t/ha no SAF 4-CM, respectivamente, juntas essas espécies representaram 52,4% do EC total do SAF 1-CM e 72,8% da EC total do SAF 4-CM. Enquanto *Carapa guianensis* manteve o EC estável nos SAF-CM, com média de 10,76 t/ha (Figura 6).

Contudo, analisando o EC considerando a idade de manejo, no intervalo de tempo do início do manejo dos SAF-CM até a coleta de dados, verificou-se no SAF 1-CM (10 anos) o maior EC de 8,15 t/ha/ano, seguido do SAF 4-CM (14 anos) com 4,54 t/ha/ano, enquanto que o EC nos outros dois SAF foi análogo, de 3,54 t/ha/ano no SAF 2-CM (11 anos) e de 3,53 t/ha/ano no SAF 3-CM (13 anos). Como a diferença de idade de manejo entre os SAF-CM é relativamente pequena, pode-se deduzir que o EC na BS acima do solo pode estar relacionado mais ao porte dos indivíduos de cada SAF, associado ao número de árvores, haja vista que só um fator não explica as variações entre os SAF (Figura 6).



**Figura 6.** Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de espécies florestais cultivadas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Cametá, Pará.  
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

## 7.2. SAF COMERCIAIS - CULTIVADOS EM TOMÉ-AÇÚ (SAF-TA)

### 7.2.1. Composição florística

Nos quatro SAF com as seguintes idades de plantio: SAF 1-TA (3 anos), SAF 2-TA (9 anos), SAF 3-TA (15 anos) e SAF 4-TA (21 anos), foram inventariados no total 4.996  $n_i$ /ha, média de 1.249  $n_i$ /ha, com DAP  $\geq$  5 cm, pertencentes a 9 famílias, 13 gêneros e 13 espécies, com respectivas médias de 6, cada (Tabela 6). Anacardiaceae foi à família que apresentou o maior número de espécies ( $i = 3$ ) (Tabela 7).

O maior número de espécies ocorreu no SAF 1-TA ( $i = 8$ ) e o menor no SAF 4-TA ( $i = 4$ ) (Tabela 6). Duas espécies (15,4%) foram comuns a todos os SAF: *Euterpe oleracea* e *Theobroma cacao*; cinco espécies (38,5%) ocorreram em dois SAF: *Spondias lutea*, *Tabebuia serratifolia*, *Shizolobium amazonicum*, *Bertholletia excelsa* e *Swietenia macrophylla*; seis espécies (46,2%) ocorreram somente uma vez nos SAF: *Astronium lecointei* e *Anacardium giganteum* no SAF 1-TA, *Carapa guianensis* e *Nephelium lappaceum* no SAF 2-TA, *Musa sapientum* no SAF 3-TA e *Clitoria fairchildiana* no SAF 4-TA (Tabela 7).

**Tabela 6.** Composição florística de quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Abundância (N), médias e erro padrão da média do diâmetro a altura do peito (DAP) ( $M_1 \pm e$ ) e da altura total (H) ( $M_2 \pm e$ ) e dos SAF ( $M_3$ ).

Parcelas	Famílias	Gêneros	Espécies	N (n <sub>i</sub> /ha)	DAP (cm) ( $M_1 \pm e$ )	H (m) ( $M_2 \pm e$ )
SAF 1-TA	7	8	8	1316	8,13 ± 0,08	3,23 ± 0,05
SAF 2-TA	7	7	7	656	14,30 ± 0,32	5,23 ± 0,15
SAF 3-TA	5	5	5	1771	11,46 ± 0,09	4,21 ± 0,04
SAF 4-TA	4	4	4	1253	13,69 ± 0,36	5,48 ± 0,08
$M_3$	6	6	6	1249	11,90 ± 0,21	4,54 ± 0,08

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

As maiores médias de DAP e de H foram encontradas nos SAF 2-TA e SAF 4-TA, respectivamente, e as menores no SAF 1-TA (Tabela 6). As médias de DAP (14,30 cm) e de H (5,23 m) observadas no SAF 2-TA, saíram da lógica esperada de incremento em relação ao tempo de plantio dos SAF-TA, pois, foram maiores que as médias dos SAF mais velhos, esse evento pode estar relacionado ao cultivo de *Bertholletia excelsa* e, ainda, ao maior percentual de árvores (13,6%) existente nesse SAF (Tabelas 6 e 8).

**Tabela 7.** Espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Ocorrência: presença (x) e ausência (-). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrain fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha e carvão (E); artesanato (L) e diverso (D).

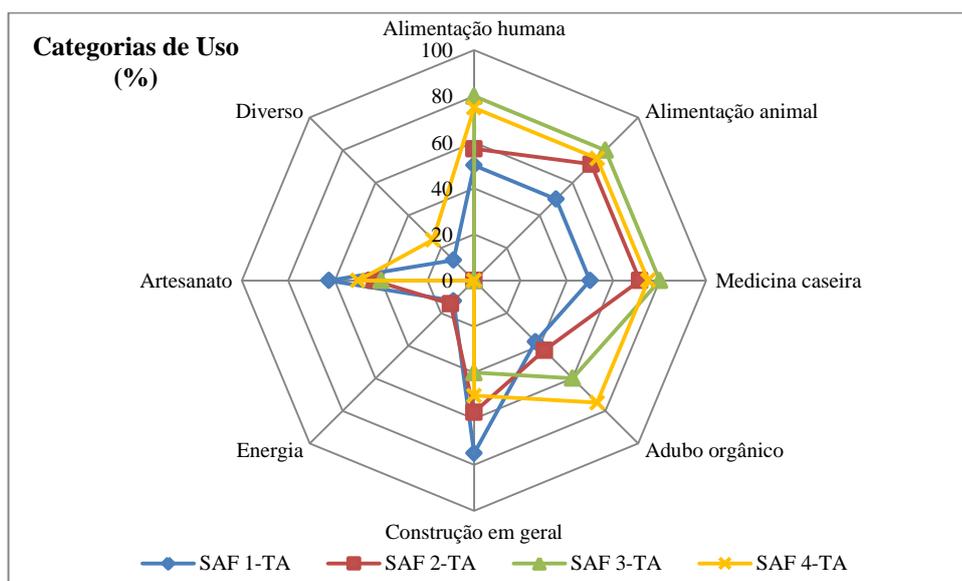
Família / Espécie	Nome vulgar	SAF 1-TA	SAF 2-TA	SAF 3-TA	SAF 4-TA	Categorias de uso
<b>ANACARDIACEAE</b>						
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Aroeira	x	-	-	-	C,L,D
<i>Anacardium giganteum</i> Hanck ex Engel.	Cajuí	x	-	-	-	A,F,C
<i>Spondias lutea</i> L.	Taperebá	-	-	x	x	A,F,M,C
<b>ARECACEAE</b>						
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	x	x	x	x	A,F,M,O,L
<b>BIGNONIACEAE</b>						
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols	Ipê amarelo	x	x	-	-	C,L
<b>CAESALPINIACEAE</b>						
<i>Shizolobium amazonicum</i> Huber	Paricá	x	x	-	-	M,O,C,E
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard	Palheteira	-	-	-	x	O,C,L,D
<b>LECYTHIDACEAE</b>						
<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.	Castanha do Pará	x	x	-	-	A,F,M,C,L
<b>MELIACEAE</b>						
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	-	x	-	-	F,M,C
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mógno	x	-	x	-	C,L
<b>MUSACEAE</b>						
<i>Musa sapientum</i> L.	Bananeira	-	-	x	-	A,F,M,O
<b>SAPINDACEAE</b>						
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Rambutã	-	x	-	-	A,F
<b>STERCULIACEAE</b>						
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	x	x	x	x	A,F,M,O

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

### 7.2.2. Finalidades das espécies dos SAF-TA

Nos quatro SAF-TA existem espécies usadas nas propriedades com maior ou menor frequência e espécies para venda. O maior percentual foi das espécies usadas na construção em geral (69,2%), seguido das usadas na alimentação animal/atrair fauna (61,5%), na alimentação humana e medicina caseira (53,8%) cada, como adubo orgânico e no artesanato (46,2%) cada, em uso diverso (12,5%) e como lenha e carvão (energia) com 7,7% (Tabela 7). Vale ressaltar que as espécies usadas na alimentação animal/atrair fauna, figura entre as mais importantes nos quatro SAF-TA, o que é positivo e relevante, pois propiciam diversidade de fauna, muitas dispersoras de semente, cumprindo um dos objetivos dos SAF que é criar meios para regeneração natural das espécies. Em geral, cerca de 46% das espécies cultivadas nos SAF-TA, servem para consumo doméstico e 93% servem para venda no comércio local, regional e nacional e/ou externo. As espécies chamadas de “adubadeiras” pelos produtores das áreas estudadas são representadas por: *Euterpe oleracea*, *Theobroma cacao*, *Shizolobium amazonicum*, *Clitoria fairchildiana* e *Musa sapientum* (Tabela 7).

Quando consideramos o uso das espécies dos SAF dentro das respectivas propriedades os resultados mostraram uma excepcionalidade, o baixo percentual (SAF 1 e 2) ou a ausência (SAF 3 e 4) de espécies usadas como lenha e carvão (energia) e algumas particularidades como o mesmo percentual de uso na alimentação humana, na alimentação animal/atrair fauna e na medicina caseira em três SAF-TA (1, 3 e 4), cumprindo com um dos principais objetivos dos SAF que é a produção de alimentos para consumo humano ou animal (Figura 7).



**Figura 7.** Categorias de uso de espécies encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Tomé-Açú, Pará, considerando a perspectiva de uso dentro das propriedades com SAF.  
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Outros acontecimentos mereceram destaque como as espécies usadas na construção em geral que foram mais importantes nos SAF 1-TA com 75%; já, as espécies adubadeiras foram mais importantes nos SAF 3-TA e SAF 4-TA (60%) cada. O uso para artesanato foi um dos mais importantes nos SAF-TA, com destaque nos SAF 1-TA (62,5%) e SAF 4-TA (50%), essa atividade comumente realizada pelas mulheres tem grande potencialidade econômica e apelo ecológico e cultural e capacidade de gerar emprego e renda na propriedade às famílias, com a venda de produtos na própria comunidade, circunvizinhanças e visitantes (Figura 7).

### 7.2.3. Estrutura da vegetação

A maior abundância ( $N$ ) ocorreu no SAF 3-TA (1.771  $n_i$ /ha) e a menor no SAF 4-TA (656  $n_i$ /ha). Nos SAF-TA *Theobroma cacao* foi mais abundante ( $N_{\text{média}} = 822$   $n_i$ /ha e  $Dr_{\text{média}}$  de 66,7%) e se destacou no SAF 1-TA com  $Dr$  de 79,33%; seguida de *Euterpe oleracea* ( $N_{\text{média}} = 332$   $n_i$ /ha e  $Dr_{\text{média}} = 24,9\%$ ) e se destacou no SAF 4-TA com  $Dr$  de 41,49%. Juntas apresentaram  $Dr_{\text{média}}$  de 91,5% (Tabela 8).

A área basal média dos SAF-TA foi de 17,95  $m^2$ /ha. O SAF 4-TA apresentou a maior área basal (31,32  $m^2$ /ha) e o SAF 1-TA a menor (7,49  $m^2$ /ha). *Theobroma cacao* apresentou maior área basal e dominância relativa em três dos quatro SAF, a maior  $G = 13,01$   $m^2$ /ha (média de 8,52  $m^2$ /ha) e  $Dor = 68,3\%$ , no SAF 3-TA. *Euterpe oleracea*, segunda espécie mais abundante, apresentou área basal média de 2,71  $m^2$ /ha, a maior ( $G = 4,87$   $m^2$ /ha) ocorreu no SAF 4-TA e a menor ( $G = 0,60$   $m^2$ /ha) no SAF 2-TA. *Spondias lutea* mesmo pouco abundante (79  $n_i$ /ha) se destacou com  $G = 15,01$   $m^2$ /ha (média de 7,51  $m^2$ /ha) e, ainda, apresentou a maior área basal ( $G = 14,49$   $m^2$ /ha) no SAF 4-TA. *Theobroma cacao* apresentou os maiores valores percentual dos parâmetros analisados na maioria dos SAF (Tabela 8).

O IVC ratificou a importância das espécies representada pela densidade relativa que retrata a riqueza de espécies nas áreas estudadas e pela dominância relativa que retrata a ocupação de área horizontal ( $m^2$ ) e vertical ( $m$ ) nos tamanhos dos indivíduos amostrados. *Theobroma cacao* e de *Euterpe oleracea* foram mais importantes nos SAF-TA, juntas apresentaram  $IVC_{\text{médio}} = 160,53$  (80,3% do total do IVC). *Theobroma cacao* foi à espécie mais importante nos quatro SAF, com destaque no SAF 1-TA, com  $IVC = 147,63$  (73,8% do total do IVC), seguida de *Euterpe oleracea* com destaque no SAF 4-TA, com  $IVC = 57,50$  (28,8% do total do IVC). Outras espécies, também, foram importantes com base nos valores do IVC nos SAF-TA: *Spondias lutea*, *Bertholletia excelsa*, *Swietenia macrophylla*, *Musa sapientum* e *Carapa guianensis* (Tabela 8).

**Tabela 8.** Abundância (N), área basal (G), densidade relativa (Dr), dominância relativa (Dor) e índice de valor de cobertura (IVC) das espécies mais importantes (baseado no IVC), encontradas em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará.

Parcelas	Nome científico	Nome vulgar	N (n/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	Dr (%)	Dor (%)	IVC
SAF 1-TA	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	1044	5,12	79,33	68,30	147,63
	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	171	0,93	12,97	12,37	25,34
	<i>Swietenia macrophylla</i>	Móгно	55	0,88	4,15	11,71	15,87
	<i>Shizolobium amazonicum</i>	Paricá	11	0,34	0,81	4,48	5,29
	Outras espécies (4)	-	36	0,23	2,74	3,13	5,86
	Total		1316	7,49	100,00	100,00	200,00
SAF 2-TA	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	472	7,96	71,95	60,76	132,71
	<i>Bertholletia excelsa</i>	Castanha do Pará	40	3,67	6,10	28,01	34,11
	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	95	0,60	14,43	4,60	19,03
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	32	0,37	4,88	2,86	7,74
	Outras espécies (3)	-	17	0,49	2,64	3,77	6,41
	Total		656	13,11	100,00	100,00	200,00
SAF 3-TA	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	1123	13,01	63,40	65,38	128,78
	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	543	4,43	30,65	22,29	52,93
	<i>Musa sapientum</i>	Bananeira	49	1,21	2,79	6,08	8,87
	<i>Swietenia macrophylla</i>	Móгно	40	0,73	2,26	3,65	5,91
	<i>Spondias lutea</i>	Taperebá	16	0,52	0,90	2,61	3,51
	Total		1771	19,89	100,00	100,00	200,00
SAF 4-TA	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	651	7,99	51,91	26,26	78,18
	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	520	4,87	41,49	16,01	57,50
	<i>Spondias lutea</i>	Taperebá	63	14,49	5,00	47,62	52,62
	<i>Clitoria fairchildiana</i>	Palheteira	20	3,07	1,60	10,10	11,70
	Total		1253	31,32	100,00	100,00	300,00

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

#### 7.2.4. Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) dos SAF-TA

A avaliação do EC contido na BS acima do solo nos SAF-TA mostrou o EC de açaí de 2,10 t/ha, média de 0,53 t/ha (42,2 % nas folhas e 57,8 % nos estipes); o EC de cacau de 4,62 t/ha, média de 1,16 t/ha (16,2 % nas folhas e 83,8 % na madeira) e as árvores apresentaram o maior EC (89,55 t/ha), média de 22,39 t/ha (0,7 % nas folhas e 99,3 % na madeira). O percentual de concentração e distribuição do EC total nos componente da vegetação dos SAF-TA foi de 19,7 % nas folhas e 80,3 % nos estipe/madeira (Tabela 9).

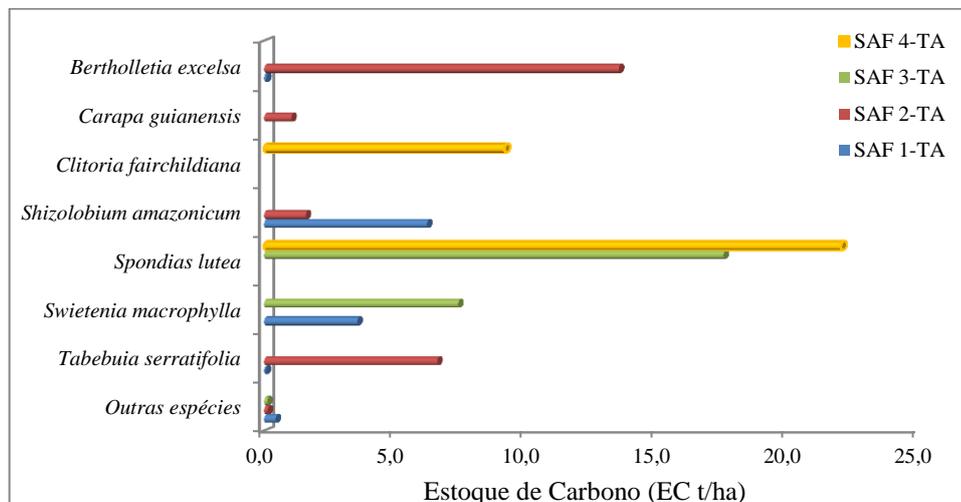
O EC total nos SAF-TA foi de 96,28 t/ha (média de 24,07 t/ha), sendo 93,0 % nas árvores, 4,8 % no cacau e 2,2 % no açaí. Os SAF 3-TA e SAF 4-TA apresentaram EC total superior à média; o maior EC ocorreu no SAF 4-TA (33,06 t/ha), enquanto, o menor BS ocorreu no SAF 1-TA (11,71 t/ha). O EC de açaí variou pouco entre os SAF 1-TA e SAF 2-TA e foi igual nos SAF 3-TA e SAF 4-TA, enquanto, o EC de cacau oscilou entre os quatro SAF-TA, corroborando o observado nos valores de abundância, enquanto as árvores, apesar de menos abundantes nos SAF-TA, apresentaram o maior EC (Tabelas 8 e 9).

**Tabela 9.** Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo, encontrado em quatro sistemas agroflorestais (SAF), estudados em Tomé-Açú, Pará. Fator de Conversão de Carbono (FCC), Médias (*M*) e erro padrão da média (*e*).

Equações Alométricas	EC (t/ha)					<i>M</i>	<i>e</i>
	SAF 1-TA	SAF 2-TA	SAF 3-TA	SAF 4-TA	TOTAL		
<b>AÇAÍ</b>							
Eq-1 (BS-folhas)*(FCC)	0,11	0,06	0,36	0,36	0,89	0,22	0,02
Eq-2 (BS-estipes)*(FCC)	0,14	0,08	0,50	0,50	1,22	0,30	0,03
<b>Eq-1 + Eq-2</b>	<b>0,24</b>	<b>0,14</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>2,10</b>	<b>0,53</b>	<b>-</b>
<b>CACAU</b>							
Eq-3 (BS-folhas)*(FCC)	0,20	0,13	0,27	0,16	0,75	0,19	0,00
Eq-4 (BS-madeira)*(FCC)	0,91	0,73	1,39	0,83	3,87	0,97	0,02
<b>Eq-3 + Eq-4</b>	<b>1,11</b>	<b>0,85</b>	<b>1,66</b>	<b>0,99</b>	<b>4,62</b>	<b>1,15</b>	<b>-</b>
<b>ÁRVORES</b>							
Eq-5 (BS-folhas)*(FCC)	0,12	0,17	0,16	0,22	0,67	0,17	0,01
Eq-6 (BS-madeira)*(FCC)	10,24	22,75	24,92	30,99	88,89	22,22	1,99
<b>Eq-5 + Eq-6</b>	<b>10,36</b>	<b>22,91</b>	<b>25,08</b>	<b>31,21</b>	<b>89,55</b>	<b>22,39</b>	<b>-</b>
<b>EC Total (t/ ha)</b>	<b>11,71</b>	<b>23,91</b>	<b>27,60</b>	<b>33,06</b>	<b>96,28</b>	<b>24,07</b>	<b>-</b>

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Entre as árvores, algumas espécies se destacaram em EC: *Spondias lutea*, *Bertholletia excelsa* e *Clitoria fairchildiana*, nos SAF-TA. Especialmente *Spondias lutea* que apresentou EC de 48,96 t/ha (66,6%) no SAF 4-TA e 17,55 t/ha (63,6%) no SAF 3-TA, essa espécie sozinha representou 41,1% do EC total dos SAF-TA. Outras espécies, também, mereceram destaque *Shizolobium amazonicum* com EC de 6,22 t/ha (53,1%) e *Swietenia macrophylla* com EC de 3,56 t/ha (14,9%) no SAF 1-TA, sobretudo se considerarmos que este SAF tem apenas três anos de plantio e manejo (Figura 8).



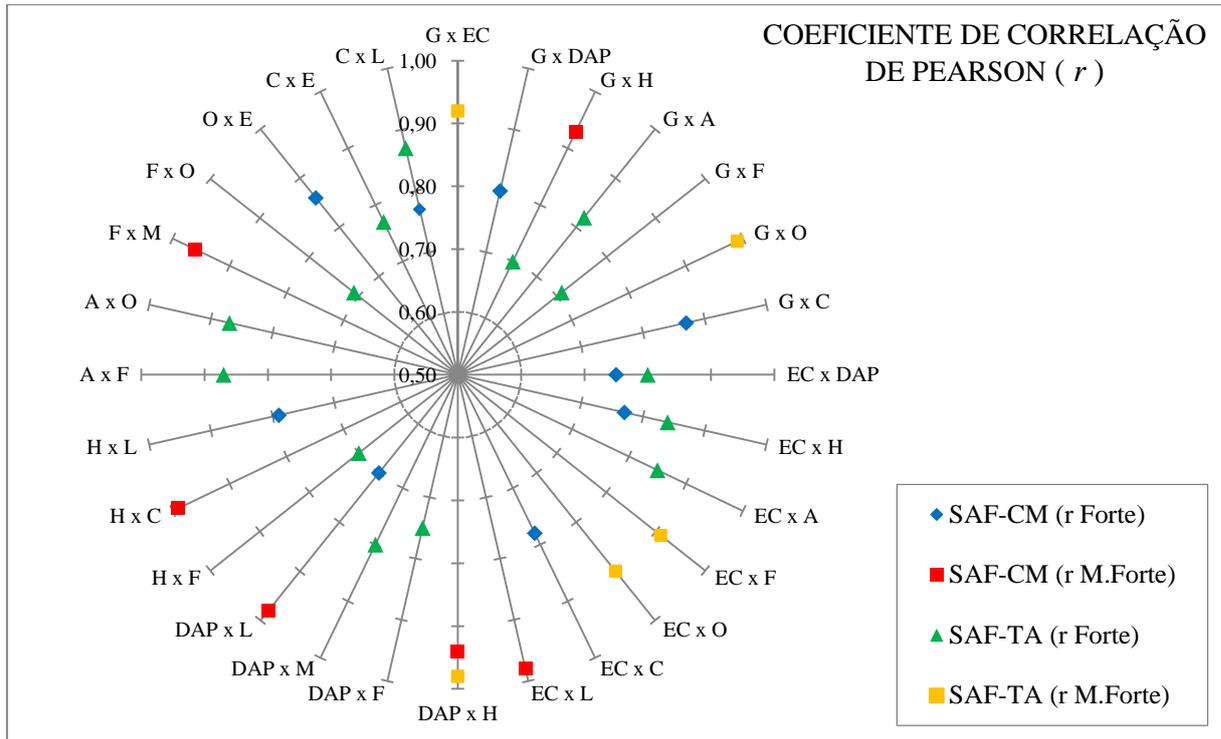
**Figura 8.** Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de espécies florestais cultivadas em quatro sistemas agroflorestais (SAF) em Tomé-Açú, Pará.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Contudo, analisando o EC considerando a idade de plantio, no intervalo de tempo do início do plantio dos SAF-TA até a coleta de dados, verificou-se o crescimento da vegetação, através da média dos anos de plantio, considerando a idade de cada SAF, com resultados de EC no SAF 1-TA (3 anos) de 3,90 t/ha/ano; no SAF 2-TA (9 anos) o EC de 2,66 t/ha/ano; no SAF 3-TA (15 anos) o EC de 1,84 t/ha/ano e no SAF 4-TA (21 anos) o EC de 1,57 t/ha/ano. Ratificando que o maior incremento em biomassa e consequente fixação de Carbono ocorrem nos primeiros anos de plantio, reduzindo gradativamente com o amadurecimento desses SAF, que leva a dedução que com o passar do tempo os SAF vão aos poucos se comportando como uma floresta natural e, se assim deixar, provavelmente entrará no estágio clímax. Mas, quando consideramos o percentual de participação de cada SAF na quantificação do EC Total dos SAF-TA, os resultados mostraram os maiores percentuais de EC ocorreram nos SAF mais velhos: 12,2 % no SAF 1-TA; 24,8 % no SAF 2-TA; 28,8 % no SAF 3-TA e 34,3 % no SAF 4-TA, corroborando com a tese que refere se um sistema ou povoamento vegetal fixa mais Carbono nos primeiros anos de plantio, um sistema ou povoamento plantado e já estabelecido ou maduro o retém e o estoca em grande quantidade e de forma permanente, além de propiciar a biodiversidade e o equilíbrio no ecossistema (Figura 8).

### 7.3. CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS NOS SAF-CM / SAF-TA

A partir dos valores de 14 variáveis divididas dois grupos, sendo seis (6) quantitativas, representadas por parâmetros estruturais da vegetação e oito (8) qualitativas, representadas pelas categorias de uso das espécies cultivadas nos SAF, foram geradas 98 correlações, das quais 34 foram qualificadas, segundo o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), como *r Forte* no SAF-CM (9) e no SAF-TA (14) e *r Muito Forte* no SAF-CM (6) e no SAF-TA (5). Dentre essas destacamos as correlações que quase alcançaram o nível da perfeição (1), as quais: EC x L, DAP x L e H x C nos SAF-CM (0,98, 0,98 e 0,99) e G x O e DAP x H nos SAF-TA (0,99 e 0,98). As variáveis que mais apresentaram *r Forte* e *r Muito Forte* foram o EC (10) nos SAF-CM (4 e 6) e a G (8) nos SAF-TA (3 e 5). Curiosamente a variável L (espécies usadas no artesanato) despontou entre as que apresentaram correlações *r Forte* (4) e *r Muito Forte* fortes (2), nos dois SAF estudados (Figura 9).



**Figura 9.** Análise de Correlação de variáveis quantitativas e qualitativas de espécies cultivadas em sistemas agroflorestais (SAF), estudados nos municípios de Cametá e de Tomé-Açu, Estado do Pará. Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), sendo:  $r$  Forte (0,70 – 0,89) e  $r$  Muito Forte (0,90 – 0,99). Categorias de uso: alimentação humana (A); alimentação animal/atrair fauna (F); medicina caseira (M); adubo orgânico (O); construção em geral - civil, naval, móveis, etc. (C); energia - lenha e carvão (E); artesanato (L) e diverso (D). Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

#### 7.4. FLORESTAS DE VÁRZEA (FVA) E DE TERRA FIRME (FTF) E OS SAF

No fragmento de floresta de várzea (FVA), estudado em Cametá, foram inventariados um total de 2.856  $n_i$ /ha com DAP  $\geq$  5 cm, pertencentes a 14 famílias, 24 gêneros e 25 espécies e no fragmento de floresta de terra firme (FTF), estudado em Tomé-Açu, foram inventariados um total de 1.008  $n_i$ /ha com DAP  $\geq$  5 cm, pertencentes a 25 famílias, 30 gêneros e 35 espécies. Na FVA as famílias Caesalpinaceae e Moraceae apresentaram o maior número de espécies ( $i = 5$  e 3); *Euterpe oleracea* foi à espécie mais importante ( $N = 1.700$   $n_i$ /ha e  $G = 9,49$   $m^2$ /ha). Já na FTF as famílias Lecythydaceae, Mimosaseae e Sapotaceae apresentaram o maior número de espécies ( $i = 4, 4$  e 3), respectivamente; *Pouteria granulosa* foi à espécie mais abundante (176  $n_i$ /ha); enquanto, que a *Inga auristellae* apresentou a maior área basal (2,18  $m^2$ /ha), seguida de *Guatteria poeppigiana* (1,77  $m^2$ /ha) e de *Pouteria granulosa* (1,68  $m^2$ /ha) (Apêndices 2.1 e 2.2).

O EC na BS acima do solo na FVA foi de 72,40 t/ha (BS de 160,88 t/ha). *Carapa guianensis* apresentou o maior EC = 33,79 t/ha (46,7% do EC total), seguida de *Hevea brasiliensis* com EC de 13,13 t/ha (18,1%) e *Virola surinamensis* com 6,93 t/ha (9,6%). Enquanto, o EC na BS acima do solo na FTF foi de 76,03 t/ha (BS de 168,95 t/ha). *Guatteria poeppigiana* apresentou o maior EC = 12,94 t/ha (37,8% do EC total), seguida de *Tabebuia serratifolia* com EC de 9,03 t/ha (26,4%) e *Pouteria granulosa* com 6,78 t/ha (19,8%). A FTF apesar de ter quase um terço da abundância da FVA apresentou maior EC (Apêndice 2.2).

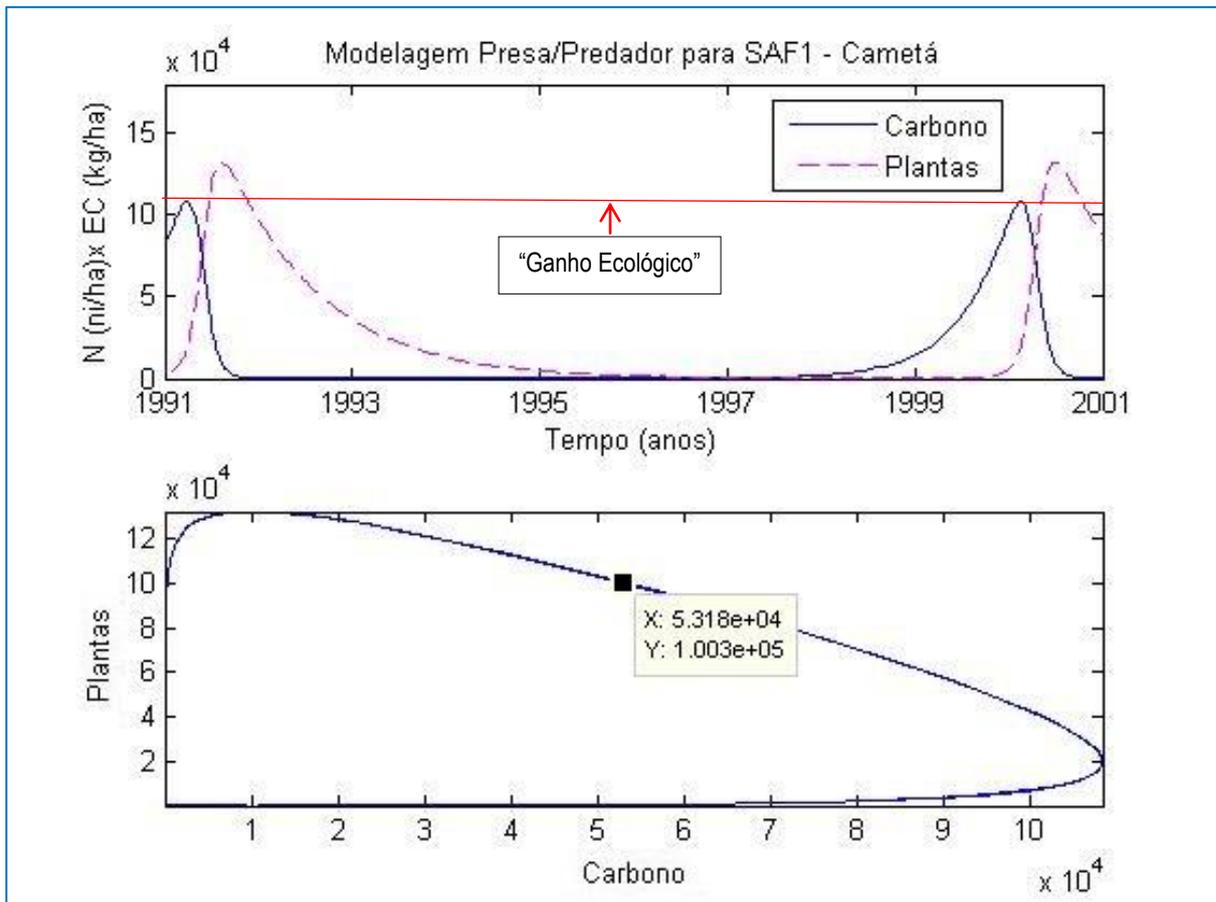
Quanto à contribuição dos fragmentos de florestas na composição e arranjos dos SAF estudados, o maior percentual de espécies comuns (73,7 %) foi registrado entre a FVA e SAF-CM, quase cinco vezes maior que a contribuição da FTF na composição dos SAF-TA, que foi de apenas 15,4% (Apêndice 2.2). Essa grande diferença da participação dos fragmentos de florestas nativas na composição dos SAF nas respectivas áreas de estudo está relacionada à origem dos referidos SAF, haja vista, que os primeiros são oriundos de capoeiras ou floresta já exploradas (SAF tradicionais) e os segundos criados e implantados em áreas já cultivadas ou em terras preparadas para o plantio desses sistemas modelados (SAF comerciais). Outro fator é que a partir da intervenção antrópica nesses SAF a tendência é haver seleção de mudas, tanto na produção quanto nos plantios a serem realizados nos referidos SAF; prática que nos SAF-TA é mais acentuada do que nos SAF-CM, onde predomina o uso da regeneração natural da vegetação o que é comum entre os agricultores locais.

## 7.5. ASSIMILAÇÃO DE CARBONO EM SAF

### 7.5.1. Interação e Ponto de Equilíbrio - SAF-CM

Para o estudo da avaliação da interação e do ponto de equilíbrio entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) dos SAF-CM, conforme os resultados da análise florística e determinação do EC contido na BS acima do solo, detalhados para processamento dos dados das unidades produtivas: SAF 1-CM, SAF 2-CM, SAF 3-CM e SAF 4-CM (Tabelas 4 e 5).

Nos SAF-CM no primeiro ano de manejo 1991 (SAF-1), 1990 (SAF-2), 1988 (SAF-3) e 1987 (SAF-4), a população de plantas era menor em relação à população de Carbono, mas nota-se evolução na taxa de crescimento a partir do ano seguinte: em 1992 (SAF-1), em 1991 (SAF-2), em 1989 (SAF-3) e em 1988 (SAF-4), prevalecendo sempre maior evolução da população predadora (plantas), com destaque nos SAF 1 e 4, enquanto, que a população presa (Carbono) que no início era maior que a população predadora, começou a apresentar taxa de decréscimo (redução) nos quatro SAF-CM (Figura 10 e Apêndice 4.1).



**Figura 10.** Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Cametá, Para. Utilizando as Equações Simultâneas de Lotka-Volterra (Modelo Presa-Predador).

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

As populações de Carbono e de plantas entraram em ponto de equilíbrio: SAF 1-CM em meado do ano de 1991, SAF 2-CM em meado de 1990, SAF 3-CM no final de 1988 e SAF 4-CM no final de 1987. Um novo ponto de equilíbrio foi observado no SAF 1-CM em meado do ano de 2000, no SAF 2-CM em meado de 1997, no SAF 3-CM em meado de 1995 e no SAF 4-CM no final de 1995 (Figura 10). A partir do início do manejo nos SAF e coleta dos dados em 2001, foi possível observar a evolução das populações e identificar o ápice das curvas de crescimento no tempo, em primeiro plano a da presa (Carbono) e em segundo a do predador (plantas), tendo como referência o ponto de equilíbrio. No geral poderíamos dizer que a partir deste ponto a população de Carbono começa a evoluir, ainda, no primeiro ano de manejo, enquanto que a população de plantas a partir do ano seguinte (Figura 10).

Como o modelo Presa-Predador é um sistema que apresenta oscilações, ora aumenta ora diminui, o ciclo apresenta períodos ou intervalos de tempo nos eventos de interação: no SAF 1-CM em 1991 e 2000, no SAF 2-CM em 1990 e 1997, no SAF 3-CM em 1988 e 1995 e

no SAF 4-CM em 1987 e 1995. Com projeção gráfica de novos eventos entre 2001-2010 (SAF 1-CM), 1997-2004 (SAF 2-CM), 1995-2002 (SAF 3-CM) e 1995-2003 (SAF 4-CM). A defasagem na evolução entre as populações foi de cerca de seis meses nos SAF-CM (1, 3 e 4) e de cerca de um ano no SAF 2-CM, média de 7,5 meses (Figura 10).

Analisando a evolução das populações de Carbono e de plantas, observou-se que chegaram ao seu ponto máximo (ápice), respectivamente, com valores absolutos: no SAF 1-CM de 110.000 e 135.000 e equilíbrio em 75.000, no SAF 2-CM de 70.000 e 90.000 e equilíbrio em 50.000, no SAF 3-CM de 75.000 e 95.000 e equilíbrio em 53.000 e no SAF 4-CM de 95.000 e de 125.000 e equilíbrio em 65.000, prevalecendo sempre a maior evolução da população de plantas (Figura 10).

Na segunda parte dos gráficos temos um circuito ou elipse (Trajetória) que mostra a relação numérica das interações entre as populações (concentração) nos SAF-CM, onde, o ponto de equilíbrio foi alcançado nos intervalos de tempo, acima mostrados, cujas populações de Carbono e de plantas chegaram ao equilíbrio nos respectivos valores absolutos: no SAF-1 de 53.180 kg e 100.300  $n_i$ , em 1996, no SAF-2 de 31.770 kg e 76.940  $n_i$ , em 1995, no SAF-3 de 36.430 kg e 77.470  $n_i$ , em 1994 e no SAF-4 de 41.010 kg e 94.710  $n_i$ , em 1993 (Figura 10).

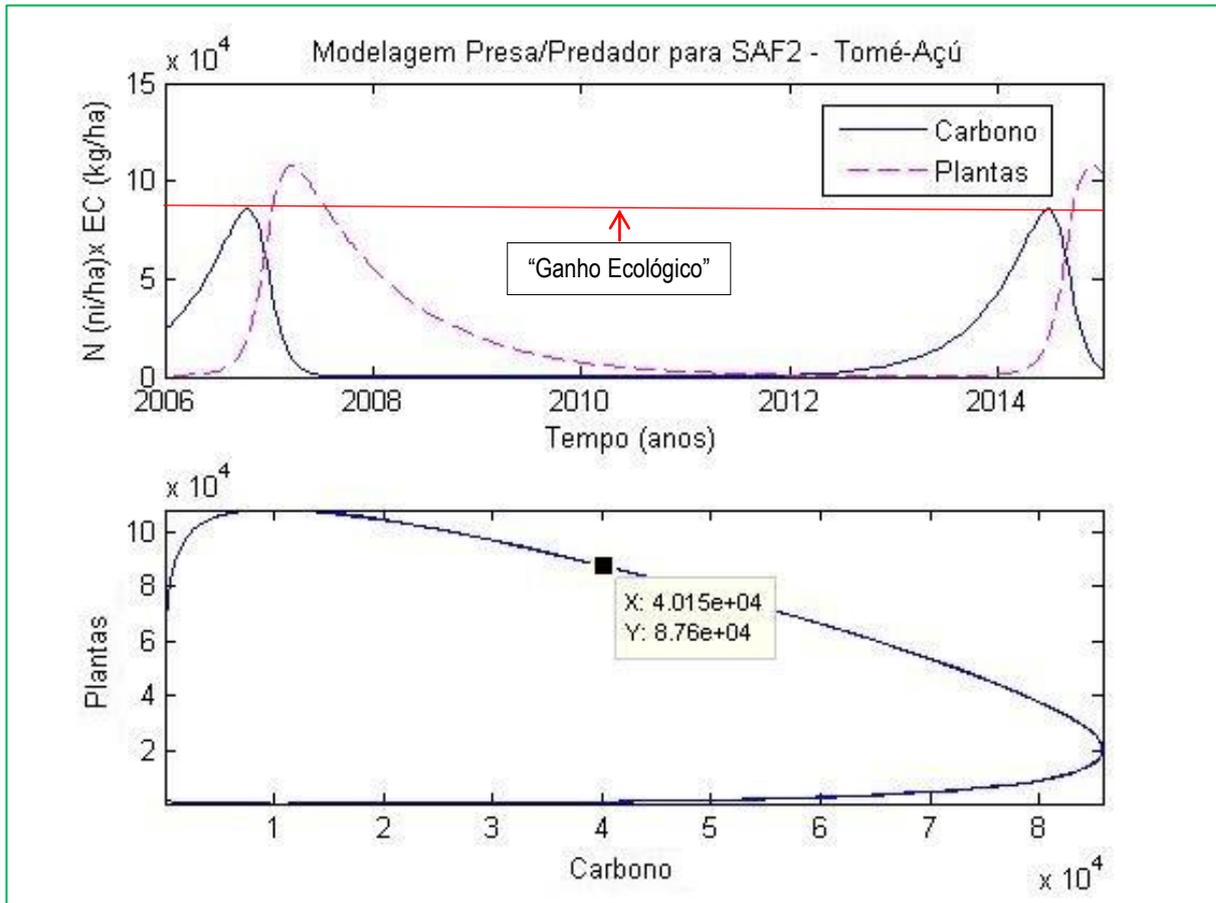
A assimilação de Carbono foi maior no período entre os anos de 1991-1993 (maior evento) e 2000-2001 no SAF 1-CM, entre 1991-1992 e 1997-1998 no SAF 2-CM, entre 1989-1990 e 1996-1997 no SAF 3-CM e entre 1998-1999 e 1996-1997 no SAF 4-CM. O ano de 1997 foi mais propício à assimilação de Carbono nos SAF-CM, bem como o biênio 1996-1997, com registro em dois SAF (Figura 10).

### **7.5.2. Interação e Ponto de Equilíbrio - SAF-TA**

Para o estudo da avaliação da interação e do ponto de equilíbrio entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) dos SAF-TA, conforme os resultados da análise florística e determinação do EC contido na BS acima do solo, detalhados para processamento dos dados das unidades produtivas: SAF 1-TA, SAF 2-TA, SAF 3-TA e SAF 4-TA (Tabelas 8 e 9).

Nos SAF-TA no primeiro ano de plantio 2012 (SAF-1), 2006 (SAF-2), 2000 (SAF-3) e 1994 (SAF-4), a população de plantas era menor em relação à população de Carbono, mas nota-se evolução na taxa de crescimento a partir do ano seguinte: em 2013 (SAF-1), em 2007 (SAF-2), em 2001 (SAF-3) e em 1995 (SAF-4), prevalecendo sempre maior evolução da população predadora (plantas), com destaque nos SAF 2 e 4, enquanto, que a população presa (Carbono) que no início era maior que a população das plantas, começou a apresentar taxa de

decréscimo (redução) nos quatro SAF estudados, com pequeno acréscimo no SAF-3, em meado de 2014 (Figura 11 e Apêndice 4.2).



**Figura 11.** Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Tomé-Açú, Para. Utilizando as Equações Simultâneas de Lotka-Volterra (Modelo Presa-Predador).

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

As populações de Carbono e de plantas entraram em ponto de equilíbrio: SAF 1-TA no início do ano de 2013, SAF 2-TA no início de 2007, SAF 3-TA no início de 2001 e SAF 4-TA no início de 1995. O SAF 1-TA só apresentou um evento de ponto de equilíbrio, devido a pouca idade (3 anos). Porém, nos demais SAF um novo ponto de equilíbrio foi observado, no SAF 2-TA em meado do ano de 2014, no SAF 3-TA em meado de 2007 e no SAF 4-TA no início de 2002. Outro ponto de equilíbrio foi observado nos SAF mais velhos (15 e 21 anos), no SAF 3-TA no início do ano de 2014 e no SAF 4-TA em meado de 2009 (Figura 11). A partir do plantio nos SAF e coleta dos dados em 2015, foi possível observar a evolução das populações e identificar o ápice das curvas de crescimento no tempo, em primeiro plano a da presa (Carbono) e em segundo a do predador (plantas), tendo como referência o ponto de equilíbrio. No geral poderíamos dizer que a partir deste ponto a população de Carbono

começa a evoluir, ainda, no primeiro ano de plantio e manejo, enquanto que a população de plantas a partir do ano seguinte (Figura 11).

Como o modelo Presa-Predador é um sistema que apresenta oscilações, ora aumenta ora diminui, o ciclo apresenta períodos ou intervalos de tempo nos eventos de interação: no SAF 1-TA em 2013, no SAF 2-TA em 2007 e 2014, no SAF 3-TA em 2001, 2007 e 2014 e no SAF 4-TA em 1995, 2002 e 2009. Com projeção gráfica de novos eventos entre 2015-2018 (SAF 1-TA), 2014-2021 (SAF 2 e 3) e 2009-2016 (SAF 4-TA). A defasagem na evolução entre as populações foi de cerca de seis meses no SAF 1-TA e de cerca de um ano nos SAF-TA (2, 3 e 4), média de 10,5 meses (Figura 11).

Analisando a evolução das populações de Carbono e de plantas, observou-se que chegaram ao seu ponto máximo (ápice), respectivamente, com valores absolutos: no SAF 1-TA de 60.000 e 85.000 e equilíbrio em 51.000, no SAF 2-TA de 90.000 e 115.000 e equilíbrio em 65.000, no SAF 3-TA de 70.000 e 95.000 e equilíbrio em 48.000 e no SAF 4-TA de 80.000 e de 100.000 e equilíbrio em 63.000, prevalecendo sempre a maior evolução da população de plantas (Figura 11).

Na segunda parte dos gráficos temos um circuito ou elipse (Trajetória) que mostra a relação numérica das interações entre as populações (concentração) nos SAF-TA, onde, o ponto de equilíbrio foi alcançado nos intervalos de tempo mostrados acima, cujas populações de Carbono e de plantas chegaram ao equilíbrio nos respectivos valores absolutos: no SAF-1 de 32.160 kg e 70.630 n<sub>i</sub>, em 2013, no SAF-2 de 40.100 kg e 87.600 n<sub>i</sub>, em 2010, no SAF-3 de 31.420 kg e 73.860 n<sub>i</sub>, em 2007 e no SAF-4 de 41.290 kg e 77.830 n<sub>i</sub>, em 2005 (Figura 11).

A assimilação de Carbono foi maior no período entre os anos de 2013-2014 no SAF 1-TA, entre 2007-2009 e 2014-2015 no SAF 2-TA, entre 2001-2002, 2007-2009 (maior evento) e 2014-2015 no SAF 3-TA e entre 1994-1996, 2002-2003 e 2009-2011 no SAF 4-TA. O ano de 2014 foi mais propício à assimilação de Carbono nos SAF-TA, com registro em três SAF, bem como o biênio 2014-2015, com registro em dois SAF (Figura 11).

## **8. DISCUSSÃO**

### **8.1. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO**

Apesar dos SAF estudados em Cametá e em Tomé-Açú, serem diferentes na origem e concepção, onde o primeiro prioriza a diversidade biológica e naturalidade (SAF Tradicional) e o segundo o melhor arranjo espacial e tecnologia de cultivo (SAF Comercial), ambos têm as mesmas finalidades, em suma visam produzir alimentos, serviços ambientais, diversidade de

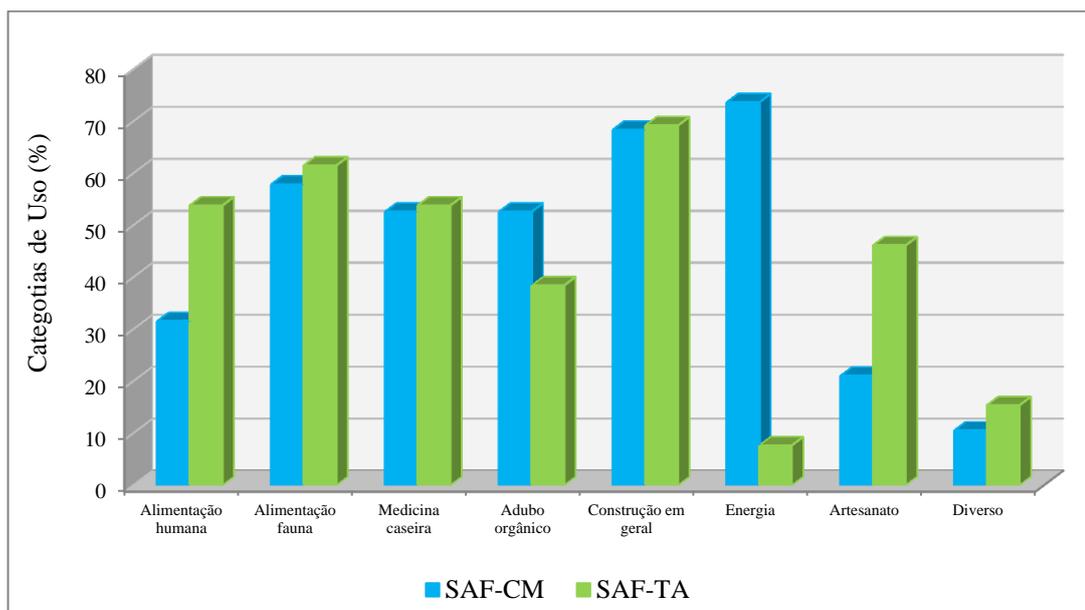
produção e renda, dentro de suas particularidades. Dessa forma, os sistemas produtivos foram comparados pela funcionalidade no cenário local e nas propriedades onde estão implantados, e ainda, pela importância socioeconômica e ambiental, seguindo o descrito no item 6.3.8.

A riqueza de espécies encontrada nos SAF-CM ( $i = 19$ ) foi superior à encontrada nos SAF-TA ( $i = 13$ ) (Tabelas 2 e 6), a diferença relevante observada entre as áreas estudadas deve-se em parte aos percentuais de espécies comuns 31,6% e 15,4%, respectivamente, bem como a origem dos SAF e manejo adotado. A riqueza encontrada neste estudo foi superior à encontrada em outros estudos, como nos SAF ( $i = 9$ ) na Amazônia Oriental (Mavisoy, 2013), nos SAF ( $i = 10$ ) em Tomé-Açú (Brancher, 2010) e nos Quintais Agroflorestais ( $i = 10$ ) nas várzeas de Bragança (Bentes-Gama *et al.*, 1999); inferiores as encontradas nos SAF ( $i = 29$  e 54) em Tomé-Açú (Bolfé *et al.*, 2009; 2012) e nos SAF ( $i = 23$ ) das várzeas de Afuá (Queiroz & Mochiutti, 2000), mas compatíveis com as encontradas nos SAF ( $i = 16$ ) em Igarapé-Açú (Vieira *et al.*, 2007). As espécies mais importantes neste estudo *Euterpe oleraceae* e *Theobroma cacao*, também foram importantes noutros estudos na Amazônia (Mavisoy, 2013; Bolfé *et al.*, 2012; Kato *et al.*, 2012; Brancher, 2010; Oliveira & Kato, 2010).

As médias de abundância e de área basal dos SAF-CM ( $N = 2.458$   $n_i/ha$  e  $G = 32,42$   $m^2/ha$ ) foi quase o dobro das encontradas nos SAF-TA ( $N = 1.249$   $n_i/ha$  e  $G = 17,95$   $m^2/ha$ ) (Tabelas 4 e 8), valores que refletem na ocupação (densidade) e cobertura (dominância) das áreas dos referidos SAF e conseqüentemente no IVC (Índice de Valor de Cobertura). Como no caso anterior esse fato, também, se sustenta na origem desses SAF, onde em Cameté os agricultores fazem manejo moderado e de baixo impacto, preservando indivíduos das espécies sem grandes intervenções como, por exemplo, desbastes e raleamento, no máximo de corte de cipós e de estipes nas touceiras de açazeiros mais velhos, que são aproveitadas na produção de palmitos. Enquanto, que em Tomé-Açú os SAF têm o número de plantas pré-determinado no plantio pelo espaçamento adotado e, ainda, pelo manejo e tratos culturais que em alguns casos, reduz o número de indivíduos cultivados. As médias de abundância e de área basal dos SAF deste estudo foram inferiores as encontradas em outros SAF estudados em Tomé-Açú (1.424  $n_i/ha$  e 16,55  $m^2/ha$ ; 1.806  $n_i/ha$  e 18,30  $m^2/ha$ ) por Bolfé *et al.*, (2009; 2012) e nas várzeas de Barcarena (1.292  $n_i/ha$  e 30,80  $m^2/ha$ ) por Anderson *et al.*, (1985); sendo que a abundância foi compatível a encontrada em Barcarena, enquanto a área basal foi ligeiramente superior a encontrada no primeiro estudo em Tomé-Açú (em 2009), mas, quase a metade da encontrada em Barcarena.

## 8.2. FINALIDADES DAS ESPÉCIES DOS SAF

Nos SAF estudados o contraste mais relevante quanto o uso das espécies foi observado nas usadas como lenha e carvão (energia), onde o percentual nos SAF-CM (73,7%) foi quase dez vezes maior que nos SAF-TA (7,7%) e nas usadas no artesanato, onde o percentual nos SAF-CM (21,1%) foi menos da metade do que nos SAF-TA (46,2%). Os dois casos refletem realidades distintas, a inacessibilidade ou mesmo a falta de bens e serviços aos agricultores das várzeas de Cametá, contrapondo a melhor infraestrutura e organização social e, ainda, mais serviços disponíveis aos agricultores das comunidades de Tomé-Açú. Enquanto, que as maiores semelhanças foram observadas nas espécies usadas na alimentação animal/atrainr fauna (57,9% e 61,5%) e nas usadas na construção em geral (68,4% e 69,2%) nos SAF-CM e SAF-TA, respectivamente; fato que demonstra ao mesmo tempo apreço pelo meio ambiente e visão de mercado dos agricultores de ambas as áreas de estudo (Figura 12).



**Figura 12.** Categorias de uso de espécies encontradas em sistemas agroflorestais (SAF) nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado de Pará.  
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

Outros estudos adotaram categorias de uso das espécies semelhantes às deste estudo, como os realizados nos SAF nas várzeas de Barcarena e de Bragança (Anderson *et al.*, 1985; Bentes-Gama *et al.*, 1999), com percentuais de 40% para uso na medicina caseira e de 60% para alimentação humana, percentuais superiores para os mesmos usos encontrados nos SAF-CM e inferiores nos SAF-TA (Figura 12). Estudando os SAF em Igarapé-Açú Vieira *et al.* (2007), classificaram as espécies quanto a finalidade em autoconsumo e comercialização, encontrando percentuais de 32% e 95%, respectivamente, os quais foram inferiores aos

percentuais encontrados nos SAF-CM (65%) e nos SAF-TA (46%) para o autoconsumo, superior ao encontrado no SAF-CM (53%) e compatível ao encontrado no SAF-TA (93%) para a comercialização (Tabelas 3 e 7). O maior percentual de espécies de autoconsumo nos SAF estudados, em relação às espécies comerciais revela o grande contraste entre os SAF tradicional e comercial, mostrando que os usos estão relacionados mais com a segurança alimentar do que com a demanda de mercado local e/ou circunvizinho.

### 8.3. ESTOQUE DE CARBONO (EC) NA BIOMASSA SECA (BS)

A média de EC contido na BS acima do solo nos SAF-CM (57,45 t/ha) foi mais que o dobro da média encontrada nos SAF-TA (24,07 t/ha) (Tabela 10), a grande diferença entre as médias de EC dos SAF estudados, nos reporta novamente a origem, a idade e ao manejo.

Entretanto, outro fator pode ser visto como determinante para tal diferença, o número de árvores nos SAF-CM que foi quase cinco vezes maior que nos SAF-TA, pois, a árvore aporta maior biomassa e conseqüentemente fixa mais Carbono, fato corroborado nos SAF estudados com EC de 95,3%, em Cameté e de 93,0%, em Tomé-Açú, (Tabela 10), pode-se dizer que a abundância das árvores influenciou diretamente nas médias de EC, mais existem outras variáveis que influenciam o desenvolvimento vegetativo e produção de biomassa num ecossistema como o tamanho (DAP e H) das plantas e o tempo de plantio e/ou manejo.

A média de EC encontrada nos SAF-CM em relação a outros estudos (Tabela 10) foi superior às médias obtidas em cinco Ecossistemas Antrópicos: SAF (3), PAE (1) e MCA (1) e em três Ecossistemas Antropizados: CAE (2) e CAP (1); mas inferior às obtidas em quatro Ecossistemas Antrópicos: SAF (1), QAF (1), CAR (1) e MCA (1); seis Ecossistemas Antropizados: CAE (2), CAP (2) e FTF (2) e aos dez Ecossistemas Naturais: FVA (3) e FTF (7), inclusive aos dois deste estudo. Enquanto, que a média de EC encontrada nos SAF-TA foi inferior às médias em todos os outros estudos das três categorias de uso da terra: Ecossistemas Antrópicos (9), Antropizados (10) e Naturais (10), inclusive aos deste estudo (Tabela 10).

Os resultados aqui apresentados demonstrando menor quantidade de Carbono fixado nos SAF estudados, principalmente os SAF-TA, em analogia a outros estudos realizados nas regiões adjacentes e na Amazônia, em primeira ordem, não deve e nem pode ser considerado como frustrante ou desastroso, ao ponto de dizer que os SAF estocam menos Carbono do que esse ou aquele sistema produtivo. Murillo (1997) considera inadequado comparar qual tipo de sistema fixa mais Carbono se o natural ou o plantado. Ainda mais, se considerar o resultado em relação aos ecossistemas naturais, seria o esperado por se tratar de povoamentos vegetais

estabelecidos, maduros e em alguns casos em estado clímax (Alvim, 1973), como, também, alguns ecossistemas antropizados como florestas exploradas e capoeiras, que de certa forma, ainda, mantém parte da fisionomia, estrutura e da fisiologia da vegetação original. Quanto aos ecossistemas antrópicos a analogia mostrou a mesma tendência (Tabela 10).

**Tabela 10.** Resumo comparativo de médias de Estoque de Carbono (EC) na Biomassa Seca (BS) acima do solo de sistemas agroflorestais (SAF) estudados nos municípios de Cameté e de Tomé-Açu, Estado do Pará, com as médias de EC na BS de outros estudos realizados em SAF, florestas nativas de várzea (FVA) e de terra firme (FTF), quintais agroflorestais (QAF), capoeiras (CAP), capoeiras enriquecidas (CAE), consórcios de árvores (CAR), monocultivo de árvores (MCA) e plantio de árvores para enriquecimento (PAE), em regiões adjacentes a área de estudo e na Amazônia. Métodos de determinação de biomassa na vegetação (MDBV).

---	BS (t/ha)	EC (t/ha)*	MDBV	Tipos	Local	Fonte
Ecossistemas Antrópicos	53,49	24,07	Indireto	SAF	Tomé-Açu - PA	Este estudo (2016)
	142,20	63,99	Indireto	SAF	Amazônia Ocidental	Mavisoy (2013)
	184,40	82,98	Indireto	QAF	Amazônia Ocidental	Mavisoy (2013)
	89,10	40,10	Indireto	SAF	Tomé-Açu - PA	Bolfe <i>et al</i> (2012)
	78,00	35,10	Direto	PAE	Igarapé-Açu - PA	Brienza Jr. (2012)
	177,78	80,00	Indireto	CAR	Manaus - AM	Chaves <i>et al</i> (2011)
	166,67	75,00	Indireto	MCA	Manaus - AM	Chaves <i>et al</i> (2011)
	78,49	35,32	Indireto	SAF	Tomé-Açu - PA	Brancher (2010)
	111,11	50,00	Direto	SAF	Amazônia	Montagnini & Nair (2004)
	70,83	31,87	Indireto	MCA	Porto Velho - RO	Locatelli <i>et al.</i> (2001)
Ecossistemas Antrópicos	127,67	57,45	Indireto	SAF	Cameté - PA	Este estudo (2016)
	95,30	42,89	Indireto	CAE	Amazônia Ocidental	Mavisoy (2013)
	196,64	88,49	Indireto	CAP	Nova Ipixuna - PA	Costa (2012)
	181,31	81,59	Indireto	CAP	Pacajá - PA	Costa (2012)
	68,16	30,67	Indireto	CAP	Parauapebas - PA	Costa (2012)
	218,47	98,31	Indireto	FTF	Nova Ipixuna - PA	Costa (2012)
	339,36	152,71	Indireto	FTF	Pacajá - PA	Costa (2012)
	160,80	72,36	Indireto	FTF	Parauapebas - PA	Costa (2012)
	199,00	89,55	Direto	CAE	Paragominas - PA	Pereira (2001)
	106,00	47,70	Direto	CAE	Igarapé-Açu - PA	Brienza Jr. (1999)
Ecossistemas Naturais	160,88	72,40	Indireto	FVA	Cameté - PA	Este estudo (2016)
	168,95	76,03	Indireto	FTF	Tomé-Açu - PA	Este estudo (2016)
	254,60	114,57	Indireto	FTF	Amazônia Ocidental	Mavisoy (2013)
	255,91	115,16	Indireto	FTF	Nova Ipixuna - PA	Costa (2012)
	488,82	219,97	Indireto	FTF	Pacajá - PA	Costa (2012)
	346,06	155,73	Indireto	FTF	Manaus - AM	Matos & Kirchner (2008)
	246,10	110,74	Direto	FVA	Cameté - PA	Bartelt <i>et al</i> (2000)
	307,00	138,15	Indireto	FVA	Abaetetuba - PA	Tsuchiya & Hiraoka (1999)
	289,00	130,05	Indireto	FTF	Abaetetuba - PA	Tsuchiya & Hiraoka (1999)
	428,00	192,60	Direto	FTF	Amazônia	Fearnside (1994)

\* Valores médios calculados a partir dos dados originais dos referidos estudos utilizando o Fator de Conversão de Carbono (FCC = 0,45).

Fonte: Resultados dos estudos citados - Adaptados pelo autor deste estudo, 2016.

Entretanto, alguns fatores devem ser levados em consideração como a idade de plantio e manejo relativamente baixa desses SAF estudados, médias de 12 anos de manejo (SAF-CM) e de 12 anos de plantio (SAF-TA), fator que de certa forma contribui para o menor EC, pois apesar das plantas terem maior incremento em altura e em diâmetro nos primeiros anos de plantio, que comina na maior dinâmica na assimilação de Carbono, havendo o declínio natural com passar do tempo, enquanto, que em povoamentos formados e maduros as plantas mais velhas estocam mais Carbono e de forma permanente como ocorre em ecossistemas antrópicos e antropizados antigos ou ecossistemas naturais. Como, também, a baixa densidade de árvores, sobretudo nos SAF-TA, mas, que por sua vez está dentro dos objetivos desses SAF, onde os componentes arbóreos seriam coadjuvantes das espécies principais (*Theobroma cacao* e *Euterpe oleraceae*) e usados para sombreamento, proteção contra ventos, cobertura do solo, bordaduras ou, ainda, uma poupança ou investimento futuro numa provável venda de madeira. Enquanto, que a geração de renda decorre da comercialização das espécies principais e outras espécies cultivadas nos SAF, nesse caso os objetivos comerciais prevalecem sobre os ecológicos, por exemplo, maior número de planta do que produção de BS.

#### 8.4. ASSIMILAÇÃO DE CARBONO NOS SAF

Neste estudo observou-se a sucessão oscilante na evolução das populações de presas e de predador, onde sempre as primeiras (presas) são maiores no início, todavia, alcançadas e superadas pelas segundas (predadoras), observado na análise de cada SAF (Figuras 10 e 11). O que é positivo, exitoso e desejado do ponto de vista ambiental e socioeconômico, poderia dizer que os SAF estudados estariam cumprindo alguns de seus atributos, como: contribuir para minorar agravos ambientais causados por atividades antrópicas, reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e geração de renda, se remunerados nesse importante serviço ambiental.

Outro fato a ser considerado seria qual a defasagem de tempo na evolução dessas populações (Carbono e plantas), qual a real oscilação estabelecendo valores ou intervalos no tempo, visando identificar ou mesmo presumir um padrão de interação, haja vista que quando se trata de interação entre espécies animais uma presa e outra predadora, o ideal seria haver oscilação entre essas populações, ora elas crescem, ora elas reduzem, numa interação que uma regula a quantidade e/ou a existência da outra. Esse processo se dá num ciclo que se repete e se renova no tempo, o que é importante e salutar à seleção natural nos sistemas biológicos, onde prevalecem e sobrevivem os indivíduos mais fortes e as espécies mais adaptadas em conformidade com a Teoria da Evolução das Espécies de Charlie Darwin (1877).

Comportamento semelhante foi observado entre as populações estudadas, com maior evolução sempre da população de plantas cultivadas nos oito SAF, que realmente foi constatado nos gráficos de modelagem (Apêndices 4.1 e 4.2). Entretanto, se tratando que a interação ocorre entre uma população abiótica (Carbono) como presa e uma população biótica (plantas) como predadora, o ideal seria que a partir do ponto de equilíbrio, contrapondo a Teoria da Evolução das Espécies, não se observassem mais oscilações entre as populações, mas somente a evolução da população predadora (plantas) que significaria maior eficiência na assimilação de Carbono, que geraria em tese um superávit (ganho ecológico) no “sequestro de Carbono”. Mas, tanto nas interações entre populações bióticas quanto populações abióticas e bióticas, para o bom funcionamento dos sistemas naturais é imprescindível que se tenha ou mantenha o equilíbrio nas relações e nas interações entre as espécies, as partes, os seres envolvidos, etc.

Dessa forma, o aumento do número de plantas cultivadas nos SAF, recurso renovável, implicaria numa maior taxa de assimilação de Carbono, consequentemente numa interação positiva para o meio ambiente, tanto o natural, quanto antrópico. Entende-se que a pressão pela redução da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é consequência dos possíveis encontros (interações) entre Presa (Carbono) e Predador (plantas), esse efeito supõe serem proporcionais ao produto de ambas as “populações”, enquanto a redução no número de predadores (plantas) ocorreria como resultado desses encontros (interações) tendo como consequência a redução na quantidade de Carbono adsorvido, diminuindo, também, a quantidade de predadores.

Considerando as características constitutivas dos sistemas que consiste que as relações não são explicáveis a partir das peculiaridades das partes isoladas. Bertalanffy (1975) ressalta que “o todo é mais que a soma das partes”, porém, se nessa mesma relação for conhecida à totalidade das partes desse sistema e suas relações intrínsecas, o comportamento desse sistema pode derivar do comportamento de suas partes.

Os SAF estudados apresentaram praticamente o mesmo número de interações entre as populações de Carbono e plantas, sendo 8 nos SAF-CM e 9 nos SAF-TA. Média de dois eventos, por SAF em Cameté, enquanto, que a distribuição dos eventos em Tomé-Açú, foi de um, dois e três (duas vezes) por SAF. Devido a pouca idade do SAF 1-TA, não foi possível observar a continuidade do ciclo em um novo evento de interação. Os pontos de equilíbrio entre as populações seguiu o mesmo padrão de distribuição das interações acima citadas. O modelo Presa-Predador ser um sistema oscilatório é evidente que na evolução das populações, nos gráficos por várias vezes o valor da população de Carbono (presa) e a população de planta (predador) quase chegam à zero no seu tamanho, o que não é real na lógica do ponto de vista

do quantitativo, mas para o modelo matemático sim, pois, na realidade este deve ser visto e analisado de maneira qualitativa (Chase *et al.*, 2011).

A defasagem na evolução da população dos SAF estudados em relação à evolução da população de Carbono até seu ponto máximo foi em média de 7,5 meses nos SAF-CM e de 10,5 meses nos SAF-TA. Essa defasagem tem na população de Carbono sempre adiantada (até de 1 ano e de até 6 meses) em relação a população de plantas, cuja defasagem sempre atrasada (até de 1 ano e de até 6 meses). A partir disto pode-se dizer que a população de Carbono inicia nova evolução de crescimento (aumento da presa), até novo encontro entre as duas populações em novos eventos de interação e, respectivo, ponto de equilíbrio quando essa é superada pela evolução da população de plantas (aumento de predadores), caracterizando assim um sistema oscilatório e contínuo no tempo.

Nas duas áreas estudadas a população de Carbono sempre inicia com maior potencial, agindo como se fosse um predador, mas passa a ser presa quando a população de plantas supera a sua população. Representado um ganho ou superávit ecológico, pois, houve absorção total de CO<sub>2</sub> naquele local (microclima). É notável que a população de plantas tenha sempre que reagir muito mais (basta comparar a diferença entre os máximos de ambas as populações), isso se justifica pelo início dos eventos de manejo da vegetação nos SAF-CM onde se busca elevar ao máximo o crescimento das plantas já existentes com enriquecimento com espécies frutíferas e pelo início do plantio nos SAT-TA onde se busca com a implantação e condução de plantas novas em modelos predeterminados e planejados. Todavia, em ambos os sistemas visasse potencializar a assimilação do Carbono, uma vez que o CO<sub>2</sub> é produzido e transferido para atmosfera ininterruptamente constituindo-se como um dos principais GEE.

A revisão de literatura sobre modelagem matemática de sistemas e ecologia numérica na busca de referência e comparativo para nosso estudo mostrou que o modelo Presa-Predador nunca havia sido utilizado na análise da dinâmica da interação entre uma população abiótica (Carbono) e uma população biótica (plantas). Um estudo mais similar foi o realizado por Aviz dos Santos (2011) entre população de árvores (presa) e população humana (predador), no município de Moju, Pará. Buscando referências na literatura Aviz dos Santos, deparou-se com uma situação semelhante, haja vista segundo alguns pesquisadores consultados, não haver um nível trófico direto entre humanos e árvores, que sugeriram que o modelo de Presa-Predador nesse caso fosse chamado de Recurso-Consumidor, recurso (árvores) e consumidor (homens), o que foi acatado naquela pesquisa.

## 9. CONCLUSÕES

Nos SAF estudados em Cameté (SAF-CM) e em Tomé-Açú (SAF-TA) classificados como tradicional e comercial, respectivamente, as espécies *Euterpe oleracea* e *Theobroma cacao* devido à importância socioeconômica e ecológica, mereceram destaque, assim como, outras espécies como: *Virola surinamensis*, *Hevea brasiliensis* e *Carapa guianensis*, nos SAF-CM e *Spondia lutea*, *Bertholletia excelsa* e *Swietenia macrophylla*, nos SAF-TA. Essas espécies tiveram seus resultados ratificados pelas análises florística e estrutural, os quais as credenciam para compor os SAF e/ou outros sistemas produtivos nos referidos municípios, regiões adjacentes e para a Amazônia, independente de qual seja sua finalidade se comercial, consumo doméstico ou ambiental,

A geração de energia (lenha ou carvão) foi à finalidade mais importante nos SAF-CM, já o uso da madeira na construção em geral (civil, naval, marcenaria) nos SAF-TA; donde a perspectiva de uso induz a concluir que está havendo uso inadequado das espécies, sobretudo nos SAF de Cameté, considerando que espécies de valor comercial e de uso múltiplo, com potencialidade para manejo de produto florestal não madeireiro, serem usadas para esse fim.

O alto percentual de espécies de consumo doméstico nos SAF-CM e o alto percentual de espécies comerciais nos SAF-TA, revela o contraste entre o SAF tradicional focado na biodiversidade e o SAF comercial focado na produção/venda. Entretanto, ambos demonstram possibilidade de sustentabilidade socioeconômica e ecológica, dentro de suas particularidades.

Tanto nos SAF-CM quanto nos SAF-TA o EC contido na BS acima do solo foi maior nas árvores do que no açaí e cacau. O manejo adotado no SAF influencia o EC, se bem feito a sua capacidade de assimilar Carbono é igual e/ou até excede a de outros sistemas produtivos como os plantios de árvores para enriquecimento, capoeiras manejadas ou enriquecidas. Nesse sentido os SAF-CM mostraram maior eficiência que os SAF-TA.

Os SAF estudados, sobretudo os de Cameté demonstraram serem capazes de prestar relevantes serviços ambientais e geração de emprego e renda com pagamentos em crédito de Carbono, podendo contribuir tanto na assimilação de Carbono e mitigação da ação danosa dos GEE na atmosfera, com eficácia, quanto na redução dos efeitos de áreas desmatadas e avanço da fronteira agrícola, fixando o homem na sua propriedade evitando o êxodo rural e agravos socioeconômicos e, ainda, ou melhor, a manutenção da biodiversidade.

O emprego do modelo Presa-Predador para o conhecimento das interações entre as plantas e o sequestro de Carbono demonstrou que os SAF-CM foram mais interativos e equilibrados, ou seja, mais eficazes, uma vez que apresentaram maior número de eventos. As populações de açaí e de cacau foram equivalentes na quantidade de eventos de interação,

enquanto que a população das árvores apresentou maior intervalo de tempo nos referidos eventos nos SAF-CM e SAF-TA, justificado pelo incremento em diâmetro mais lento, como também, ao fato de alguns dos indivíduos (árvores) já estarem ou entrando em estado clímax, especialmente nos SAF mais velhos, nesse caso, independente da área de estudo.

A modelagem matemática da evolução, interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações presa (Carbono) e predadora (Plantas), mostrou que nos SAF estudados prevaleceu sempre a população de planta sobre a de Carbono, observada no valor absoluto dessas populações. Representado um “ganho ecológico” ou superávit, pois, houve absorção total de CO<sub>2</sub> naquele momento e local (microclima).

O modelo Presa-Predador se mostrou apto e eficiente na avaliação da interação e do ponto de equilíbrio entre as populações de Carbono (abiótica) e de Plantas (biótica) cultivadas em SAF, ou seja, não é somente a espécie comercial, mas sim cobertura vegetal compondo o sistema e suas interações internas e externas, com o ambiente em seu entorno (a vegetação, o solo, a água), que ratificam e apontam o SAF como uma alternativa de produção sustentável do ponto de vista socioeconômico e ambiental para os municípios de Cameté e de Tomé-Açú, para regiões adjacentes e para a Amazônia.

## **10. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos visando testar a eficácia agroambiental de agroecossistemas como os SAF, têm centralizado suas ações nos aspectos técnicos e científicos, demonstra que os resultados desses estudos ainda são limitados quanto suas pertinências socioeconômicas e ambientais, carecendo dessa forma de informações multidisciplinares de amplo alcance desses modelos, envolvendo mais de um sistema produção, manejo e finalidades. Entretanto, não existe um programa ou uma política de pesquisa para a Amazônia, em particular para os SAF que visem integrar as dimensões social, econômica e ambiental numa mesma proposta e venham analisá-los segundo as interações simultâneas que ocorram e/ou podem ocorrer considerando funções diferenciadas no tempo e no espaço, bem como, a composição biológica e/ou química.

Estudos dessa natureza apresentando modelos alternativos no estudo de SAF como o Presa-Predador, podem contribuir para o avanço das pesquisas nos diversos campos do saber, ordenando atividades científicas e econômicas, visando o múltiplo uso dos recursos naturais, principalmente em agroecossistemas, buscando alcançar a sustentabilidade produtiva com a finalidade de conservação da biodiversidade e equilíbrio dos diferentes ecossistemas e, ainda, a melhoria da qualidade de vida das comunidades menos afortunadas nas “vias amazônicas”.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, P. T. Os mitos da Amazônia: Porque a grande floresta não pode ser o pulmão do mundo. CEPLAC/CEPEC, Ilhéus, Bahia. *Cacau Atualidades*, v. 2, n. 10, p. 12-17, 1973.
- ALVIM, P. T. Floresta Amazônica: Equilíbrio entre utilização e conservação. Ilhéus, Bahia. CEPLAC, 1977.
- ANDERSON, A. B.; GELY, A.; STRUDWICK, J.; SOBEL, G. L.; PINTO, M. G. C. Um sistema agroflorestal na várzea do estuário amazônico (Ilha das Onças, Município de Barcarena, Estado do Pará). *Acta Amazonica*, Manaus, v. 1-2, n. 15, p. 195-224, 1985 (Suplemento).
- ARIMA, E., MACIEL, N., UHL, C. *Oportunidades para o desenvolvimento do estuário amazônico*. Belém. Imazon, Série Amazônia. n. 15. 1998. 37p.
- ARRIGH, G. *O Longo Século XX*. São Paulo: Contraponto, UNESP, 1996. 393p.
- AVIZ DOS SANTOS, M. A. B. *Ciências Naturais e Ciências Sociais: Conceitos e Operadores Transversais na Perspectiva Sistêmica: O Caso da Interação*. Belém. UFRA, 2011. 100p. (Tese de Doutorado).
- BARROS, A. V. L. *Evolução dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros no município de Tomé-Açu, Pará*. Belém. UFRA, 2009. 191p. (Tese de Doutorado).
- 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*, v. 6, n. 71, p. 250-256, 2000.
- BASSANEZI, R. C.; FERREIRA Jr., W. C. *Equações diferenciais com aplicações*. São Paulo, Editora Harbra, 1988.
- BASSANEZI, R. C., *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. 3ª Edição. São Paulo, Editora Contexto, 2009.
- BATISTELLA, M., ARTAXO, P., NOBRE, C., BUSTAMANTE, M., LUIZÃO, F. *Resultados do LBA e uma Perspectiva da Futura Pesquisa Amazônica*. Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA). 2009, 11p.

- BENTES-GAMA, M. M.; GAMA, J .R. V.; TOURINHO, M. M. Huertos caseros em la comunidad ribereña de Villa Cuera, em el município de Bragança em el Nordeste Paraense. *Agroforesteria em las Américas*, v. 6, n. 24, p. 8-12, 1999.
- BERLO, D. K. *O processo da comunicação: introdução à teoria e à prática*. São Paulo: Martins Fontes, 1991.
- BERTALANFFY, L. von. *General System Theory. Foundations, development and applications*. New York: George Braziler, 1968.
- BERTALANFFY, L. von. *O significado da teoria geral dos sistemas*. In: Teoria Geral dos Sistemas. Petrópolis (RJ): Vozes, 1973. 311p.
- BERTALANFFY, L. von. *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Estudios científico-filosóficos. Madrid: Alianza Editorial, 1975.
- BOLFE, E. L., FERREIRA, M. C., BATISTELLA, M. Biomassa epígea e estoque de carbono de agroflorestas em Tomé-Açu, PA. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 4, p. 2171-2175, 2009.
- BOLFE, E. L., BATISTELLA, M., FERREIRA, M. C. Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 9, n. 47, p.1261-1269, 2012.
- BRANCHER, T. *Estoque e ciclagem de carbono em sistemas agroflorestais em Tomé-Açu, Amazônia Oriental*. Belém. UFPA, 2010. 58p. (Dissertação de Mestrado).
- BRAUN, M. *Euações diferenciais e suas aplicações*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1979.
- BRIENZA Jr., S. *Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in eastern Amazon of Brazil*. Germany. University of Gottinger, 1999. 139p. (Ph.D Thesis).
- BRIENZA Jr., S., Enriquecimento de florestas secundárias como tecnologia de produção sustentável para a agricultura familiar. MPEG. *Ciências Naturais*. Belém, v. 3, n. 7, p. 331-337. 2012.
- BROWER, J. E., Zar, J. H., Van ENDE, C. N. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*, 4<sup>a</sup> ed. New York. WCB/McGraw. 1998. 273p.

- BROWN, S., LUGO, A. E. Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciência*. [S.l.], n. 17, p. 8-18. 1992.
- BROWN, S. L., SCHOEDER, P., KERN, J. S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 1-3, n. 123, p. 81-90, 1999.
- CAMINO R., MÜLLER, S. *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/Projeto IICA/GTZ, 1993. 134p. (SDP/IICA, 38)
- CASANOVA, P. G. *As Novas Ciências e as humanidades: da academia à política*. São Paulo. Editora Bomtempo, 2006. 335p.
- CHASE, O., ALMEIDA, J. F., SAMPAIO, M., SOUZA, J. R. B. *Arquitetura de Sensor Inteligente Baseado em Ciberfísica - Uma Abordagem Ambiental*. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI, UFSJ-MG, Brasil, 2011.
- CHAVES, M. S.; CAETANO, A. C.; MACEDO, R. L. G.; MEIRELES, R. C. M. Imobilização de carbono em um castanhal no IFAM. *Cadernos de Agroecologia*. Manaus. v. 2, n. 6, 2011.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979. 106p.
- CLARK, D. B., CLARK, D. A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology Management*. n.137, p. 185-198. 2000.
- Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD. *Nosso futuro comum*, 2 edição. Rio de Janeiro: FGV. 1991. 430p.
- CONWAY, G. R. The properties of Agroecosystems. *Agricultural Systems. Great Britain*, n. 24, p. 95-117, 1987.
- COSTA, L. G. S. *Biomassa aérea e carbono em projetos de assentamentos no Arco do Desmatamento, Estado do Pará*. Belém. UFRA. 82 p. 2012. (Tese de Doutorado).

- DALLAGNOL, F. S., MOGNON, F., SANQUETTA, C. R., CORTE, A. P. D. Teores de Carbono de Cinco Espécies Florestais e seus Compartimentos. *Floresta e Ambiente*. v. 4, n. 18, p. 410-416. 2011.
- DARWIN, C. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. 1877.
- DIACU, F. Introdução a Equações Diferenciais: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro. LTC, 2000.
- DIAS, I. P.; COSTA, B. C.; TOURINHO, M. M.; ALMEIDA, J. F. Avaliação da estimativa de fixação de carbono em sistemas agroflorestais na região amazônica. *Revista Verde*, v. 5, n. 10, p. 07-10. 2015. (Especial)
- DUARTE, M., ALBUQUERQUE, F. Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção, 01. ISSN 1809-4325, 2005. (Versão Eletrônica. Acessada em Abril/2016).
- DUBOIS, J. C. L. *Manual Agroflorestal para a Amazônia*. Volume 1. REBRAF, Rio de Janeiro. 228p. 1996.
- FAN, S. GLOOR, M. MAHLMAN, J. PACALA, S. SARMIENTO, J. TAKAHASHI, T. TANS P. A large terrestrial carbon sink in north America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide models. *Science*, Washington, D.C., n. 282, p. 386-387, 1998.
- FARINA, L. A.; POSSER, M. S. *Matrix Laboratory - MATLAB. Ferramenta matemática para Engenharia*. UFRGS-RS, 31p. il. 2015.
- FARIS, S. *Mudança climática: as alterações do clima e as consequências diretas em questões morais, sociais e políticas*. Forecast/Stefan Faris; tradução Ana Beatriz Rodrigues. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FASSBENDER, H. W. *Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestales*. 2 edição. Turrialba-Costa Rica, 1993 (serie Materiales de Ensenanza/ Centro Agronomico Tropical de investigacion y Enseñanza, 29).
- FEARNSIDE, P. M. *Biomassa das florestas amazônicas brasileiras*, In.: Seminário Emissão e Seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto Alegre. CVRD, Rio de Janeiro. 221p. 1994.

- FISHER, B. A. *Interpersonal communication: pragmatics of human relationships*. New York: Random House, 1987.
- GIBBS, H. K., RUESCH, A. S., FOLEY, J. A. Tropical Forests Were the Primary Sources of New Agricultural Land in the 1980s and 1990s. *Proc. Natl. Acad. Science. USA*. v. 107, n. 38, pp.16732-7. 2010.
- 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, 49p. 2001.
- HIGUCHI, N., CARVALHO Jr., J. A. *Biomassa e conteúdo de Carbono de espécies arbóreas da Amazônia*. In.: Seminário Emissão e Seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto alegre. Anais. CVRD, Rio de Janeiro. p. 125-153, 1994.
- HIGUCHI, N., SANTOS, J., RIBEIRO, R. J., MINETTE, L., BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazônica*, Manaus. v. 2, n. 28, p. 153-165. 1998.
- HOMMA, A. K. O., WALKER, R. T., CARVALHO, R. A., FERREIRA, C. A. P., CONTO, A. J., SANTOS, A. I. M., SCATENA, F. N. Dinâmica dos Sistemas Agroflorestais: o caso dos agricultores nipo-brasileiros em Tomé-açu-PA. In: Costa, J. M. M. (org.). *Amazônia. Desenvolvimento econômico, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade de recursos naturais - Pará*. UFPA. NUMA, Belém. p. 37-56, 1995.
- HOMMA, A. K. O. *Organização da produção e comercialização de produtos agropecuários: o caso da colônia agrícola nipo-brasileira de Tomé-Açu, Pará* In: VILCAHUAMÁN, L. J. M., RIBASKI, J., MACHADO, A. M. B. *Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: perspectivas, análise e tendências*. Colombo: Embrapa Florestas. p. 51-77. 2006.
- HOUGHTON, R. A. How well do we know the flux of CO<sub>2</sub> from land-use change? *Tellus*, n. 62B, p. 337-351. 2010
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais*. Rio de Janeiro. IBGE. 2008. Acessado em setembro de 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Censo Demográfico - 2009*. IBGE, Rio de Janeiro, 2010.

Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF. *A floresta e o homem*. Regina Machado Leão (Org.). IPEF/ESALQ/USP, São Paulo. 2000. 441p.

Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC. *Good practice guidance for land-use change and forestry*. Available from, 2003.

Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC. *Climate Change*. 2007. Disponível em: < <http://ipcc.ch> > Acesso: Março/2016.

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

KATO, O. R. *Projeto dendê: Sistemas agroflorestais na agricultura familiar*. (Oilpalm Project: Agroforestry systems in smallholder agriculture). Embrapa Eastern Amazonia. Belém, 2009.

KATO, O. R., SHIMIZU, M. K., BORGES, A. C. M. R., AZEVEDO, C. M. B. C., OLIVEIRA, J. S. L., VASCONCELOS, S. S., SÁ, T. D. A. *Desenvolvimento da produção de frutas em sistemas agroflorestais no estado do Pará*. XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura. Bento Gonçalves, RS. 2012.

KELLER, M., PALACE, M. & HURTT, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil; examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*. n. 154, p. 371-382, 2001.

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*. n. 146, p. 199-209, 2001.

KOT, M. *Elements of Mathematical Ecology*. Cambridge University. Cambridge. 2001. 447p.

KRAENKEL, R. A. *Ecologia de Populações*. 2016. <http://www.ift.unesp.br/users/kraenkel>. Acesso: Abril/2016.

- KUHN, T. *Estrutura das Revoluções Científicas*. Universidade de Chicago. Chicago, 1962. 129p.
- LAURANCE, W., LAURANCE, S., DELAMONICA, P. Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. *Ecology Management*. n. 110, p, 173-80. 1999.
- LIEBER, R. R. *Desenvolvimento, meio ambiente, e os serviços de manutenção*. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto, MG. 2003.
- LIEBER, R. R., ROMANO-LIEBER, N. S. *Causalidade e fatores de risco: Transcendência e imanência na educação ambiental*. Educação: Teoria e Prática. São Paulo, UNESP-RC,. n. 9 (16): supl.cd-rom:tr17.pdf. 2001.
- LIRA, S. A. *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações*. Curitiba, UFPR, 2004. 209p. (Dissertação de Mestrado).
- LOCATELLI, M., SOUZA, V. F., VIEIRA, A. H., QUISEN, R. C. *Nutrientes e biomassa em sistemas agroflorestais com ênfase no cupuaçuzeiro, em solo de baixa fertilidade / Marília Locatelli... [et al.]*. - Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia, 2001.
- LOTKA, A. J. *Elements of Physical Biology*. 1956. 460p.
- LUIZÃO, F. J., TAPIA CORAL, S., et al. *Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas da Amazônia*. In. VI CBSAF, Campos dos Goytacazes, 2006. Anais. Campos dos Goytacazes: UENF, p. 87-98. 2008.
- LÜTZ, A. F. *Competição e Coexistência em Populações Biológicas*. Porto Alegre, UFRG, 2011.
- MACHADO, A. *Pré-cinemas e pós-cinemas*. Campinas: Papirus, 1997.
- MATOS, F. D. A., KIRCHNER, F. F. Estimativa de Biomassa da Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme na Amazônia Central com o Satélite Ikonos II. *Floresta*, Curitiba. v. 1, n. 38. 2008.
- MAVISOY, H. M. *Estoques de carbono em floretas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazonia Oriental*. São Luís, UEMA, 2013. 64p. (Dissertação de Mestrado).

- MONTAGNINI, F., NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, n. 61, p. 281-295, 2004.
- MURILLO, M. A. Almacenamiento y fijación de Carbono en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Centroamericana*. v. 6, n. 19, p. 9-12, 1997.
- ODUM, H. T., ODUM, E. C., BROWN, M. T., LAHART, D., BERSOK, C., SENDZIMIR, J., GRAEME, B. S., SCIENCEMAN, D., MEITH, N. *Ecological Economics Program*. University of Florida, Gainesville 32611, 1987.
- OLIVEIRA, J. S R., KATO, O. R. *Território de exceção: experiências do agricultor inovador Pedro Araújo e família na comunidade de Monte Sião*. São Domingos do Capim: APEPA. 2010, 19p.
- OSTERROOHT, von M. Manejo de SAF's. *Agroecologia Hoje*. n. 15, p. 12-13, 2002.
- PARSONS, T. E. F. *Teoria Sociológica e Sociedade Moderna*, 1968.
- PARDÉ, J. Forest Biomass. *Forestry Abstract Review Article*. v. 8, n. 41, p. 343-362. 1980.
- PENA-VEGA, A. *O Despertar Ecológico: Edgar Morin e a ecologia complexa*. Rio de Janeiro, Garamond, 2003.
- PEREIRA, C. P. *Avaliação da biomassa acumulada em áreas de vegetação secundária "capoeira" enriquecida com árvores leguminosas, no nordeste do Estado do Pará*. Belém, FCAP, 2001. 36p. (Dissertação de Mestrado).
- PRIMO, A. Interação mútua e reativa: uma proposta de estudo. *Revista da Famecos*. n. 12, p. 81-92. 2000.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. *Atlas Brasil*. 2013. <http://www.pnud.org.br/IDH/AtlasMunicipios#>. Acesso: novembro de 2015.
- QUEIROZ, J. A. L., MOCHIUTTI, S. *Diversidade florestal em sistemas agroflorestais, com açazeiro no estuário amazônico*. In: III CBSAF. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus. p. 147-149. 2000. (Documentos 7).

- REZENDE, D. *Carbono Social: agregando valores ao desenvolvimento sustentável* - Divaldo Rezende, Stefano Merlin; organização Andrea Sarmento -São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: Instituto Ecológica, 2003.
- SALOMÃO, R. P., NEPSTAD, D. C., VIEIRA, I. C. Biomassa e estoque de Carbono de florestas tropicais primárias e secundárias. *In: Gascon, C.; Moutinho, P. (Eds). Floresta Amazônica: dinâmica, regeneração e manejo*. INPA, Manaus. 1998.
- SANQUETTA, C. R. *Métodos de determinação de biomassa florestal*. *In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). As florestas e o carbono*. Curitiba. p. 119-140. 2002.
- SANTOS, S. R. M. *Estrutura e biomassa dos Sistemas Agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará, Brasil*. Belém, FCAP. 2002. 53p. (Dissertação de Mestrado).
- 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. 1, n. 34, p. 1-8, 2004.
- SANTOS, S. R. M., MIRANDA. I. S., TOURINHO, M. M. Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *Acta Amazonica*, v. 2, n. 34, p. 251-263, 2004.
- SHANNON, C., WEAVER, W. *The mathematical theory communication*. Urbana, IL: University of Illinois, 1962.
- SKRABAL, A. *Von den Simultanreaktionen, Beriche der deutschen chemischen Gesellschaft* 1949. 77p.
- SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large forest biomass estimation. *Europe Journal Forest Research*. [S.l.], 2006.
- SOUZA, M. de. *O novo paradigma das Ciências Naturais e sua contribuição para os estudos sobre desenvolvimento*. Novos Cadernos do NAEA. v.1, n.1, 1998.
- SMITH, N. J.; 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. 1998. 146p.

- THIBAU, C. E. *Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações*. CVRD, Belo Horizonte. 2000. 512p.
- THOMAS, K. *O homem e o natural*. Companhia das Letras, São Paulo. 1989.
- TOURINHO, M. M. *Manejo Comunitário: Complexidade além dos recursos (A Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1968) e a Teoria dos Sistemas Sociais (Parsons, 1951), como ferramentas para trabalhar o manejo comunitário dos recursos naturais)*. In: Seminário Água e Meio Ambiente na Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2008.
- TSUCHIYA, A., HIRAOKA, M. Forest biomass and wood consumption in the lower course of the Amazon: a case study of the Urubuera Island. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 1, n. 29, p. 79-95, 1999.
- VIEIRA, T. A.; ROSA, L. S.; VASCONCELOS, P. C. S.; SANTOS, M. M.; MODESTO, R. S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, p. 549-558. 2007.
- WATZLAWICK, P., BEAVIN, J. H. e JACKSON, D. D. *Pragmática da comunicação humana*. São Paulo: Cultrix, 1993.
- ZILL, D. G. *Equações diferenciais*, volume 1. Pearson Makron Books, São Paulo, 2001.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1. SAF TRADICIONAIS E SAF COMERCIAIS



**Apêndice 1.1.** Sistemas agroflorestais (SAF) em diferentes idades de manejo, estudados, no município de Cametá, Estado do Pará.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.



**Apêndice 1.2.** Sistemas agroflorestais (SAF) em diferentes idades de cultivo, estudados no município Tomé-Açu, Estado do Pará.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

## APÊNDICE 2. FLORESTAS NATIVAS DE VÁRZEA (FVA) E DE TERRA FIRME (FTF)

**Apêndice 2.1.** Composição florística de dois fragmentos de floresta nativa estudados em Cametá (FVA) e Tomé-Açú (FTF), Pará. Abundância (N), área basal (G), médias e erro padrão da média do diâmetro a altura do peito (DAP) ( $M_1 \pm e$ ) e da altura total (H) ( $M_2 \pm e$ ) e médias dos fragmentos ( $M_3$ ).

Parcelas	Famílias	Gêneros	Espécies	N (n <sub>i</sub> /ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	DAP (cm) ( $M_1 \pm e$ )	H (m) ( $M_2 \pm e$ )
FVA - CM	14	24	25	2856	41,24	10,19 ± 0,34	8,89 ± 0,27
FTF - TA	25	30	35	1008	21,76	13,71 ± 0,59	11,49 ± 0,38
$M_3$	20	27	30	1932	31,50	11,95 ± 0,46	10,24 ± 0,32

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

**Apêndice 2.2.** Composição florística, abundância (N), área basal (G), Biomassa Seca (BS) acima do solo e Estoque de Carbono (EC) das espécies encontradas em dois fragmentos de floresta nativa de várzea (FVA) e de terra firme (FTF), estudados nos municípios de Cametá e de Tomé-Açú, Estado do Pará.

Área de Estudo	Nome científico	Nome vulgar	N (n <sub>i</sub> /ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	BS (t/ha)	EC (t/ha)
FVA-CM	<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	1700	9,49	5,33	2,40
	<i>Mauritia flexuosa</i>	Buriti	220	2,11	14,28	6,42
	<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba	216	5,12	75,10	33,79
	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	196	0,40	0,12	0,06
	<i>Virola surinamensis</i>	Virola	148	4,90	15,40	6,93
	<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira	80	2,57	29,17	13,13
	<i>Mora paraensis</i>	Pracuúba	36	2,44	1,19	0,54
	<i>Macrolobium angustifolium</i>	Ipê da várzea	24	2,31	0,59	0,27
	<i>Bombax spruceanum</i>	Mamorana	20	1,35	0,56	0,25
	<i>Macrolobium acaciaefolium</i>	Arapari	16	2,51	1,55	0,70
	Outras espécies (15)	-	200	8,05	17,59	7,91
		Total	2856	41,24	160,88	72,40
FTF-TA	<i>Pouteria granulosa</i>	Abiurana	176	1,68	15,06	6,78
	<i>Protium spruceanum</i>	Breu branco	152	1,62	11,93	5,37
	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Envira preta	76	1,77	28,76	12,94
	<i>Guatteria amazonica</i>	Envira branca	56	1,34	4,95	2,23
	<i>Inga auristellae</i>	Ingá xixica	52	2,18	4,03	1,81
	<i>Virola melinonii</i>	Ucuúba	48	0,74	9,44	4,25
	<i>Escheweilera coriacea</i>	Mata-mata branco	44	0,95	2,56	1,15
	<i>Inga paraensis</i>	Ingá	40	1,08	14,56	6,55
	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Ipê amarelo	32	1,30	20,06	9,03
	<i>Schefflera morototoni</i>	Morototó	32	1,63	8,02	3,61
	Outras espécies (25)	-	300	7,48	49,58	22,31
		Total	1008	21,76	168,95	76,03

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

### APÊNDICE 3. MATRIZ DE CORRELAÇÃO

#### Apêndice 3.1. Matriz de Correlação dos Sistemas Agroflorestais cultivados em Cameté (SAF-CM).

Parcelas	N (n/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	BS (t/ha)	EC (t/ha)	DAP (cm)	H (m)	A (%)	F (%)	M (%)	O (%)	C (%)	E (%)	L (%)	D (%)
SAF 1-CM	2512	37,77	181,19	81,53	11,52	12,02	33,33	60,00	60,00	53,33	73,33	60,00	33,33	6,67
SAF 2-CM	2388	32,40	86,43	38,89	10,66	8,43	28,57	64,29	64,29	64,29	57,14	71,43	21,43	0,00
SAF 3-CM	2620	31,28	101,89	45,85	9,96	7,57	33,33	75,00	66,67	50,00	50,00	58,33	25,00	16,67
SAF 4-CM	2312	28,24	141,18	63,53	10,47	7,76	36,36	81,82	72,73	63,64	54,55	63,64	27,27	9,09
Matriz de Correlação														
	0,44	0,51	1,00	0,75	0,94	-0,06	0,66	0,96	0,43	-0,14	-0,11	-0,64	0,19	1
	-0,02	0,51	0,75	0,77	-0,09	-0,78	0,55	0,17	-0,73	0,86	0,77	-0,86	1	0,62
	-0,02	0,80	0,77	0,58	-0,74	-0,80	-0,19	-0,76	0,05	-0,44	-0,41	1	-0,26	0,18
	-0,15	0,93	0,58	-0,21	-0,67	-0,29	-0,05	-0,20	-0,35	-0,72	1	0,06	0,59	-0,67
	0,18	-0,33	-0,21	-0,26	0,03	0,99	-0,67	-0,25	0,32	1	0,06	0,98	-0,20	0,02
	-0,08	-0,91	-0,26	-0,25	0,98	-0,22	0,56	0,56	1	-0,55	0,98	-0,51	0,87	-0,95
	-0,26	-0,96	-0,25	0,78	0,05	0,79	0,63	1	-0,31	0,70	-0,51	0,78	-0,46	-0,50
	-0,50	-0,46	0,78	-0,51	0,70	-0,31	1	0,63	0,79	0,05	0,78	-0,25	-0,96	-0,26
	-0,95	0,87	-0,51	0,98	-0,55	1	0,56	0,56	-0,22	0,98	-0,25	-0,26	-0,91	-0,08
	0,02	-0,20	0,98	0,06	1	0,32	-0,25	-0,67	0,99	0,03	-0,26	-0,21	-0,33	0,18
	-0,67	0,59	0,06	1	-0,72	-0,35	-0,20	-0,05	-0,29	-0,67	-0,21	0,58	0,93	-0,15
	0,18	-0,26	1	-0,41	-0,44	0,05	-0,76	-0,19	-0,80	-0,74	0,58	0,77	0,80	-0,02
	0,62	1	-0,86	0,77	0,86	-0,73	0,17	0,55	-0,78	-0,09	0,77	0,75	0,51	-0,02
	1	0,19	-0,64	-0,11	-0,14	0,43	0,96	0,66	-0,06	0,94	0,75	1,00	0,51	0,44

Obs.: Abundância (N), área basal (G), biomassa seca (BS), estoque de Carbono (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H) e oito (8) categorias de uso: alimentação humana (A) e da fauna (F), medicina caseira (M), adubo orgânico (O), construções em geral (C), energia (E), artesanato (L) e diverso (D).

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

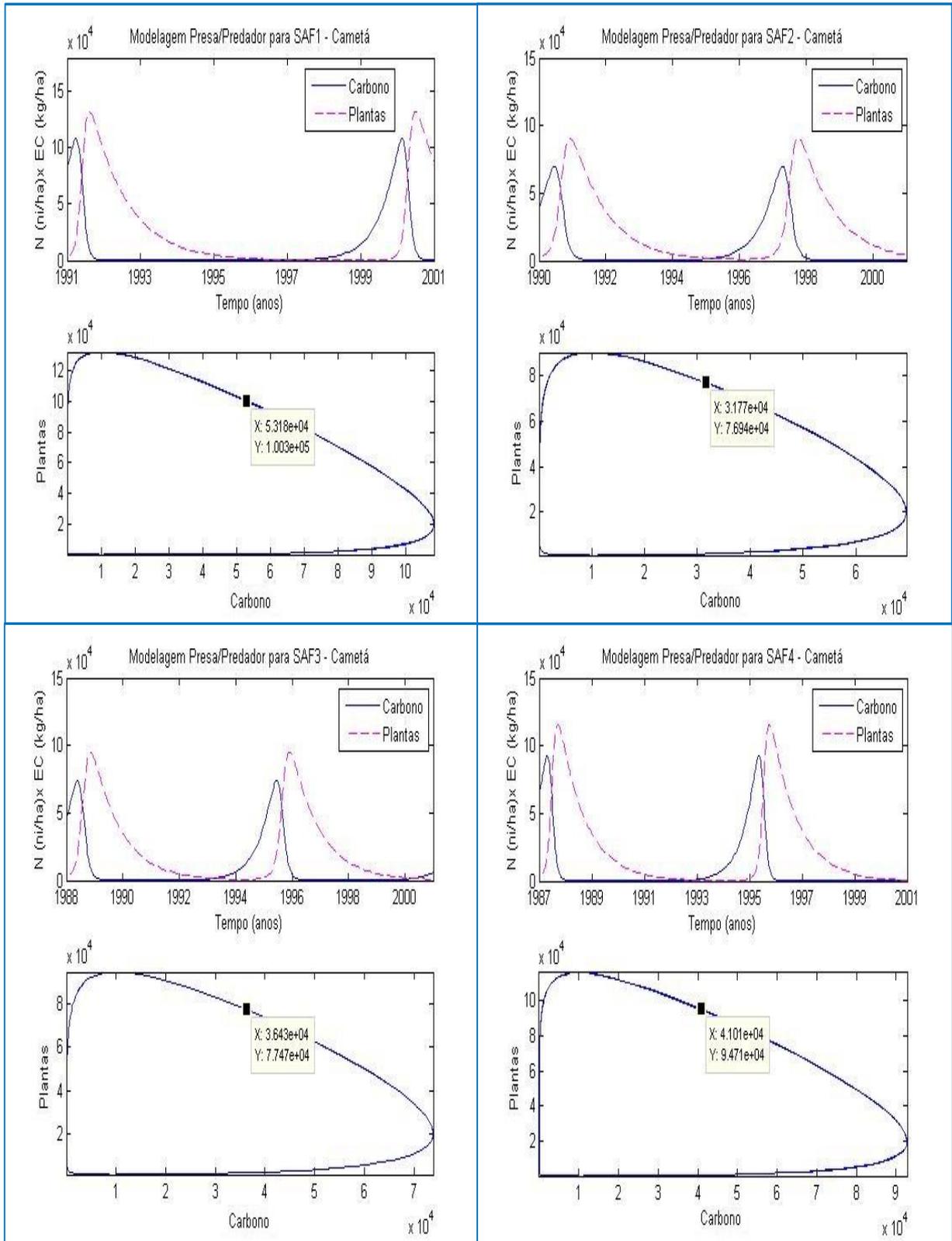
#### Apêndice 3.2. Matriz de Correlação dos Sistemas Agroflorestais cultivados em Tomé-Açú (SAF-TA).

Parcelas	N (n/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	BS (t/ha)	EC (t/ha)	DAP (cm)	H (m)	A (%)	F (%)	M (%)	O (%)	C (%)	E (%)	L (%)	D (%)
SAF 1-TA	1316	7,49	26,02	11,71	8,13	3,23	50,00	50,00	62,50	37,50	75,00	12,50	62,50	12,50
SAF 2-TA	656	13,11	53,12	23,91	14,30	5,23	57,14	71,43	100,00	42,86	57,14	14,29	42,86	0,00
SAF 3-TA	1771	19,89	61,34	27,60	11,46	4,21	80,00	80,00	80,00	60,00	40,00	0,00	40,00	0,00
SAF 4-TA	1253	31,32	73,47	33,06	13,69	5,48	75,00	75,00	75,00	75,00	50,00	0,00	50,00	25,00
Matriz de Correlação														
	0,23	0,92	1,00	0,80	0,98	0,42	0,87	0,57	-0,05	-0,73	0,77	0,36	0,55	1
	0,09	0,92	0,80	0,84	0,41	0,70	0,08	0,71	-0,41	-0,91	0,87	-0,34	1	0,06
	0,09	0,59	0,84	0,85	0,75	0,66	0,87	-0,97	0,23	-0,36	0,20	1	0,55	-0,01
	-0,50	0,70	0,85	0,91	0,80	0,60	-0,94	-0,67	-0,78	0,53	1	0,22	-0,37	-0,72
	-0,47	0,82	0,91	0,40	0,49	-0,54	-0,94	-0,92	-0,57	1	0,22	-0,69	-0,84	-0,38
	0,59	0,71	0,40	0,90	-0,59	-0,27	-0,65	-0,19	1	-0,02	-0,69	-0,74	-0,70	0,37
	0,17	0,04	0,90	-0,86	-0,20	-0,58	0,08	1	0,20	-0,71	-0,74	-0,86	0,99	-0,61
	-0,61	0,99	-0,86	-0,74	-0,71	0,20	1	0,08	-0,58	-0,20	-0,86	0,90	0,04	0,17
	0,37	-0,70	-0,74	-0,69	-0,02	1	-0,19	-0,65	-0,27	-0,59	0,90	0,40	0,71	0,59
	-0,38	-0,84	-0,69	0,22	1	-0,57	-0,92	-0,94	-0,54	0,49	0,40	0,91	0,82	-0,47
	-0,72	-0,37	0,22	1	0,53	-0,78	-0,67	-0,94	0,60	0,80	0,91	0,85	0,70	-0,50
	-0,01	0,55	1	0,20	-0,36	0,23	-0,97	0,87	0,66	0,75	0,85	0,84	0,59	0,09
	0,06	1	-0,34	0,87	-0,91	-0,41	0,71	0,08	0,70	0,41	0,84	0,80	0,92	0,09
	1	0,55	0,36	0,77	-0,73	-0,05	0,57	0,87	0,42	0,98	0,80	1,00	0,92	0,23

Obs.: Abundância (N), área basal (G), biomassa seca (BS), estoque de Carbono (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H) e oito (8) categorias de uso: alimentação humana (A) e da fauna (F), medicina caseira (M), adubo orgânico (O), construções em geral (C), energia (E), artesanato (L) e diverso (D).

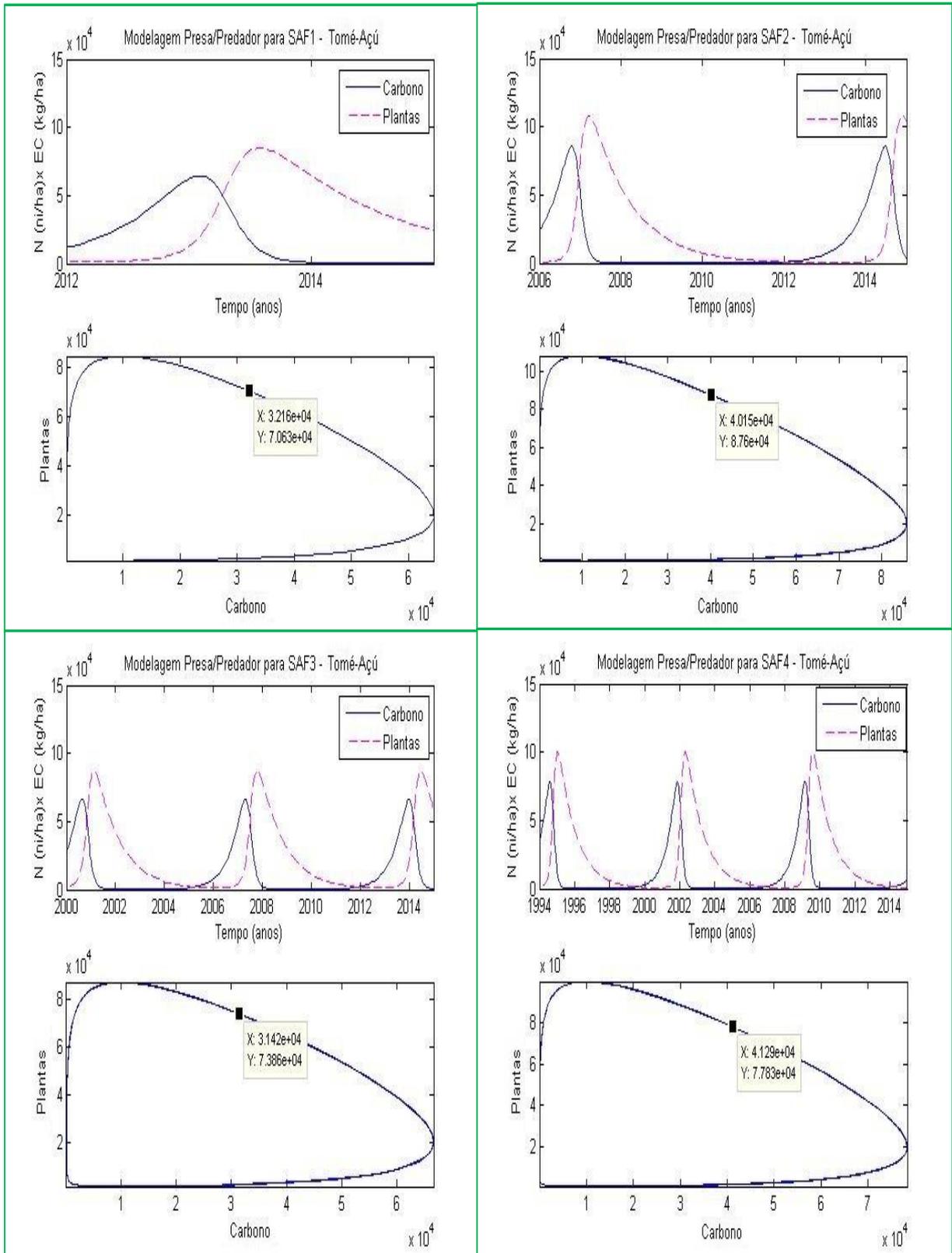
Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.

## APÊNDICE 4. MODELAGEM: PRESA x PREDADOR



**Apêndice 4.1.** Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Cametá, Para.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.



**Apêndice 4.2.** Modelagem da interação e ponto de equilíbrio na assimilação de Carbono entre as populações de Carbono (EC) e de plantas (N) em SAF estudados em Tomé-Açu, Para.

Fonte: Elaborada neste estudo, 2016.