

ESTIMATIVA DE BIOMASSA EPÍGEA E ESTOQUE DE CARBONO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM TOMÉ-AÇU, PARÁ

Édson Luis Bolfe¹, Mateus Batistella², Marcos César Ferreira³, Jailson Takamatsu⁴

¹Doutorando - IG/UNICAMP; Pesquisador - Embrapa Tabuleiros Costeiros. E-mail: bolfe@ige.unicamp.br; ²Pesquisador - Embrapa Monitoramento por Satélite; Professor - UNICAMP. E-mail: mb@cnpem.embrapa.br; ³Professor - Universidade Estadual de Campinas - IG/UNICAMP. E-mail: macferre@ige.unicamp.br; ⁴Eng. Agrônomo - Cooperativa Mista de Tomé-Açu - CAMTA. E-mail: camta@camta.com.br

RESUMO

Os SAF (sistemas agroflorestais) fazem parte de uma importante estratégia de uso da terra voltada aos serviços ambientais, em especial, à fixação de carbono pela biomassa vegetal. Este trabalho apresenta atividades desenvolvidas com objetivo de estimar a EBE (biomassa epígea) e o EC (estoque de carbono) existentes em SAF no município de Tomé-Açu, Pará, Brasil. Os dados dendrométricos foram obtidos por inventário agroflorestal realizado em 63 parcelas amostrais. Inventariou-se uma taxa de 9027 indivíduos/ha, com DAP \geq 2,5 cm, pertencentes a 20 famílias e 29 espécies. Considerando-se a variabilidade encontrada inerente às informações estruturais, florísticas e do estágio vegetativo das plantas, os SAF foram divididos em quatro classes hierárquicas: SAF-1, SAF-2, SAF-3 e SAF-4. Para a estimativa da EBE, utilizou-se o método indireto, baseado em equações alométricas, para diferentes classes diamétricas (DAP \geq 20 cm, DAP<20 cm) e para palmeiras. A média da EBE dos SAF foi de 153,21 Mg ha⁻¹ e do EC foi de 74,30 Mg C ha⁻¹.

Palavras-chave: Agricultura Familiar, Carbono, MDL.

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa foi realizada em áreas de produtores rurais localizadas no distrito de Quatro Bocas, no município de Tomé-Açu. O município faz parte da Mesorregião Nordeste Paraense e da Microrregião de Tomé-Açu (IBGE, 2008) no Bioma Amazônia. A sede municipal está posicionada entre as coordenadas geográficas: 2°25'00" de latitude S e 48°09'09" de longitude W.

A vegetação original da região é a Floresta Ombrófila, Floresta Densa dos Baixos Platôs, a Densa de Platôs, atualmente bastante alteradas, ensejando o surgimento das florestas secundárias. A partir da década de 30 iniciou-se a imigração japonesa, onde os imigrantes dedicaram-se principalmente à cultura da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) fomentando o desenvolvimento regional. Com o declínio do ciclo da pimenta-do-reino, a partir de 1970, causado principalmente por questões fitossanitárias, os produtores rurais buscaram novas alternativas de produção. Segundo Homma (2003) uma saída para esta "crise ecológica", foi a diversificação das atividades, destacando-se os SAF. Atualmente, os SAF possuem grande variedade de espécies frutíferas e madeireiras, destacando cacau, cupuaçu, açaí, acerola, graviola, maracujá, dendê, andiroba, bacuri, castanha-do-pará, ipê, mogno, sapucaia, uxi, plantas cítricas, pimenta-do-reino, cedro, freijó e paricá. Assim, encontram-se áreas com inúmeros estágios de desenvolvimento vegetativo variando entre 1 e 33 anos de implantação.

Estudos observacionais e de modelagem apresentados pelo IPCC (2007) apontam causas de origem antrópicas como fonte das mudanças climáticas, dentre estas, destaca-se as alterações do uso e cobertura da terra. Para a região amazônica Nobre et al. (2007, p. 24) relatam que "tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região amazônica".

Diversas pesquisas visam encontrar sistemas de produção eficazes para o seqüestro e o armazenamento de C na biomassa e no solo. Montagnini e Nair (2004) destacam que a busca por sistemas de baixo custo está emergindo como um dos principais objetivos da política internacional no contexto das mudanças do clima. Na Amazônia, os SAF estão sendo amplamente estudados e difundidos com ênfase na agricultura familiar (Kitamura e Rodrigues, 2000; Luizão et al., 2006; Kato et al., 2006). Estes sistemas permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a geração de serviços ambientais (infiltração d'água, aumento da matéria orgânica, elevação da biodiversidade), constituindo-se ainda como importantes sistemas de fixação de C. A estimativa de biomassa de sistemas envolvendo componentes florestais é de elevada relevância no uso dos recursos naturais de forma sustentável, assim como nas questões relacionados ao clima, onde a biomassa é utilizada para estimar o estoque de carbono na

vegetação e a quantidade de CO₂ que é liberado à atmosfera devido à adoção de diferentes usos da terra (Fearnside, 1996; Brown, 1997; Hairiah et al., 2001; IPCC, 2007).

Cada SAF implantado possui uma dinâmica fotossintética diferenciada devido às condições edafoclimáticas e pelo arranjo das espécies utilizadas em sua composição, formando assim, classes distintas de estoque de carbono (WINROCK, 1997). Nesse sentido, este estudo objetiva contribuir com as pesquisas envolvendo a estimativa de biomassa epígea e o carbono de SAF na Amazônia, a partir da análise realizada em agroflorestas existentes em Tomé-Açu, Pará. A pesquisa desenvolvida é originária de projeto de Doutorado que envolve a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a Universidade Estadual de Campinas e a Cooperativa Mista de Tomé-Açu.

2. METODOLOGIA

Para a coleta dos dados utilizou-se imagem do satélite Landsat TM-5 de 2005, onde foram localizadas áreas potenciais para os levantamentos. Os proprietários dos lotes foram entrevistados, tomando-se informações sobre o histórico do uso da terra e os arranjos produtivos. No total, inventariou-se 21 unidades amostrais, constituídas por três parcelas cada, totalizando 63 parcelas amostrais, constituídas de quadrados de 10x10 m, 3x3 m e 1x1 m. Nas parcelas de 10 x 10 m, foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e estimada a altura total (H) para os indivíduos com DAP superior a 10 cm. Nas sub-parcelas de 3 x 3 m, estes mesmos parâmetros foram medidos e estimados para os indivíduos com DAP entre 2,5 cm e 10 cm. Nas sub-parcelas de 1x1 m, foram contabilizados os indivíduos e estimada a cobertura do solo.

Para as análises estrutural e florística dos SAF's, adotou-se recomendações propostas por Brower *et al.* (1998), considerando-se os índices de: a) abundância absoluta; b) densidade relativa; c) área basal e d) dominância. Os SAF foram classificados a partir dos seguintes parâmetros estruturais da vegetação adulta: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (H), área basal (G) e % de Cobertura de Copa (C), diferenciando-se quatro sistemas (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) (Tabela 1 e Quadro 1). Análises estatísticas descritivas foram realizadas para validar o sistema de classificação proposto.

Para a estimativa da biomassa epígea foram utilizadas equações alométricas desenvolvidas para a região amazônica. As equações 1 e 2 (Higuchi et al., 1998) foram utilizadas para se estimar a biomassa epígea de indivíduos florestais e a equação 3 (Saldarriaga et al., 1988) foi aplicada para a estimativa da biomassa epígea de palmeiras; sendo BE1 a biomassa epígea individual quando o DAP for menor que 20 cm; BE2 a biomassa epígea individual quando o DAP for maior que 20 cm; e BE3 a biomassa epígea individual das palmeiras, quando o DAP for igual ou superior a 1 cm. A equação 4 foi utilizada para o cálculo da estimativa da biomassa epígea total (EBE) em (Mg ha⁻¹).

$$\text{Exp}(BE1) = \text{Exp}(-1,754 + 2,655 \ln(DAP)) * 0,6 \quad (1)$$

$$\text{Exp}(BE2) = \text{Exp}(-0,151 + 2,170 \ln(DAP)) * 0,6 \quad (2)$$

$$\text{Exp}(BE3) = \text{Exp}(-6,3798 - 0,877 * \ln(1/DAP2)) + 2,151 * \ln(H) \quad (3)$$

Onde ln é o logaritmo natural; DAP é o diâmetro a altura do peito (cm); H é a altura total (m)

$$EBE = (\sum_{i=1}^m BE1 + \sum_{j=1}^n BE2 + \sum_{k=1}^s BE3) + AP + (\sum_{t=1}^t BE1) + ASP \quad (4)$$

Onde m é o número total de indivíduos com DAP inferior a 20 cm existente em uma parcela; n é o número total de indivíduos com DAP igual ou superior a 20 cm existente em uma parcela; s é o número total de indivíduos de palmeiras com DAP igual ou superior a 1 cm existente em uma parcela; t é o número total de indivíduos com DAP entre 2,5 e 10 cm existentes em uma sub-parcela da área; AP e ASP, são respectivamente a área total (ha) da parcela e da sub-parcela.

Para estimar o estoque de carbono (EC) multiplicou-se a EBE pelo fator 0,485 (equação 5) uma vez que a biomassa epígea seca acima do solo contém aproximadamente entre 45 e 50 % de carbono (Higuchi et al., 1998; Thibau, 2000; Silva, 2007).

$$EC = EBE * 0,485 \quad (5)$$

3. RESULTADOS E REFLEXÃO

Nos SAF estudados, foram inventariados 9027 indivíduos/ha com DAP superior a 2,5 cm, pertencentes a 20 famílias e a 29 espécies. A partir da análise estatística das informações estruturais e florísticas das espécies observadas em campo (Tabela 1), as características dos SAF foram diferenciadas, definindo-se uma proposta de divisão baseada nas quatro classificações agroflorestais estabelecidas (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) descritos em Bolfe e Batistella (2006).

Tabela 1. Dados florísticos e estruturais por classe de SAF. Abundância (N), cobertura de copa (C), área basal (G), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (H) - média, máximo e desvio padrão.

Dados/Parâmetros	Classificações Agroflorestais Propostas			
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
N° de Famílias	3	11	11	11
N° de Espécies	4	12	14	17
N (nj/ha)	1042	2322	1878	1980
C (%)	33	39	63	74
G (m ² /ha)	1.6	6.2	21.3	44.1
DAP média (cm)	3.9	5.5	10.2	12.5
DAP máximo (cm)	11.5	20.1	41.4	92.3
DAP (s)	2.0	2.3	6.4	11.3
H média (m)	2.6	3.1	5.3	6.4
H máxima (m)	6.0	8.0	15.0	17.0
H (s)	1.1	0.9	2.7	4.6

Os dados obtidos pela análise estrutural e florística dos SAF, armazenados em banco de dados geográficos, foram inseridos nas equações alométricas com o objetivo de se estimar a biomassa epígea individual da vegetação e total por hectare, para cada unidade amostral e média por classificação de SAF (Tabela 2).

Tabela 2. Dados estimados para os quatro sistemas agroflorestais propostos para Tomé-Açu, PA. Biomassa epígea (EBE), estoque de carbono (EC) e média dos SAF's (MS).

Dados Estimados	Classificações Agroflorestais Propostas				
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	MS
Biomassa Epígea (EBE)	25,32	125,58	155,38	306,54	153,21
Estoque de Carbono (EC)	12,28	60,91	75,36	148,67	74,30

Os valores de EC observados estão dentro das médias estimadas por Albrecht e Kandji (2003), os quais realizaram um completo estudo sobre o seqüestro de carbono em sistemas agroflorestais tropicais. Estes autores, relatam em suas pesquisas que o potencial de seqüestro de C pela vegetação de SAF para a América do Sul é estimado entre 39 a 102 MgC ha⁻¹, e, a média para a região tropical é de 95 Mg C ha⁻¹.

Observou-se nos SAF de Tomé-Açu, um valor médio superior de EC (74,30 Mg C ha⁻¹), quando comparado às médias encontradas por Montagnini e Nair (2004), os quais relatam que o armazenamento médio do carbono em SAF é estimado em 9, 21, 50, e 63 Mg C ha⁻¹, respectivamente nas regiões semi-árida, sub-úmida e úmida e temperada. Por outro lado, a média de EC deste estudo é inferior ao valor médio (134 Mg C ha⁻¹) encontrado por Santos et al. (2004) nos SAF na região de Cametá, PA.

A diferença nas médias de estimativas de EBE e EC em relação aos SAF da região de Cametá, PA, pode estar relacionada à elevada densidade e dominância relativa dos cacaueiros, cupuaçuzeiros e açazeiros nestes SAF, principalmente no SAF 1 e SAF 2. Estas espécies, naturalmente não são de elevado porte quando comparadas à outras como seringueira, castanheira, mogno e andiroba, encontradas nos SAF 3 e SAF 4. Higuchi (1998) cita que a ocorrência de árvores de grande porte, mesmo em número reduzido, numa amostra pode superestimar a biomassa. Esse fato foi observado no SAF 4, o qual apresentou as maiores médias de DAP e H para as árvores (Tabela 1) e a maior estimativa de EBE e EC; enquanto o SAF-2, mesmo com a maior abundância, apresentou menor estimativa de EBE e EC em relação ao SAF 3 e SAF 4.

4. RELAÇÃO DO TRABALHO COM A SUSTENTABILIDADE

Os resultados obtidos (EC médio de 74 Mg C ha⁻¹) com média de 16 anos representa, em média cerca de 33 % do citado por Dixon (1995), para sistemas antrópicos (228 Mg C ha⁻¹). Já, quando se analisa o potencial de seqüestro de C pela vegetação dos SAF estudados, destaca-se o valor de EC encontrado no SAF 4 (148,67 Mg C ha⁻¹), o qual representa 65 % do carbono observado para sistemas antrópicos - incluído o retido no solo - demonstrando assim, o relevante papel dos SAF's da região como alternativa de sustentabilidade ambiental no acúmulo de carbono.

5. CONCLUSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS

A partir dos dados estimados, conclui-se que os SAF da região de Tomé-Açu são importantes acumuladores de C em sua vegetação, podendo contribuir significativamente no processo de seqüestro de CO₂ e a conseqüente redução do efeito estufa, indicando possibilidades de sustentabilidade ecológica e ambiental.

Dentre os obstáculos encontrados, destaca-se a dificuldade de encontrar metodologias de inventário florístico que consideram a complexidade dos arranjos produtivos de sistemas agroflorestais. Sugere-se novos estudos utilizando outras equações alométricas, buscando-se confirmar e ampliar o conhecimento gerado por estimativas de biomassa e carbono por meio de métodos “não destrutivos”.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht, A.; Kandji, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, p.15-27, 2003.
- Bolfe, E.L.; Batistella, M. **Uma proposta de classificação dos sistemas agroflorestais de Tomé-Açu a partir de parâmetros estruturais**. In: VI CBSAF, Campos dos Goytacazes, 2006. Anais. Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p.1-4.
- Brower, J.E.; Zar, J.H.; Van Ende, C.N. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. New York: WCB/McGraw, 1998. 273p.
- Brown, S. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Rome: FAO, 1997.
- Dixon, R.K. SAF's y gases invernadores. **Agrofloresteria en las Américas**, v.27, p.22-27, 1995.
- Fearnside, P.M. Amazonian deforestation and warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, v.80, p.21-34, 1996.
- Hairiah, K.; Sitompul, S.M.; Noordwijk, M. Van.; Palm, C. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. In: Noordwijk, M. Van.; et al. (Ed.). **Towards integrated natural resource management in forest margins of the humid tropics**. Bogoi: ICRAF, 2001. p.3-49.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v.28, p.153-165.
- Homma, A. K. O. **História da Agricultura na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2003. 274 p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Municípios**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: março de 2008.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change**. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: novembro de 2008.
- Kato, O.R.; Kato, M.S.A.; Carvalho, C.J.R.; Figueiredo, R. De O.; Camarão, A.; Sá, T.D. De A.; Denich, M.; Vielhauer, K. **Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias**. In: VI CBSAF, Campos dos Goytacazes, 2006. Anais. Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p.119-138.
- Kitamura, P. C.; Rodrigues, G. S. Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: III CBSAF, Manaus, 2000. **Anais**. Manaus: Embrapa, 2000, p.115-121.
- Luizão, F.J. et al. Carbon Sequestration: An Underexploited Environmental Benefit Of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.61, p. 281-295, 2004.
- Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v.59, p.22-27. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br>>. Acesso em: agosto de 2007.
- Saldarriaga, J.G., D.C. West, M.L. Tharp, C. UHL Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v.76, p.938-958, 1988.
- Santos, S.R.M.; Miranda, I.S.; Tourinho, M.M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica**, v.34, p.1-8, 2004.
- Silva, R. P. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). **Tese de Doutorado** (Ciências Florestais). INPA, Brasil. 2007. 152p.
- Thibau, C.E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações**. Belo Horizonte: CVRD, 2000. 512p.
- WINROCK (International Institute for Agricultural Development). **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. California: California University, 1997. 87p.