

Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação

Édson Luis Bolfe¹
Mateus Batistella¹
Marcos César Ferreira²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/CNPM
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{bolfe; mb@cnpm.embrapa.br}

² Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IG
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
macferre@ige.unicamp.br

Abstract. The agroforestry systems (SAF) are an important strategy of land use, directed to the environment services, in special, to the carbon storage for the biomass. This paper presents activities developed with objective of aboveground biomass estimation (AGB) and the carbon storage (CS), existing in SAF in the Tomé-Açu, Pará, Brazil. The agroforestry data had been gotten by carried through inventory in 57 parcels show of 10x10 m. A tax of 1.424 was inventoried plants/ha, with $DAP \geq 2,5$ cm, pertaining the 29 families and 54 species. Considering its inherent joined variability to the structural and species information, the SAF had been divided in four classes (SAF 1, SAF 2, SAF 3 and SAF 4). For the estimate of the AGB, the indirect method, based was used in allometric equations. The AGB of the SAF was $89,10 \text{ Mgha}^{-1}$ and CS was $43,21 \text{ MgCha}^{-1}$ (2,83 for SAF 1; 18,85 for SAF 2; 36,58 for SAF 3 and 114,58 for SAF 4). The esteem values of CS for each class of SAF had been correlated the four vegetation index (*Ratio Vegetation Index* – RS 5:3, *Normalized Difference Vegetation Index* – ND 5:7, *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2* – TSAVI 2 and *Perpendicular Vegetation Index 3* – PVI 3), having significant correlation with this index, indicating the possibility of the use of these pointers in the survey and the monitoring of the carbon in the region.

Palavras-chave: image processing, biomass, MDL, processamento de imagens, biomassa, MDL.

1. Introdução

A elevação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera tornou-se um grave problema ambiental. Evidências obtidas por meio de observações em todos os continentes e na maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2007). Após evidências de estudos observacionais e de modelagem sobre as mudanças climáticas de origem antrópica, decorrentes de alterações do uso e cobertura da terra dentro na 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”. Atualmente, se almeja encontrar sistemas de produção eficazes para o seqüestro e o armazenamento de C na biomassa e no solo, em especial, nos sistemas cujos principais componentes florísticos são arbóreos. Montagnini e Nair (2004) destacam a busca por sistemas e métodos de baixo custo para seqüestrar C, está emergindo como um dos principais objetivos da política internacional no contexto das mudanças globais do clima. Essa demanda tem sido intensificada a partir do último relatório do IPCC (2007), onde é destacado que as atividades agrícolas de mitigação relacionadas às florestas podem reduzir de forma considerável as emissões por fontes e aumentar as remoções de CO_2 com baixos custos.

No Brasil, em especial na Amazônia, os SAF estão sendo amplamente estudados nos últimos anos, com ênfase na agricultura familiar (Luizão et al., 2006; Porro, 2009). Estes sistemas produtivos permitem a recuperação de áreas degradadas, a produção de cultivos diversificados (alimentares e biocombustíveis) e a geração de serviços ambientais (infiltração d'água, aumento da matéria orgânica e da biodiversidade), que se constituem em importantes sistemas de fixação

de C na biomassa vegetal e no solo. A estimativa de biomassa de sistemas envolvendo componentes florestais permite gerar informações sobre o estoque de nutrientes existentes na vegetação, os quais são de elevada relevância no uso dos recursos naturais de forma sustentável, assim como, nas questões relacionadas ao clima, onde a biomassa é utilizada para se 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; Lu et al., 2005; IPCC, 2007).

O maior desafio na mensuração e monitoramento de C em SAF em relação aos monocultivos, se deve à elevada dispersão das áreas e a diferentes sistemas de manejo aplicados. Desta forma, existe dificuldade em gerar metodologias e processos de extrapolação para áreas geograficamente mais abrangentes. Alguns estudos (Winrock, 1997; Albrecht e Kandji, 2003; Santos et al., 2004; Montagnini e Nair, 2004) têm sido realizados com objetivo de estimar o C fixado em SAF; porém, estes são baseados exclusivamente em métodos “destrutivos”, necessitando-se obter amostras “*in-loco*” das plantas e de avaliações laboratoriais, havendo elevado custo-benefício e de baixa expressão geopolítica, quando da certificação de serviços ambientais envolvendo Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL.

Dessa forma, é imprescindível o desenvolvimento de processos mais eficazes para se estimar o C fixado na biomassa epigea, os quais deverão ser formatados com base nas características intrínsecas ao local de estudo, mas ao mesmo tempo, passíveis de extrapolações. Os trabalhos realizados por meio de quantificação indireta baseados em processos não-destrutivos, que envolvem equações alométricas e informações espectrais de imagens de satélite, estão em fase inicial, e se constituem em um dos principais desafios técnico-científicos nos modelos de estimativas de fluxo de C (Foddy et al., 2003; Lu et al., 2005; IPCC, 2007). Nesse sentido, este estudo constitui-se em mais uma contribuição com as pesquisas envolvendo a estimativa de biomassa e o carbono de SAF's na Amazônia, a partir da análise realizada em agroflorestas existentes em Tomé-Açu, Pará e sua correlação com índices de vegetação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada em áreas de produtores rurais localizadas no distrito de Quatro Bocas, Tomé-Açu, PA (2°25'00" de latitude S e 48°09'09" de longitude W). Tomé-Açu faz parte da Mesorregião Nordeste Paraense e à Microrregião (IBGE, 2009). Segundo Rodrigues (2001), o relevo é caracterizado por compartimento topográfico bastante simples, tais como, baixos platôs aplainados, terraços e várzeas. Os solos predominantes são latossolos amarelo distrófico textura argilosa. A vegetação original representativa é a Floresta Ombrófila, Floresta Densa dos Baixos Platôs, a Densa de Platôs, atualmente bastante alteradas, ensejando o surgimento das florestas secundárias. O clima é mesotérmico e úmido – *Ami*, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média é 25°C com precipitação total anual em torno de 2.250mm.

2.2 Coleta e análise de Dados em Campo

Com apoio de imagem do satélite Landsat 5/TM de 2008, áreas potenciais para os levantamentos de campo foram selecionadas. Os proprietários dos lotes foram entrevistados, tomando-se informações sobre o histórico do uso da terra e os arranjos produtivos implantados. No total, inventariou-se 19 unidades amostrais, constituídas por três parcelas cada, totalizando 57 parcelas amostrais, constituídas de quadrados de 10x10 m. Foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e estimada a altura total (H) para os indivíduos com DAP superior a 2,5 cm. As coordenadas geográficas das parcelas foram localizadas através de sistema de posicionamento global (GPS). Informações sobre as características do sub-bosque, topografia, cobertura de copa também foram coletadas. Para as análises estrutural e florística dos SAF's, adotou-se recomendações propostas por Brower *et al.* (1998). Análises estatísticas descritivas foram realizadas analisar os dados coletados e validar o sistema de classificação proposto.



Figura 1. Composição colorida (3/4/5-B/G/R), imagem TM Landsat de 2008.

2.3 Estimativa do Carbono da Biomassa Epígea

Os dados obtidos por análise estrutural e florística foram armazenados em banco de dados geográficos. Utilizaram-se quatro modelos alométricos desenvolvidos para a região amazônica, com o objetivo de se estimar primeiramente a biomassa epígea individual da vegetação (kg/ind.). As Equações 1 e 2 (Higuchi et al., 1998) foram utilizadas para se estimar a EBE de indivíduos com DAP inferior a 20 cm, e DAP igual ou superior a 20 cm, respectivamente. A Equação 3 (Saldarriaga et al., 1988) foi aplicada para a estimativa da EBE de palmeiras. Para se estimar o estoque de carbono (EC) contido na EBE ($Mgha^{-1}$) nas classes (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4), os valores de EBE obtidos para cada indivíduo foram calculados para as diferentes parcelas amostrais e estimadas por ha. Posteriormente, multiplicou-se a EBE pelo fator 0,485, conforme indicado por, Higuchi et al. (1998) e descrito na Equação 4.

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

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

$$Exp(BE3) = Exp(-6,3798 + 0,877 * \ln(1/DAP^2)) + 2,151 * \ln(H) \quad (3)$$

$$EC = EBE * 0,485 \quad (4)$$

Onde: \ln é o logarítmo natural; DAP é o diâmetro a altura do peito (cm); H é a altura total (m); EBE é a biomassa epígea e 0,485 o fator de conversão para carbono.

2.4 Pré-processamento das Imagens Orbitais

Esta etapa foi realizada visando minimizar alterações detectadas na imagem, incluindo a atenuação de distorções geométricas e radiométricas (Chuvieco, 1996), elevando assim as possibilidades de extração de informações sobre a vegetação. As imagens utilizadas foram retificadas geometricamente a partir da Projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*, Zona 22S, SAD 69), baseada em pontos de controle obtidos em carta topográfica na escala 1:100.000. A reamostragem foi efetuada por meio do interpolador “vizinho mais próximo”, sendo que o erro médio quadrático situou-se em torno de 0,5 pixel para a imagem TM. Realizou-se ainda a correção radiométrica, técnica que modifica os números digitais (ND) com

o objetivo de caracterizar as imagens no caso de uma recepção ideal, englobando as distorções provocadas pela atmosfera e a conversão de ND da imagem em parâmetros físicos – radiância e reflectância (Chuvieco, 1996). Os efeitos atmosféricos foram corrigidos utilizando-se do modelo de subtração de objeto escuro (DOS). Para estes processos, foram empregados coeficientes de calibração do sensor TM e demais parâmetros conforme NASA (2008).

2.5 Aplicação dos Índices de Vegetação

Foram geradas quatro imagens sínteses dentro de três grupos de índices de vegetação: a) Índice de Razão Simples (*RS 5:3*); b) Índice de Diferença Normalizada (*ND 5:7*); e c) Índice Complexos ou Perpendiculares (Índice de vegetação transformado e ajustado para solo - *TSAVI 2* e Índice Perpendicular de Vegetação - *PVI 3*) desenvolvidos por Baret et al. (1989) e Qi et al. 1994, respectivamente, conforme descritos nas Equações 5, 6, 7 e 8.

$$RS\ 5:3 = (\rho_{IVM} / \rho_V) \quad (5)$$

$$ND\ 5:7 = (\rho_{IVM} - \rho_{IVD}) / (\rho_{IVM} + \rho_{IVD}) \quad (6)$$

$$TSAVI\ 2a = (\rho_{IVP} - a * \rho_V - b) / [(\rho_V + a * \rho_{IVP} - a * b + 0,8 (1+a^2))] \quad (7)$$

$$PVI\ 3 = (a\rho_{IVP} - b\rho_V) \quad (8)$$

Onde: ρ_V = refletância na faixa do vermelho; ρ_{IVP} = refletância na faixa do infravermelho próximo; ρ_{IVM} = refletância na faixa do infravermelho médio; ρ_{IVD} = refletância na faixa do infravermelho distante; a e b são, são respectivamente, a declividade e o intercepto da linha do solo, que possui a banda do infravermelho próximo como variável dependente

2.6 Regressão entre os dos Dados de Campo e as Variáveis Espectrais

Para cada parcela amostral, classificadas como SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4, foi calculada a EBE e o EC ($Mgha^{-1}$). Todas as informações foram tabuladas em banco de dados de um sistema de informação geográfica. Assim, utilizando-se do EC como variável dependente e os índices de vegetação como variáveis independentes calculou-se a correlação a partir de modelos de regressão linear simples.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Estrutural e Florística dos SAF

Nos SAF estudados, foram inventariados 5.697 indivíduos com DAP superior a 2,5cm (1.424 indivíduos/ha), pertencentes a 29 famílias botânicas e 54 espécies distintas. A partir da análise estatística das informações estruturais e florísticas dessas espécies, as características dos SAF foram diferenciadas, definindo-se uma divisão baseada em quatro classificações (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) (Tabela 1).

Tabela 1. Dados florísticos e estruturais dos quatro sistemas agrofloreais em Tomé-Açu, PA.

Dados/Parâmetros	Classificações Agrofloreais Propostas			
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
Nº de Espécies	9	19	19	40
N (ni/ha)	747	1.770	1.723	1.457
C (%)	29,5	45,0	63,0	78,0
G (m^2/ha)	2,3	7,2	20,4	36,3
DAP médio (cm)	5,2	6,4	10,7	13,7
DAP (s)	3,6	3,3	6,0	11,4
H média (m)	2,9	3,7	5,9	7,4
H (s)	1,4	2,0	2,9	5,4

Onde: (N) abundância, (C) cobertura de copa, (G) área basal, (DAP) diâmetro à altura do peito médio, (H) altura total média e (s) desvio padrão dos SAF.

3.2 Estimativa da Biomassa Epígea e do Carbono

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, total por hectare, para cada unidade amostral (Tabela 2), e a biomassa média por tipo de SAF (Tabela 3). A EBE total média foi de 89,10 Mg ha⁻¹ e o EC contido na EBE das quatro classes de SAF foi de 43,21 Mg C ha⁻¹.

Tabela 2. Unidades amostrais, localização, biomassa epígea (EBE) e estoque de carbono (EC).

Unidade Amostrai	Coord. UTM (mE)	Coord. UTM (mN)	Classe SAF	EBE (Mgha ⁻¹)	EC (Mgha ⁻¹)
1	806074	9734054	1	1,45	0,70
2	804616	9740186	1	0,82	0,40
3	806022	9741862	3	62,47	30,30
4	806186	9741914	4	224,21	108,74
5	806294	9741445	2	51,15	24,81
6	805240	9736872	2	22,00	10,67
7	804745	9735959	4	105,02	50,93
8	815050	9764451	4	480,05	232,82
9	815418	9754524	2	68,78	33,36
10	816525	9735396	4	94,51	45,84
11	791609	9722338	3	103,63	50,26
12	791746	9720938	1	15,42	7,48
13	791392	9723702	1	9,84	4,77
14	791089	9724277	3	51,86	25,15
15	795765	9724780	2	13,54	6,57
16	798964	9727644	1	4,98	2,42
17	802958	9717327	1	2,53	1,23
18	791784	9718972	4	277,46	134,57
19	792195	9718535	3	83,74	40,61

Tabela 3. Dados estimados para os quatro sistemas agrofloretais propostos para Tomé-Açu, PA. Biomassa epígea (EBE), estoque de carbono (EC) e média dos SAF's (MS).

Dados Estimados	Classificações Agrofloretais Propostas				
	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4	MS
Biomassa Epígea (EBE)	5,84	38,87	75,43	236,25	89,10
Estoque de Carbono (EC)	2,83	18,85	36,58	114,58	43,21

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 SAF's tropicais. Estes autores relatam que o potencial de seqüestro de C pela vegetação de SAF para a América do Sul é estimado entre 39 a 102 MgCha⁻¹, e, a média para a região tropical é de 95 Mg C ha⁻¹. O EC médio encontrado neste estudo (43,21 MgCha⁻¹), representa, em cerca de 20 % do citado por Dixon (1995), para sistemas antrópicos (228 MgCha⁻¹).

Quando se analisa o potencial de seqüestro de C pela vegetação dos SAF estudados, destaca-se o valor de EC encontrado no SAF 4 (114,58 MgCha⁻¹), o qual representa 50 % do carbono observado para sistemas antrópicos - incluído o retido no solo - constituindo-se assim, em importante alternativa para fixar e acumular carbono.

3.3 Regressão entre Dados de Campo e as Variáveis Espectrais

As imagens sínteses obtidas por meio dos índices de vegetação das bandas espectrais do TM Landsat 5 da área de estudo, estão apresentadas na Figura 2.

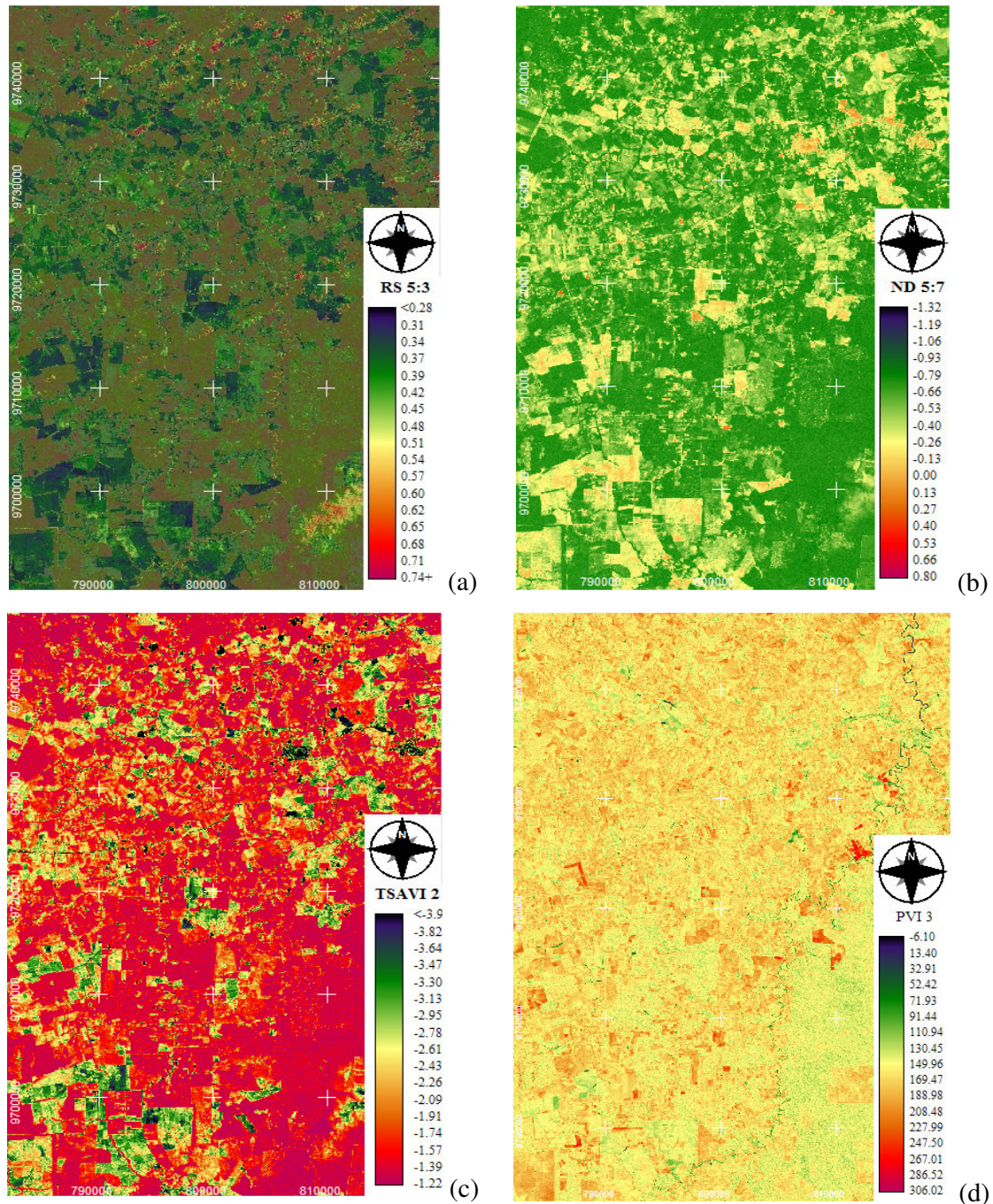


Figura 2. Índices de vegetação: a) RS 5:3, b) ND 5:7, (c) TSAVI 2 e (d) PVI 3.

Os dados obtidos pela extração das informações em cada categoria de SAF (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) nos diferentes índices de vegetação testados (RS 5:3, ND 5:7, TSAVI 2 e PVI 3), assim como, os coeficientes de regressão obtidos em modelos de regressão entre EBE/EC e os índices de vegetação, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Modelos ajustados para estimativa de carbono de SAF's em Tomé-Açu, PA (Imagem Landsat TM/2008).

Classe de SAF	Modelo de Regressão	r ²
SAF 1	Carbono = 29,543 – 93,352 * RS 5:3 ^b	0,54
SAF 2	Carbono = 107,415 + 161,617 * ND 5:7 ^a	0,73
SAF 3	Carbono = 168,502 + 81,618 * TSAVI 2 ^a	0,78
SAF 4	Carbono = 816,922 – 4,517 * PVI 3 ^a	0,61

^a Significativo pelo teste de t de Student em nível de 1% de probabilidade de erro.

^b Significativo pelo teste de t de Student em nível de 10% de probabilidade de erro.

r² Coeficiente de determinação.

As correlações observadas, de forma geral, foram superiores ao observado por Zerbini (1997) ao correlacionar a biomassa de Florestas Tropicais no estado do Pará com índices de vegetação gerados por meio de imagens TM/Landsat e HRV/Spot, os quais obtiveram correlações inferiores a r²=0,40 e também superiores, aos encontrados por Accioly et al. (2002) (r²=0,33 a r²=0,60) na estimativa de parâmetros estruturais de vegetação de Floresta Tropical e de Cerrado obtidos através de índices de vegetação e modelo linear de mistura espectral em imagens TM/Landsat. Da mesma forma, os valores obtidos para a região de Tomé-Açu foram superiores aos observados por Lu et al. (2005) na correlação de biomassa aérea com índices de vegetação, texturas e modelo de mistura espectral para florestas tropicais primárias (r²= 0,12 e 0,18) e semelhantes aos encontrados por Ponzoni e Rezende (2004) (r²=0,50 a 0,76) e por Lu et al. (2005) (r²=0,69 a 0,81) para florestas tropicais secundárias utilizando-se de imagens TM/Landsat.

4. Conclusões

Os parâmetros de percentual de cobertura de copa, área basal e altura média, evidenciam os intervalos da classificação proposta (SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4) para as agroflorestas da região em 2008, e possibilitam a discriminação entre tais sistemas, apesar da complexidade dos seus arranjos produtivos.

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 ambiental.

Os índices de vegetação testados (RS 5:3, ND 5:7, TSAVI 2 e PVI 3) possuem correlação positiva e significativa com o carbono estocado na biomassa epígea nos diferentes sistemas agrofloretais na região de estudo.

Sugerimos que novos estudos sejam conduzidos utilizando-se outros índices de vegetação, objetivando confirmar e ampliar os valores de correlação observados com o carbono de cada classe agroflorestral.

Referências Bibliográficas

Accioly, L. J.; Pacheco, A.; Costa, T. C. C.; Lopes, O. F.; Oliveira, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

Albrecht, A.; Kandji, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.

Baret, F.; Guyot, G.; Major, D. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI of APAR estimation. In: Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS '90, 12., Vancouver, Canada. **Proceedings**, 10-14 July, 1989. p 1355-1358.

- Brower, J.E.; Zar, J.H.; Van Ende, C.N. **Field and Laboratory Methods for General Ecology**. v.4 th WCB/McGraw, New York. 273p. 1998.
- Brown, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**. Rome: FAO, 1997.
- Chuvieco, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones. Rialp, 1996. 568p.
- Dixon, R.K. SAF's y gases invernadores. **Agrofloresteria en las Américas**. v.2, n.7, p.22-27, 1995.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**. v. 80, p. 21-34.
- Foddy, G. M.; Boyd, D. S.; Cluter, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, p. 463-474, 2003.
- 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, n.2, p.153-165.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Municípios**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01. jul. de 2009.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) **Climate Change. Summary for policymakers**.2007.
- International Institute for Agricultural Development (WINROCK). **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. California: California University, 1997. 87 p.
- Lu, D.; Batistella, M. e Moran, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v.71, n.8, p.967-974, 2005.
- Luizão, F. J.; Tapia-Coral, S.; Gallardo-Ordinola, J.; Silva, G. C.; Luizão, R. C. C.; Trujillo-Cabrera, L.; Wandelli, E.; Fernandes, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: CBSAF. VI. 2006. **Anais...** Campos dos Goytacazes:UENF, 2006, p.87-100.
- Montagnini, F.; Nair, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. v.61, p. 281-295, 2004.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Landsat**. Science data users handbook. Disponível em: < <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>>. Acesso em: 09 set. 2008.
- Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**. v.59, n.3, p.22-27. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br>>. Acesso em: 27. ago. 2007.
- Ponzoni, F.J.; Rezende, A. C.P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**. v.28, n.4, p. 535-545. 2004.
- Porro, R. **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 825p.
- Qi, J.; Chehbouni, A., Huete A.R.; Kerr, Y.H.; Sorooshian, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing Environmental**, v.48, n.2, p.119-126, 1994
- Rodrigues, T. E. **Zoneamento agroecológico do Município de Tomé-Açu, Pará**. Belém: Embrapa, 2001. 81p.
- Saldarriaga, J.G., West, D.C.; Tharp, M.L.; UHL C. 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, n.1, p.1-8, 2004.
- Zerbini, N. J. Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados de TM-Landsat 5 e HRV-SPOT 1. 1997. 127f. **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) INPE. São José dos Campos, SP. 1997.