

MUDANÇA DE COBERTURA DA TERRA E FLUXO DE CO₂ DO SOLO PARA ATMOSFERA NA AMAZÔNIA SULOCIDENTAL

CLEBER IBRAIM SALIMON¹
REYNALDO LUIZ VICTORIA¹
IRVING FOSTER BROWN²
THOMAS STONE²
ERIC ATLAS DAVIDSON²

¹CENA - Universidade de São Paulo
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
clebsal@cena.usp.br; reyna@cena.usp.br

The Woods Hole Research Center, PO Box 296, Woods Hole,
MA 02543 USA
fbrown@uol.com.br; tstone@whrc.org; edavidson@whrc.org

Abstract. In this paper we report the change in CO₂ flux from soil to the atmosphere at the landscape level in a test area in southwestern Amazonia. We used (1) remote sensing techniques to generate land cover maps from 1988 to 1997 and (2) we measured CO₂ flux from soils with an infrared gas analyzer for the years 1999 and 2000. With the coupling of these two techniques, we were able to observe that total CO₂ flux from soils to the atmosphere increased 13% at the landscape level during that period. Such an increase was due to the increase in pasture area, since pastures present the highest fluxes. These results, however, do not point to a net increase in CO₂ in the atmosphere, since photosynthesis-absorbed CO₂ was not measured.

Keywords: remote sensing, deforestation, land cover change, soil respiration, Acre, carbon.

1. Introdução

O desmatamento em regiões tropicais é um dos principais causadores de mudanças globais. A conversão de florestas em pastagens afeta os ciclos biogeoquímicos, fluxos de carbono para atmosfera, a biodiversidade terrestre e também a viabilidade social e econômica dos povos tradicionais das florestas. Em uma escala regional, o conhecimento sobre este tipo de mudança de cobertura e uso da terra é fundamental para avaliarmos o funcionamento de um ecossistema e também para planejamento de uso da paisagem.

O desmatamento na Amazônia brasileira está principalmente relacionado a conversão em pastagens (Fearnside, 2002). Após a utilização destas pastagens ou após o plantio por alguns anos, o solos desta região se tornam pouco produtivos e a prática mais comum é o abandono das áreas – que entram em um estágio de sucessão secundária, denominado regionalmente de capoeira. Desta forma, existem três principais coberturas do solo na região amazônica: (1) a florestas primárias, (2) as pastagens e (3) as capoeiras.

Vários estudos abordam as consequências do desmatamento e conversão em pastagens nos estoques de carbono na vegetação (Houghton et al. 2001) e também nos solos (Batjes e Dijkshoorn, 1999). Por sua vez, o fluxo de carbono do solo para atmosfera tem sido pouco estudado na Amazônia, com exceção em alguns locais no Pará (Davidson *et al.*, 2000) e em Rondônia (Feigl *et al.*, 1995; Meir *et al.*, 1996). Este fluxo pode ser na forma de CO₂, CH₄ e outros compostos orgânicos voláteis. Destas fontes de carbono para atmosfera, o CO₂ é o mais importante em termos de massa – especialmente através de queimadas e respiração de raízes e microrganismos do solo.

No presente trabalho nós abordamos a seguinte questão: como a mudança de cobertura do solo em uma área teste na Amazônia sul-ocidental altera o fluxo de CO₂ do solo para atmosfera ao nível da paisagem?

2. Material e Métodos

Nós escolhemos uma área de 200km² a cerca de 30km da cidade de Rio Branco, Acre (coordenadas dos quatro cantos da imagem: S10°10.308'/W067°38.906'; S10°02.415'/W067°31.352'; S10°10.308'/ W067°31.352'; S10°02.415'/ W067°38.906').

A vegetação nativa do leste acreano é caracterizada como Floresta Ombrófila Aberta (RADAMBRASIL, 1976; Veloso *et al.*, 1991). Em uma escala mais detalhada é possível reconhecer a dominância de bambu - *Guadua weberbaueri* Pilger – nestas florestas (Silveira, 1999).

O clima regional é classificado como Am (Köpen) com temperatura média de 26° C; pluviosidade entre 1750 e 2000 mm (Duarte *et al.*, 2000) com uma estação seca bem definida (com menos de 60 dias sem chuva); umidade relativa do ar de 85% (média anual). Os solos são classificados como argissolos distróficos com algumas áreas eutróficas e algumas manchas de latossolos amarelos (RADAMBRASIL, 1976; Eufan do Amaral *com.pess.*).

Imagens Landsat Thematic Mapper (TM) dos diferentes anos (1988, 1989, 1992, 1996 e 1997) da região de Rio Branco, Acre (WRS Landsat TM órbita 002, ponto 67) foram adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Projeto Pathfinder (através do Woods Hole Research Center - WHRC), **Tabela 1**. O processamento das imagens foi feito utilizando os programas IDRISI (Eastman, 1995) e ERDAS (ERDAS, 1991). Somente bandas 3, 4 e 5 foram utilizadas para este estudo pois para algumas datas somente estas estavam disponíveis.

Todas as imagens foram co-registradas a uma projeção UTM (datum SAD69) baseado em pontos de controle em solo, que foram adquiridos em campo com um GPS Garmin 12XL. Quando os pontos de controle foram obtidos, a disponibilidade seletiva (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1994) do sistema GPS ainda era aplicado, tornando a média do quadrado dos erros para cada ano em média maiores do que 1.5 pixels, **Tabela 1**.

Tabela 1. Descrição das imagens Landsat TM. A precipitação para cada mês é baseada na estação de chuva de Rio Branco, AC (Duarte *et al.*, 2000). O tamanho das imagens é de 14.2 km x 14.2 km. As Imagens foram adquiridas do INPE e WHRC.

	1988	1989	1992	1996	1997
Data	26 JUL 88	14 AUG 89	30 AUG 92	01 AUG 96	05 SEP 97
Núvens	Muito poucas	Muito poucas	Muito poucas	Muito poucas	Poucas nuvens a noroeste
Precipitação	13.7 mm	0 mm	22 mm	13.6 mm	65.4 mm
Erro de registro (rms)	59m	76m	32m	46m	31m

Para definirmos uma área comum a todas as imagens na série temporal, nós criamos arquivos vetoriais que definiam os limites de cada uma das imagens raster. Com a sobreposição de todos os arquivos vetoriais, nós definimos uma área comum a todas as imagens, através de um novo arquivo vetorial. Com base neste novo arquivo, nós criamos novos arquivos raster para cada ano, todos contendo exatamente a mesma área e coordenadas geográficas. Estes arquivos foram então utilizados para as classificações.

A classificação da cobertura do solo para cada ano foi feita através de classificação supervisionada (distância mínima) usando as bandas TM 3, 4, e 5. Os arquivos de assinatura utilizados para a classificação foram criados a partir de informações de campo adquiridas em 1998. Para determinarmos a cobertura do solo antes de 1998, nós entrevistamos moradores locais.

Esta classificação foi feita em três tipos de cobertura somente: (1) floresta primária, (2) pastagens e (3) florestas secundárias (capoeiras). A cobertura pastagem neste caso inclui

tanto pastagens quanto agricultura e áreas de moradia (embora estas duas últimas sejam muito pouco expressivas). Para maiores detalhes sobre correção atmosférica, acurácia e outras análises, ver Salimon et al. (no prelo).

As medidas de fluxo de CO₂ do solo para atmosfera foram feitas através da circulação de ar entre um analisador de gás por infravermelho (LiCor 6252), uma câmara coletora e uma cobertura de pvc instalada no solo. O ar é circulado entre a câmara e o LiCor através de uma pequena bomba de ar com um fluxo de 0.5 l*min⁻¹. As leituras do LiCor são gravadas a cada 12 segundos em um *palmtop* (Texas Instruments, XL200) e o fluxo de CO₂ é calculado através da regressão linear do aumento da concentração de CO₂ na câmara ao longo do tempo (para uma revisão sobre o método, ver Davidson et al. 2002a).

Estas medições do fluxo de CO₂ foram feitas em 4 pastagens, 8 florestas secundárias e 4 florestas intactas, sendo que em cada uma das áreas foram instalados 8 anéis de medição (repetição interna). As medidas foram feitas entre os anos 1999 e 2000.

Os fluxos anuais foram calculados multiplicando-se os fluxos horários pelo número de horas e dias de cada mês. Depois de calculados os fluxos mensais para todas as áreas, nós obtemos os fluxos anuais. Os desvios padrões apresentados neste cálculo referem-se a variação espacial entre as repetições em cada local de coleta e não a variação temporal.

Para avaliarmos a influência da mudança de cobertura do solo sobre o fluxo de CO₂, nós utilizamos os resultados obtidos nas classificações e nas medidas de fluxo. Portanto, um premissa para tal análise é que os resultados de fluxo obtidos nos anos amostrados (1999 e 2000) são representativos para cada cobertura e para todos os anos. Consideramos válida esta premissa uma vez que (1) os padrões climáticos não se alteraram desde 1988 até o presente; (2) a espécie utilizada para implantação de pastagens *Brachiaria brizantha* tem sido a mesma e (3) o comportamento metabólico de florestas primárias e secundárias e dos microrganismos do solo é constante ao longo dos anos, uma vez que não houve uma mudança climática no período.

Para tanto, utilizamos os resultados das áreas de pastagens, florestas primárias e secundárias para cada ano e multiplicamos pelos valores de fluxo anual de CO₂ de cada cobertura, **equação (1)**.

$$Fluxo_{paisagem\ x} = (ax * f)_{pastagem} + (ax * f)_{floresta\ primária} + (ax * f)_{floresta\ secundária} \quad (1)$$

onde: $Fluxo_{paisagem\ x}$ significa o fluxo total da área teste para o ano x; ax significa área (hectares) das respectivas coberturas no ano x e f significa fluxo anual de CO₂ do solo para atmosfera (Mg CO₂-C ha⁻¹ a⁻¹) das respectivas coberturas.

Após obtermos o fluxo total da área teste para cada ano, nós comparamos os respectivos valores para avaliarmos o quanto a mudança de cobertura influenciou no fluxo entre 1988 até 1997.

3. Resultados e Discussão

A área de florestas primárias e secundárias (capoeiras) diminuiu, -16% e -5% respectivamente; enquanto a área de pastagens (incluindo pastagens, agricultura e cicatriz de fogo) aumentou 21% entre 1988 e 1997, **Tabela 2**. Estes valores de desmatamento são superiores aos apresentados para todo o estado do Acre entre 1978 e 1999, de aproximadamente 10% de desmatamento (INPE, 2001). Esta diferença de resultados pode ser devido ao fato de que perto de Rio Branco é onde a maior parte do impacto antropogênico ocorre e portanto é onde a taxa de desmatamento é maior. Como os dados do INPE são para todo o estado, sua porcentagem de desmatamento é menor. Apesar desta diferença nos valores totais, esta tendência de diminuição da área de florestas primárias está de acordo como os resultados obtidos para toda a Amazônia INPE (2001).

Tabela 2. Resultado da classificação supervisionada para a área teste para os anos 1988, 1989, 1992, 1996 e 1997. O denominador para as porcentagens é a área total de 200 km².

	Floresta Primária		Pastagens, agricultura e cicatrizes de fogo		Floresta secundária ≤11anos	
	ha	%	Ha	%	Ha	%
1988	13,654	68	3,650	18	2,779	14
1989	12,934	64	4,113	21	3,036	15
1992	11,986	60	5,152	25	2,946	15
1996	10,486	52	7,029	35	2,568	13
1997	10,455	52	7,852	39	1,775	09
Mudança total	16% diminuição		21% aumento		5% diminuição	

Com relação aos fluxos anuais de CO₂ do solo para atmosfera, as pastagens apresentaram os maiores fluxos, 28 (±2.7) Mg CO₂-C ha⁻¹a⁻¹, que é cerca de 70% maior do que os fluxos das florestas primárias e secundárias, 16.4 (±2.3) e 16.3 (±2) CO₂-C ha⁻¹a⁻¹ respectivamente. Estes valores de respiração de solo para florestas estão situados dentro da amplitude de valores para florestas tropicais publicados por outros autores (Davidson *et al.*, 2002b), mas a estimativa anual para pastagens é provavelmente a mais alta já observada. Os fluxos anuais para cada área de coleta é dado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Fluxo anual de CO₂ do solo para atmosfera para pastagens, florestas primárias e secundárias no leste do estado do Acre. Os erros em parêntesis na última coluna são os desvios padrões referentes a variação espacial entre os anéis de medida em cada local. Fonte: Salimon et al. (submetido a Global Change Biology)

Cobertura do solo	Fluxo Annual de CO ₂ (Mg CO ₂ -C ha ⁻¹ a ⁻¹)
Floresta secundária	16,3 (2)
Floresta primária	16,4 (2,3)
pastagem	27,9 (2,7)

Com a combinação destes resultados da classificação das imagens e dos fluxos de CO₂ através da **equação (1)**, pudemos chegar aos resultados de fluxo de CO₂ total da área teste ao longo do período estudado, **Tabela 4**.

Com este resultado podemos perceber que com o passar dos anos, devido ao desmatamento e conversão das florestas em pastagens (que apresentam os maiores fluxos), a paisagem como um todo teve um aumento de 13% no fluxo de CO₂ do solo para atmosfera, **Figura 1**.

Tabela 4. Fluxo total da paisagem e de cada cobertura do solo para cada um dos anos amostrados. O denominador para as porcentagens é a área total de 200 km², que corresponde aos valores da coluna “Paisagem total”. Valores expresso em Gg (10⁹g CO₂-C).

ano	Paisagem total	Florestas primárias		pastagens		Florestas secundárias	
	Gg	Gg	%	Gg	%	Gg	%
1988	371 (47)	224 (31)	60	102 (10)	28	45 (6)	12
1989	377 (47)	212 (30)	56	115 (11)	31	49 (6)	13
1992	389 (47)	197 (28)	51	144 (14)	37	48 (6)	12
1996	411 (48)	172 (24)	42	197 (19)	48	42 (5)	10
1997	420 (49)	171 (24)	41	220 (21)	52	29 (4)	7

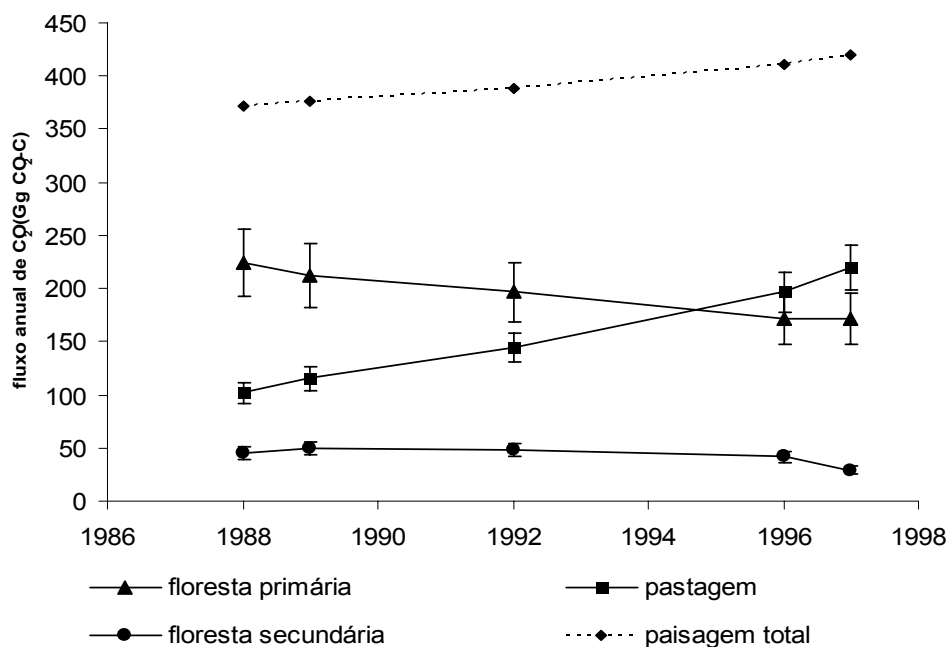


Figura 1. Fluxo anual total de CO₂ do solo para atmosfera nas 3 coberturas do solo analisadas e também para toda a paisagem entre os anos 1988 e 1997, para uma área teste no leste do estado do Acre.

Na **Figura 2**, onde temos os mapas de classificação com os respectivos fluxos de cada cobertura ao lado, podemos perceber que em 1996 o fluxo total de pastagens já era superior ao de florestas primárias.

Estes resultados mostram que com a alteração da cobertura e uso do solo nesta região da Amazônia ocorre um aumento do fluxo total de CO₂ para atmosfera. Porém não devemos concluir a partir destes resultados que existe um aumento da emissão líquida de CO₂ para atmosfera, uma vez que só medimos o fluxo do solo para atmosfera.

Se a produtividade primária líquida for maior devido ao aumento de áreas de pastagens talvez o fluxo líquido (produtividade líquida do ecossistema) seja zero ou até negativo (significando um seqüestro de carbono).

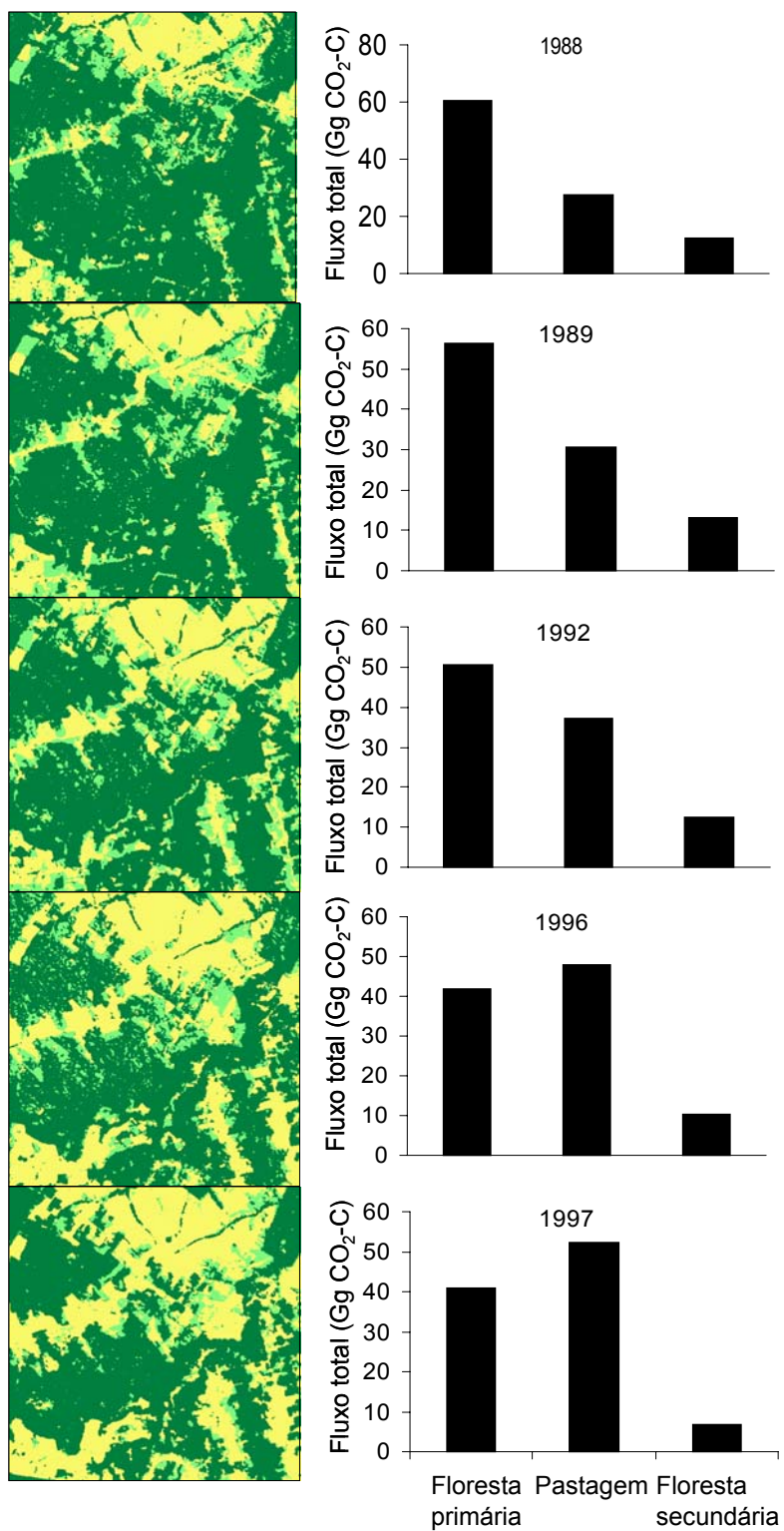


Figura 2. Mapas de classificação de cobertura do solo; onde: verde escuro representa florestas primárias, verde claro, florestas secundárias e amarelo pastagens. Ao lado de cada mapa, encontram-se os fluxos anuais totais de CO₂ do solo para atmosfera para cada componente da paisagem (em Gg de CO₂-C).

4. Agradecimentos

Agradecemos a Eric A. Davidson, Irving Foster Brown, Thomas Stone, Antonio Willian Flores de Melo e Jorcinei W. Pereira pela participação nas discussões, análise de dados, e confecção de artigos e coleta de dados. Agradeço também a Maria Victoria Ballester pelo apoio e sugestões valiosas. Este trabalho foi financiado pela FAPESP (processo 99/03315-3); NASA LBA-ECO (NCC5-332) e também pela State University of New York/USAID.

Referências

- Batjes NH, Dijkshoorn JA (1999) Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, **89**, 273-286.
- Davidson EA, Verchot, LV, Cattanio JH, Ackerman IL, Carvalho JEM (2000) Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazônia. *Biogeochemistry*, **48**, 53-69.
- Davidson EA, Savage, K, Verchot, LV, Navarro R (2002a) Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, **113**, 21-37.
- Davidson EA, Savage, K, Bolstad P, *et al.* (2002b) Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, **113**, 39-51.
- Duarte AF, Artaxo Neto P, Brown IF, Quintela TS, Chaim AC (2000) *O clima em Rio Branco – Acre Brasil entre os anos 1970 e 2000*. Technical report to Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Rio Branco, AC.
- Eastman JR (1995) *IDRISI for Windows*. Clark University, Worcester, MA.
- ERDAS (1991) Field Guide. 2nd Edition, Ver 7.5, ERDAS, Atlanta, GA 394 pp.
- Fearnside PM (2002) Amazonia, Deforestation of. In: Goudie, A.S; Cuff, D.J. *Encyclopedia of Global Change: environmental change and human society*. Oxford University Press, New York, v.1, pp.31-38.
- Feigl BJ, Steudler PA, Cerri CC (1995) Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondonia, Brazil. *Biogeochemistry*, **31** (1), 1-14.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (1994). *GPS – theory and practice*. Springer-Verlag, New York, 3rd edition.
- Houghton RA, Lawrance KT, Hackler JL, Brown S (2001) The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, **7**, 731-746.
- INPE (2001). *Monitoring of the Brazilian Amazonian Forest by Satellite, 1998-1999*. Instituto Nacional Pesquisas Espaciais, at <http://www.inpe.br/amz.htm>; http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz1999_2000/Prodes/html/pag_7.htm.
- Meir P, Grace J, Miranda AC, Loyd J (1996) Soil respiration in a rainforest in Amazônia and in cerrado in central Brazil. In: *Amazonian Deforestation and Climate* (eds Gash JHC, Nobre CA, Roberts JM, Victoria RL), pp. 319-330. John Willey and Sons, Chichester.
- RADAMBRASIL (1976) *Folha SC.19 Rio Branco*. Ministerio das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto RADAM BRASIL, Rio de Janeiro, RJ.
- Salimon CI, Brown IF, Stone TA. (prelo) Diminishing Secondary and Primary Forests in Acre State, Brazil, Southwestern Amazonia. *Remote Sensing of Environment*.
- Salimon CI, Davidson EA, Victoria RL, Melo AWF. (submetido) CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. Submetido a *Global Change Biology*.
- Silveira M (1999) Ecological aspects of bamboo-dominated Forest in southwestern Amazônia: an ethnosciences perspective. *Ecotropica*, **5**, 213-216.
- Veloso HP, Rangel F^o ALR, Lima JCA (1991) *Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal*. IBGE, Rio de Janeiro.