

VARIAÇÕES SAZONAIS DE FLUXO E CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO SOBRE UMA ÁREA DE FLORESTA NA REGIÃO CENTRAL DA AMAZÔNIA.

Rafael FERREIRA DA COSTA¹, Gilberto FISCH², Antonio Roberto PEREIRA¹, Alistair CULF³, Yadvinder MALHI⁴, Carlos Afonso NOBRE⁵, Solange Silva de SOUZA⁵, Sylvia Elaine Marques de FARIAS¹ e Antonio Donato NOBRE⁶.

¹ DMF/ESALQ/USP, Caixa Postal 09, CEP 13.418-970, Piracicaba, SP.

² ACA/IAE/CTA, CEP 12228-904, S. J. dos Campos, SP.

³ Institute of Hydrology, Wallingford, OX10 8BB, UK.

⁴ University of Edinburgh, Edinburg, EH9 3JU, UK.

⁵ CPTEC/INPE, CEP 12.630-000, Cachoeira Paulista, SP.

⁶ INPA, Caixa Postal 478, CEP 69.083-000, Manaus, AM.

ABSTRACT

The measurements of CO₂ have been collected during the period of Feb 15-22, 1996 (total rainfall of 109.8 mm) and in Oct 21-28, 1995 (rainfall of 12.6 mm) in central Amazonia, in order to characterize the behavior of the CO₂ exchange for wet and dry conditions. During the dry season the maximum CO₂ concentration was 418 ppm at 7:00 Local Time (LT), with a minimum of 363 ppm at 12:00 LT. For the wet season, maximum CO₂ concentration was 394 ppm at 5:00 Local Time (LT), with a minimum of 351 ppm at 17:00 LT. On average the CO₂ concentrations are higher during the dry season (4,7 %). During the nighttime conditions and until early morning, the CO₂ fluxes are from the forest to the atmosphere. During the dry season, there was a maximum of +7,2 μmol m⁻²s⁻¹ at 8:00 LT, while at the wet season this maximum was +9,9 μmol m⁻²s⁻¹ at 7:00 LT. The flux changes sign (from positive values during the night to negative values during daytime), according to the uptake of CO₂ for photosynthesis. During the dry season, the minimum flux was -13,5 μmol m⁻²s⁻¹ at 11:00 LT, decreasing this value to -14,5 μmol m⁻²s⁻¹ at 12 LT for the wet season. The carbon (C) budget for the forest shows that there is a sequestration of -3,98 ton C ha⁻¹ year⁻¹ from the dry season, increasing this number to 4,26 ton C ha⁻¹ year⁻¹ for the wet season.

INTRODUÇÃO

Uma grande fonte de carbono para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis provocada por atividades antropogênicas. A intensa utilização de petróleo e seus derivados vem colaborando com o aumento de CO₂ na atmosfera e as atividades vulcânicas também contribuem com a emissão de gases. Desde o início da era industrial, a participação do carbono na atmosfera global tem aumentado, sendo que a concentração média de CO₂ cresceu de 280 ppm para aproximadamente 360 ppm (KEELING & WHORF, 1994). Cerca de 50% do total das emissões antropogênicas ainda permanecem na atmosfera (TANS et al., 1990; CONWAY et al., 1994). Os emissores (fontes) de CO₂ para a atmosfera são bem conhecidos, entretanto quantificar os sumidouros ainda é uma atividade em desenvolvimento. Recentes estudos mostram que as

florestas atuam como grandes sumidouros (WOSFY et al., 1988, GRACE et al., 1995, GRECO & BALDOCCHI, 1996).

A necessidade de produzir cada vez mais alimentos, para uma população sempre maior, fez com que se aumentassem as áreas de plantio em todos os continentes, com a diminuição das áreas de floresta o carbono que estava armazenado na biomassa vegetal é devolvido à atmosfera, podendo colaborar com a intensificação do aquecimento global através do efeito estufa. As florestas tropicais são responsáveis por metade da absorção de CO₂ realizada pela vegetação (NOBRE & GASH, 1997). A Amazônia sendo a maior área florestada na região equatorial, tem participação fundamental neste balanço que precisa ser melhor estudada. Nos estudos para florestas tropicais, WOSFY et al. (1988) alcançaram seus resultados através da técnica de cromatografia gasosa, durante o experimento ABLE (Amazon Boundary Layer Experiment) na Amazônia, o fluxo mínimo encontrado foi de $-5,7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ da atmosfera para a vegetação. Este trabalho tem o objetivo de analisar as variações sazonais no comportamento dos fluxos e concentrações do CO₂ em uma área de floresta.

MATERIAL E MÉTODOS

As medidas de fluxos e concentrações de CO₂ foram feitas na Bacia Experimental do Rio Tarumã-açu (02° 36'S, 60° 07'W, 52m altitude) próxima a Manaus (AM), durante dois períodos característicos das estações seca (21 a 28 de outubro de 1995) e chuvosa (15 a 22 de fevereiro de 1996). O sítio experimental foi o de floresta tropical, com árvores de altura média de 30 m (CULF et al., 1998). Em uma torre com 45 m de altura foram montados um analisador infravermelho de gás LI-6262 (Li-Cor, EUA) e um anemômetro sônico tridimensional Gill (Solent, UK) (Figura 1). Os valores de fluxos turbulentos foram calculados através da técnica de correlações de vórtices, com medidas simultâneas de desvios de velocidade vertical (w') e de concentração (CO₂'). Informações meteorológicas foram coletadas com uma estação automática instalada no topo da torre, visando caracterizar as condições dos períodos de coletas de fluxos.



Figura 1 – À esquerda, vista da torre de 45 m de altura pertencente ao INPA, instalada na área experimental da Bacia do Rio Tarumã-açu, próxima à Manaus, no centro, um anemômetro sônico montado no topo da torre. À direita, em cima, o analisador de gás infravermelho LI6262 dentro do abrigo, que contém ainda os frascos de produtos químicos (percloro de magnésio e soda

lime) fixos à porta e um computador compacto para armazenagem dos dados; em baixo detalhe do anemômetro sônico com o coletor de amostras de ar acoplado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A chuva é elemento fundamental na classificação climática de uma região e os amazônidas distinguem as estações do ano pelas épocas chuvosa e seca (FERREIRA DA COSTA et al., 1998). Os dois períodos selecionados para esta análise possuem características bastante diferenciadas quanto à precipitação. O período seco, de 22 a 28 de outubro de 1995, registrou um total de 12,6 mm de chuva, sendo que 81% desse total ocorreram entre 12 e 13 horas local (hl). Dos oito dias estudados, apenas quatro registraram ocorrência de chuva, e os dias 24 (6,4 mm) e 27 (4,6 mm) acumularam mais de 87% do total precipitado no período. A fase chuvosa, de 15 a 22 de fevereiro de 1996, registrou um total de 108,9 mm de chuva, com seis dias com ocorrência de chuva, no intervalo entre 07 e 18 hl foram registrados 82,8 mm, equivalentes a 75,4% do total no período.

DIÓXIDO DE CARBONO

A variação da concentração de CO₂ oscilou de 345 ppm até 444 ppm durante a época seca, e entre 340 ppm e 420 ppm no período chuvoso. Em média o CO₂ teve uma concentração maior 4,7% no período seco do que no chuvoso, com máximos de 418 ppm e 394 ppm respectivamente, enquanto que os mínimos foram de 363 ppm no período seco e 351 ppm no chuvoso (figura 3a). As medições realizadas por GRACE et al. (1995) indicaram concentrações de CO₂ variando entre 350 e 500 ppm, sendo que estes dados foram coletados entre os meses de maio e junho de 1993 (período de transição do período chuvoso para o seco), no sudoeste da Amazônia. Nota-se que a floresta funciona como um sumidouro de CO₂ no período das 8 às 18hl e como emissor no restante do dia.

Quanto ao fluxo de CO₂, a variação registrou emissões extremas de +37,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (período seco) e +39,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (período chuvoso) e absorções máximas de -20,7 e -22,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para os períodos seco e chuvoso respectivamente. Para o período seco os fluxos de CO₂ (figura 3b), em média oscilaram entre um máximo de -13,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (às 11 hl) e mínimo de +7,2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (às 7hl). Para a época chuvosa, a variação foi de -14,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (às 12hl) até +9,8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (às 7hl), estando estes fluxos relacionados com a emissão de CO₂ liberado por níveis inferiores da vegetação e pelo solo, e que devido a inversão de temperatura no dossel, permaneceram presos na vegetação superior. Com o aquecimento pela radiação solar, o CO₂ liberado pelo sistema solo-vegetação, provoca um aumento no fluxo para a atmosfera. Após este pico, por volta das 10hl, o fluxo se inverte com o aumento da fotossíntese, passando a floresta a absorver o CO₂ existente na atmosfera. GRACE et al. (1995) detectaram fluxos de CO₂, da vegetação para a atmosfera de +8,2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no início da manhã. Os valores integrados (figura 4b) para o período de absorção mostram que no período seco (das 9 às 17 hl) houve um fluxo de -64,87 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, enquanto que no período de liberação (das 18 às 8 hl) existiu um fluxo de +39,61 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Para a época de chuva, os fluxos foram de -97,16 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (das 9 às 18 hl) e +70,14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (das 19 às 8 hl). O balanço médio diário indica a retirada de CO₂ da

atmosfera pela floresta. Estes valores caracterizam que a floresta retira cerca de 7% a mais CO_2 da atmosfera durante os períodos de chuva que nos secos, possivelmente devido à maior disponibilidade de água que permite evapotranspiração mais acentuada, proporcionada pela abertura dos estômatos. No período seco, o fluxo de CO_2 é de $-25,3 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ enquanto que no período chuvoso é de $-27,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Estes valores, caracterizam o enorme potencial que a floresta possui de absorver o CO_2 presente na atmosfera, durante qualquer época do ano. Um modelo aplicado por GRACE et al. (1996), utilizando dados da Amazônia de 1993, sugere que há um balanço líquido de carbono em favor da floresta. A vegetação retiraria da atmosfera, até $1 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Informações como estas, ainda não são totalmente aceitas, porém, indicam o quão sensível é a questão da utilização das áreas de floresta.

Para florestas temperadas do Hemisfério Norte, GRECO & BALDOCCHI (1996), analisaram as variações sazonais existentes nos fluxos de CO_2 para uma floresta em crescimento próximo a Oak Ridge (EUA), e calcularam um balanço líquido de carbono da ordem de $5 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sendo retirados da atmosfera pela vegetação.

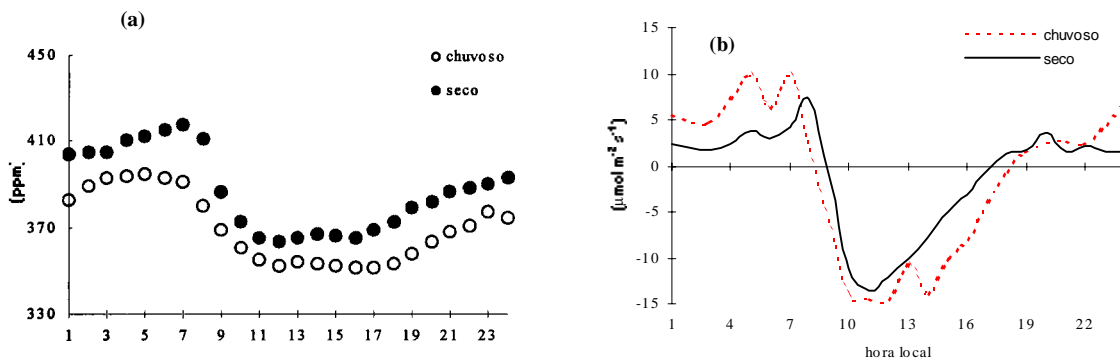


Figura 3 - (a) Ciclo diário da concentração média de CO_2 na floresta. O período seco (círculos cheios) registra concentrações sempre superiores (em média 4,7%) às do período chuvoso (círculos vazados). (b) Ciclo diário do fluxo médio de CO_2 , o período seco (linha contínua) tem valores inferiores aos do período chuvoso (linha tracejada) durante a fase de liberação, este comportamento é invertido quando da absorção. Nas primeiras horas da manhã ocorrem as maiores concentrações de CO_2 nos dois períodos.

CONCLUSÃO

Este estudo mostra que a floresta emite (à noite) e absorve (de dia) mais CO_2 no período chuvoso do que no seco. No balanço geral de CO_2 (absorção menos emissão), a floresta retira da atmosfera cerca de 7% a mais no período chuvoso do que no seco. Esta análise indica que a floresta pode ser capaz de retirar até $-3,98 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante os períodos secos e $-4,26 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nos chuvosos. Independente da sazonalidade a floresta é um sistema filtrante de CO_2 da atmosfera. Neste enfoque, a floresta amazônica ao ser destruída, poderá elevar as concentrações de CO_2 na atmosfera pela liberação da quantidade incorporada na matéria orgânica e também pela redução da absorção da atmosfera. Ao ser preservada poderá manter o equilíbrio e até reduzir as concentrações, retirando da atmosfera mais CO_2 , do que foi por ela emitido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPD-G7), através do Projeto “Balanço de Energia e Vapor d’água e CO₂ em áreas de floresta tropical na Amazônia (95/0966).

BIBLIOGRAFIA

- CONWAY, T. J., TANS, P. P., WATERMAN, L. S., THONING, K. W., KITZIS, D. R., MASARIE, K. and ZHANG, N. 1994. Evidence for interannual variability of the carbon cycle from NOAA/CMDL global sampling network. *Journal of Geophysical Research*, 99, 22831 - 22855.
- CULF, A. D., FISCH, G., MALHI, Y., FERREIRA DA COSTA, R., NOBRE, A. D., MARQUES FILHO, A. O., GASH, J., GRACE, J. Carbon dioxide measurements in the nocturnal boundary layer over Amazonian forest. *Earth and Hydrology Process* (no prelo).
- FERREIRA DA COSTA, R., FEITOSA, J. R. P., FISCH, G. SOUZA, S. S., e NOBRE, C. A. . 1998. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. *Acta Amazônica*, 28 (4) (no prelo).
- GRACE, J. LLOYD, J., McINTIRE, J., MIRANDA, A., MEIR, P., MIRANDA, H., MONCRIEFF, J., MASSHEDER, J. WRIGHT, I. and GASH, J. H. C. 1995. Fluxes of carbon dioxide and water vapor over na undisturbed tropical forest in south-west Amazonia. *Global Change Biology*, 1 (1), 1-12.
- GRACE, J., MALHI, Y., LLOYD, J., McINTIRE, J., MIRANDA, A., MEIR, P., and MIRANDA, H. 1996. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest. *Global Change Biology*, 2, 209 - 217.
- GRECO, S. and BALDOCCHI, D. D. 1996. Seasonal variations of CO₂ and water vapor exchange rates over a temperate deciduous forest. *Global Change Biology*, 2, 183 – 197.
- KEELING, C.D., and WHORF, T.P. 1994. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In "Trends '93: a compendium of data on global change". 16– 26.
- NOBRE C.A. & GASH J.H.C. 1997. Desmatamento e clima: o maior estudo já feito na Amazônia. *Ciência Hoje*, 22 (128), 32-41.
- TANS, P. P., FUNG, Y. I., TAKAHASI, T. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, 247, 1431 – 1438.
- WOFSY, S. C., HARRISS, R.C. AND KAPLAN, W. A. 1988. Carbon dioxide in the atmosphere over the Amazon basin. *Journal of Geophysical Research*, 93 (D2), 1377-1387.