

**RESPIRAÇÃO DO SOLO: COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS COM MATA NATURAL,
MATA RECÉM-QUEIMADA E PASTAGEM, NA AMAZÔNIA CENTRAL**

S. Kepler¹, B. Volkoff², C.C. Cerri³, T. Choné⁴, F. Luizão⁵, B.P. Eduardo³

1. Eberhard-Karls Universität, Allgemeine Botanik u. Pflanzenphysiologie, Tübingen, Germany
2. ORSTOM, Yaoundé, Cameroun
3. CENA/USP, Piracicaba, SP, Brasil
4. Centre de Pédologie Biologique, Nancy, France
5. INPA, Manaus, AM, Brasil



ABSTRACT

CO₂ evolution from soil, measured by IRGA (Infrared Gas Analyser), showed significant differences among three different areas, (i) with natural vegetation, (ii) recently burned forest and (iii) pasture in Central Amazônia. Values from 0.4-1.0 g CO₂.m⁻².h⁻¹ were recorded in the natural ecosystem, which decreased 50% after fire and doubled after setting of pasture (Graminae).

The origin of CO₂ evolved from soil has been studied isolating the layers at different depths. It has been noted that the superficial 5 cm layer contributes with over 80% of total in primary forest and pasture.

The follow-up of total soil respiration for 24 h periods, with samplings at each 2-3 hours, indicated that there is a considerable decrease of CO₂ liberation to atmosphere at night in areas with vegetation, while, in the burned area, this effect is not observed. This suggests the importance of root activity, which is confirmed more in pasture than in primary forest.

RESUMO

A liberação de CO₂ do solo para a atmosfera, medida por IRGA (Infrared Gas Analyser), mostrou diferenças significativas entre áreas com mata primária, mata recém-queimada e pastagem na região da Amazônia Central. No ecossistema natural, foram registrados valores entre 0,4-1,0 g CO₂.m⁻².h⁻¹, que decrescem em 50% após a ação do fogo e dobram com a instalação de gramíneas.

Foi estudada a origem do CO₂ liberado, com o isolamento de camadas a diferentes profundidades. Verificou-se que os 5 cm superficiais contribuem com mais de 80% do total na mata primária e na pastagem.

Já o comportamento da respiração total do solo por períodos de 24 h, com amostragens a cada 2-3 horas, mostrou que há uma queda considerável da liberação de CO₂ para a atmosfera à noite nas áreas com vegetação, enquanto que na área queimada este efeito não se verifica. Este seria também um indício da importância da atividade radicular, que se confirma pela maior produção total de CO₂ na pastagem, onde a massa de raízes finas é maior que na mata primária.

INTRODUÇÃO

As florestas da Amazônia Central são consideradas ecossistemas em equilíbrio, ou seja, a biomassa vegetal e animal se mantém constante. Tal fato implica ciclagem de água, carbono e nutrientes, que garantem um estoque inalterado destes elementos no sistema ao longo do tempo; as exportações (ou perdas) por lixiviação, evaporação e respiração sempre são repostas por importações pela precipitação, assentamento de poeira e fixação biológica. Para a região Amazônica especificamente, foram levantados, até hoje, somente dados gerais sobre a produção primária, rizodeposições, dinâmica da matéria orgânica do solo e o destino final deste carbono do solo. Uma contribuição para se traçar o movimento deste elemento pode ser feita pela quantificação da respiração do solo, ou seja, pela avaliação da exportação gasosa de carbono na forma de CO₂ para a atmosfera.

A respiração do solo, ou respiração

edáfica, é a somatória das liberações de CO₂ para a atmosfera, resultante de vários processos que ocorrem na liteira, superfície e camadas mais profundas do solo. A respiração dos microorganismos (principalmente bactérias e fungos) e da fauna; os processos fermentativos, que ocorrem em profundidade sob condições de anaerobiose, e a oxidação química, derivam da decomposição da matéria orgânica e estão ligados à produção primária do sistema em clímax (Lieth, 1961; Medina, 1966; Schulze, 1967; Wanner, 1979; Raich, 1983). Já a respiração das raízes e seus simbiontes, além da decomposição dos rizodepósitos – cuja importância é variável de acordo com a área estudada – que sempre contribuem com 30-80% da respiração total (Medina, 1966; Reiners, 1968; Goreau & Mello, 1985; Kursar, 1989), devem ser considerados separadamente. Até hoje, é impossível se fazer a distinção entre o CO₂ proveniente destes processos e o CO₂ produzido na de-

composição dos materiais orgânicos.

Vários fatores atmosféricos e pedosféricos, como temperatura, umidade, textura, porosidade, pH, qualidade e quantidade de matéria orgânica, índice pluviométrico, etc., influem na respiração do solo (Orchard & Cook, 1983), verificando-se, inclusive, diferenças nas taxas respiratórias diurnas e noturnas (Martins & Matthes, 1978; Medina et al., 1980; Goreau & Mello, 1985).

Neste trabalho, foram estudadas três áreas contíguas, (i) com cobertura vegetal de mata primária, (ii) deflorestada por ação do fogo e (iii) introdução recente de pastagem. O objetivo foi observar as alterações na evolução do carbono do solo causadas pela interferência do homem no ecossistema natural.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização das Áreas

As medidas da liberação de CO₂ do solo foram feitas na fazenda experimental da FUCADA (Fundação Centro de Apoio ao Distrito Agropecuário), órgão da SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus), no km 38 da rodovia BR-174 que liga Manaus (AM) a Boa Vista (RR). Foi escolhida uma área plana, estando as três situações de interesse (mata primária, área queimada e pastagem) localizadas num mesmo platô extenso de latossolo amarelo, de textura muito argilosa. Os dados climáticos referentes à região, e apresentados na Tabela 1, foram obtidos na Estação Meteorológica de Manaus (Ministério da Agricultura, 1968).

A área de mata primária apresentava o

padrão da vegetação dominante na região, com uma camada de liteira com 1,5 a 2,5 cm de espessura na época das medidas (estação chuvosa).

A área deflorestada manualmente havia sido queimada há seis meses, apresentando já algumas plantas pioneiras, mas com vários locais de solo exposto, sendo estes escolhidos para as medições.

A pastagem, implantada há um ano e meio, havia sido adubada periodicamente, mostrando um bom crescimento de gramíneas (*Brachiaria humidicola*). Observou-se no solo a presença de raízes e galhos da mata original em decomposição.

Quantificação do CO₂ Liberado para a Atmosfera

No campo, foi usado um aparelho portátil de absorção de infra-vermelho (Infrared Gas Analyser, IRGA: Portable Leaf Chamber Analyser, The Analytical Development Cp. Ltd., England, mod. LCA-2), acoplado à câmaras de retenção do CO₂, como mostra a Figura 1.

As câmaras usadas foram de dois tipos: uma com área de 215 cm² e volume de 3,1 dm³ e outra com área de 500 cm² e volume de 15,5 dm³. Cada medida corresponde a uma série de seis leituras a cada 2 minutos, durante 20 segundos (aproximadamente 55 ml de gás), consideradas repetições no mesmo local. As câmaras nunca permaneceram fechadas por mais de 15 minutos para evitar interferências prejudiciais devido ao acúmulo de CO₂ e aquecimento interno. A média das seis leituras obtidas foi transformada em g de CO₂.m⁻².h⁻¹ e o desvio padrão médio foi de $\pm 10\%$ do valor.

Tabela 1 - Dados climáticos da Estação Meteorológica de Manaus (Ministério da Agricultura, 1968).

Temperatura (°C)	Precipitação (mm de chuva)	Umidade relativa (%)
Média ano: 26,7	Média ano: 2100,7	Média ano: 83,5
Max. mensal: 27,9 (set)	Max. anual: 300,0 (mar)	Max. mensal: 88,5 (abr)
Min. mensal: 25,8 (fev)	Min. anual: 40,8 (ago)	Min. mensal: 77,2 (ago)
Média max.: 31,2		
Média min.: 23,5		
Max. absol.: 37,8		
Min. absol.: 18,5		

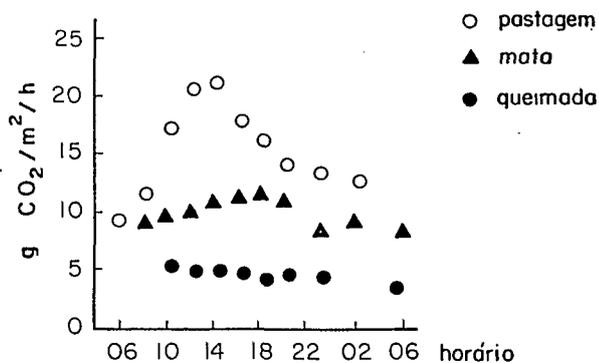


Figura 1 - Representação esquemática das câmaras usadas nos experimentos B e C para medir a liberação de CO₂ na superfície do solo.

Tendo por objetivo determinar a origem do CO₂ liberado pelo solo para a atmosfera, foram feitos dois experimentos no período das chuvas.

No experimento A, removeu-se a camada de liteira e a camada superficial de 0-5 cm, introduzindo-se então a câmara no solo. Depois de se aguardar, por cerca de 15 minutos, a estabilização dos processos, a câmara foi fechada e mediu-se o efeito da operação sobre a respiração total do solo.

O experimento B teve por finalidade isolar a influência das camadas inferiores sobre a respiração total do solo. Para se obter tal isolamento, foi introduzida uma chapa metálica (40 cm x 50 cm) paralelamente à superfície do solo, a uma profundidade de 5 cm (tarefa difícil, devido à presença do sistema radicular) e, feita a medida do CO₂ liberado da camada 0-5 cm, após um período de estabilização de cerca de 20 minutos.

Num experimento C, no final do período das chuvas, a liberação de CO₂ foi acompanhada nas três áreas por 24 horas, com medições a cada 2-3 horas. Na pasta-

gem, as plantas foram removidas meia hora antes do início dos trabalhos.

Nos experimentos A e B, foi usada a câmara menor e no experimento C, a maior. Em A e B, as bordas das câmaras foram enterradas no solo, o que causou a destruição das raízes superficiais; isto foi evitado no experimento C, quando as bordas foram apenas vedadas com areia fina molhada para evitar a perda de CO₂ por vazamento (Fig. 1).

Na área recém-queimada, assim como na pastagem, manteve-se as câmaras sombreadas durante todo o dia, o que provavelmente levou a uma menor influência da temperatura sobre a respiração.

RESULTADOS

Liberação Total de CO₂

Observou-se que os resultados obtidos em dias, épocas ou com equipamentos diferentes, apresentaram grande variabilidade, como mostra a Tabela 2.

A respiração edáfica, medida na mata primária e na pastagem nos experimentos A e B, executados com a mesma câmara, porém em dias diferentes, apresentou uma variabilidade de 1 para 2, que passou de 1 para 3 quando comparada com o experimento C. A área queimada apresentou pouca diferença nos resultados de A e B, porém em C a variação foi de 1 para 2.

Estes fatos tornaram difícil o cálculo da produção média de CO₂ em cada área, podendo-se somente estimar que, na mata, ela está na faixa de 0,4-1,0 g CO₂.m⁻².h⁻¹, durante o período diurno.

A comparação dos resultados em um mesmo experimento mostrou que a respiração na área queimada é sempre inferior a da mata primária e esta é inferior a da pastagem, o que fica bem evidente quando

Tabela 2 - Liberação total de CO₂ do solo das áreas com mata primária (M), deflorestada e queimada (Q), e com pastagem (P) nos experimentos A, B e C (porcentagem em relação a M).

Experimento	M	Q	P	M	Q	P
	— g CO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹ —			—— (%) ——		
A	0,75	0,25	1,70	100	33	227
B	0,44	0,24	0,97	100	55	220
C	1,04	0,50	2,12	100	48	204

colocado em termos percentuais, como na Tabela 2 e Figura 2.

No decorrer do dia, em medidas tomadas por volta das 14 horas, a produção de CO_2 , na área da pastagem, foi em torno do dobro da observada na área de mata e, quatro vezes maior que a observada na área queimada.

Variações Diárias

O acompanhamento da evolução de CO_2 do solo, por um período contínuo de 24 horas, nas três áreas, mostrou impor-

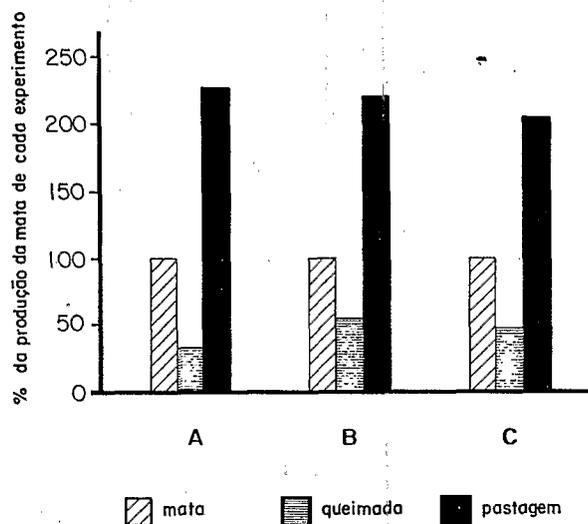


Figura 2 - Liberação de CO_2 na superfície da área queimada e da pastagem em % da liberação de CO_2 na superfície da mata primária nos experimentos A, B e C.

tantes variações e diferenças entre elas (Fig. 3 e Tabela 3).

Na mata primária, a respiração edáfica total foi maior no período entre 17 e 19 horas, com a taxa mínima sendo medida no horário mais frio (24°C), entre 5 e 7 horas.

Na área queimada, a taxa respiratória máxima do solo foi observada entre 11 e 12 horas, a uma temperatura de 27°C . No entanto, desde a manhã, quando a camada superficial ainda estava umedecida pelo sereno, a taxa de respiração permaneceu estabilizada até às 14 horas, quando a temperatura atingia 50°C . A taxa mais baixa foi registrada durante a madrugada, entre 5 e 7 horas, com a temperatura mínima de 23°C .

Na pastagem, observou-se um acentuado decréscimo da taxa respiratória durante a noite. A máxima foi atingida entre 13 e 14 horas e a mínima entre 5 e 7 horas, à temperatura de 23°C .

Tabela 3 - Liberação diária total de CO_2 do solo para a atmosfera das áreas com mata primária (M), deflorestada e queimada (Q), e com pastagem (P), por 24 h, no experimento C (porcentagem em relação à M).

M	Q	P	M	Q	P
— $\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ —			— (%) —		
23,9	10,6	35,8	100	44	150

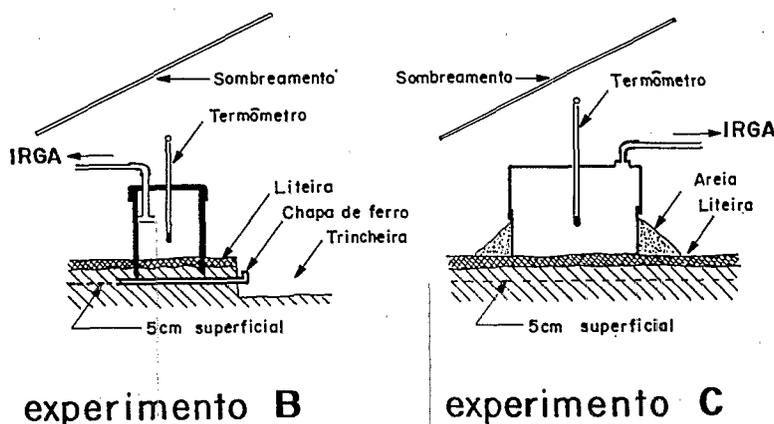


Figura 3 - Variação diária da liberação de CO_2 na camada superficial do solo sob mata primária, queimada e pastagem.

Participação das Camadas do Solo

A introdução da chapa metálica a 5 cm de profundidade (experimento B), para o isolamento da camada superior do solo, provoca uma diminuição na respiração edáfica total na mata primária, na queimada e na pastagem de respectivamente 17, 53 e 11%. Já a remoção da liteira e dos 5 cm superficiais do solo (incluindo, af, a quase totalidade das raízes finas), causou uma diminuição pequena da taxa de emissão de CO₂, como mostra a Tabela 4 (experimento A).

DISCUSSÃO

Os dados para a respiração edáfica total obtidos neste trabalho, somente dão um indício sobre este parâmetro, constituindo ainda uma estimativa preliminar da liberação de CO₂ pelo solo.

Na mata primária, durante o dia, os valores oscilaram entre 0,4-1,0g CO₂.m⁻².h⁻¹, o que corresponde a 10-24 t C.ha⁻¹.ano⁻¹, valores comparáveis aos resultados obtidos por outros autores na Amazônia, em solo de terra firme, como os 16,2 t C.ha⁻¹.ano⁻¹ (Goreau & Mello, 1985), porém são mais elevados que os 2,6-2,9 t C.ha⁻¹.ano⁻¹ também obtidos na Amazônia por Coutinho & Lamberti (1971) e Medina et al. (1980) ou 3,8-7,7 t C.ha⁻¹.ano⁻¹, medidos na Ásia por Ceulemans et al. (1987).

Constatou-se que a respiração edáfica

total da pastagem (2,1 g de CO₂.m⁻².h⁻¹) foi sempre mais elevada que a da mata primária (1,0 g de CO₂.m⁻².h⁻¹). No entanto, o acompanhamento diuturno da evolução de CO₂ nestas duas áreas mostrou que há variações cíclicas neste processo. No fim da noite, as taxas respiratórias do solo da mata e da pastagem se igualam, mas às 14 horas, no período de atividade fotossintética máxima, o valor medido na pastagem é o dobro do da floresta, o que resulta no valor global 50% superior da pastagem.

Na área queimada, a variação da taxa respiratória do solo é muito pequena. Devido à ausência de vegetação e liteira e com sombreamento artificial, a origem do CO₂ liberado, provavelmente, restringe-se à decomposição da matéria orgânica.

Os resultados dos experimentos A e B caracterizam bem a participação das camadas mais profundas do total de CO₂ liberado pelos solos das três áreas estudadas.

Sob mata primária, o experimento B mostrou que 80% da respiração edáfica ocorre nos primeiros 5 cm do solo, uma vez que a remoção da liteira pouco influi na produção total de CO₂. Isto significa que a falta da contribuição das camadas superficiais foi compensada em 90% pela difusão de CO₂ proveniente das camadas inferiores, ou que a retirada da cobertura causou um aumento da oxidação química e da respiração microbiológica, nestes estratos, devido ao livre acesso do oxigênio atmosférico.

Fenômeno semelhante ocorre na pasta-

Tabela 4 – Participação de diferentes camadas de solo na liberação de CO₂ do solo nas áreas com mata primária (M), deflorestada e queimada (Q), e pastagem (P), nos experimentos A e B.

	Experimento A			Experimento B	
	total	sem liteira	sem camada 0-5 cm	total	camada 0-5 cm
	g CO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹				
M	0,75	0,67	0,66	0,44	0,37
Q	0,25		0,37	0,24	0,11
P	1,70		1,62	0,97	0,86
	%				
M	100	89	88	100	83
Q	100		146	100	47
P	100		95	100	89

gem, sendo inclusive mantida nesta camada a taxa respiratória 100% superior à equivalente da mata.

Na área deflorestada e queimada, verificou-se que a camada superficial do solo participa com apenas a metade da respiração total.

A retirada da camada de 5 cm superficial do solo não modifica (ou diminui pouco) a respiração edáfica da mata primária e da pastagem. Isto significa que a pressão de CO₂ nestas camadas está equilibrada com a das camadas inferiores, não havendo um gradiente de concentração significativo nesta profundidade.

Na área queimada, verificou-se que há um gradiente de concentração, com uma maior pressão em profundidade, o que leva a uma difusão em direção da superfície, onde a produção de CO₂ está reduzida pela falta de material orgânico biodegradável.

CONCLUSÃO

No que diz respeito às mudanças decorrentes da alteração do ecossistema florestal, verifica-se que a eliminação da mata pelo fogo reduz a respiração edáfica à metade. Com a instalação da pastagem, a taxa respiratória aumenta, chegando a dobrar durante o período diurno, o que eleva em 50% o balanço geral da pastagem em relação à mata. No entanto, os resultados de tais medidas pontuais não podem ser extrapoladas para outras escalas.

O aspecto qualitativo da comparação feita entre as três áreas permite supor que o carvão e os resíduos vegetais remanescentes da mata primária sofrem uma decomposição lenta e que a maior parte do CO₂ produzido provém da mineralização de material húmico. A respiração edáfica da área queimada daria, portanto, uma estimativa da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEULEMANS, R.; IMPENS, I.; GABRIEL, G. (1987) CO₂ evolution from different types of soil cover in the tropics. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 64(1): 68-69.
- COUTINHO, L.M. & LAMBERTI, A. (1971) Respiração edáfica e produtividade primária numa comunidade Amazônica de mata de terra firme. *Ciência e Cultura*, 23(3): 411-416.
- GOREAU, T.J. & MELLO, W.Z. (1985) Effects of deforestation on sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide and methane from central Amazonian soils and biota during the dry season: a preliminary study. *Proceedings of Workshop on Biogeochemistry of Tropical Forests: Problems for Research*. 30 Sept.-04 Oct. 1985, Piracicaba, SP, Brasil, 51-66.
- KURSAR, T.A. (1989) Evaluation of soil respiration and soil CO₂ concentration in a lowland moist forest in Panama. *Plant and Soil*, 113: 21-29.
- LIETH, H. (1961) La producción de sustancia orgánica por la capa vegetal terrestre y sus problemas. *Acta Scientifica Venezolana*, 12: 107-114.
- MARTINS, F.R. & MATTHES, L.A.F. (1978) Respiração edáfica e nutrientes na Amazônia (região de Manaus), floresta arenícola, campinarana e campina. *Acta Amazônica* 8(2): 223-224.
- MEDINA, E. (1966) Produccion de hojas, respiracion edáfica y productividad vegetal en bosques diciduos del los llanos centrales de Venezuela. *Progreso en Biología del Suelo. Monografía I, Centro Coop. Cient., UNESCO-América Latina*, 97-108.
- MEDINA, E.; KLINGE, H.; JORDAN, C.; HERRERA, R. (1980) Soil respiration in Amazonian rain forest in the Rio Negro basin. *Flora*, 170: 240-250.
- ORCHARD, V.A. & COOK, F.J. (1983) Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.*, 15(4): 447-453.
- RAICH, J.W. (1983) Effects of forest conversion on the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica*, 15: 117-184.
- REINERS, W.A. (1968) Carbon dioxide evolution from flow of three Minnesota forests. *Ecology*, 49(3): 471-483.
- SCHULZE, E.D. (1967) Soil respiration of tropical vegetation types. *Ecology*, 48: 652-653.
- WANNER, H. (1979) Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *J. Ecol.*, 58: 543-547.