

Respiração edáfica e nutrientes na Amazônia (Região de Manaus): floresta arenícola, campinarana e campina⁽¹⁾

Fernando Roberto Martins ⁽²⁾

Luiz Antonio Ferraz Matthes ⁽³⁾

Resumo

Medições da respiração edáfica (método de Walter & Haer) em floresta arenícola, campinarana e campina, na Reserva INPA-SUFRAMA e arredores (02°38'S, 60°01'W), em Manaus, Amazonas, forneceram médias (mg CO₂/m².h) de 60,18; 52,85 e 44,99 e valores de decomposição no solo (ton M.O./ha.ano) de 2,50; 2,20 e 1,87 respectivamente, estatisticamente diferentes. Incluindo a decomposição aérea, a produtividade primária da floresta arenícola é de 5,0 ton M.O./ha.ano, o valor mais baixo encontrado em florestas amazônicas, provavelmente devido à pobreza do solo em nutrientes minerais e à reduzida biomassa da floresta arenícola. Parece ocorrer aporte e/ou lavagem de nutrientes da fitomassa e seu acúmulo na serapilheira e, talvez, sua transferência direta para a biomassa, bem como grande perda de nutrientes do solo por percolação. Complexação, quelação e insolubilização podem reter certos nutrientes na serapilheira, provavelmente com ação de microrganismos, para os quais o ferro e o alumínio parecem ser importantes. Afora o ferro, os nutrientes retidos na serapilheira parecem depender do tipo de cobertura vegetal. Exceto a 40 cm sob campina, todas as demais amostras de solo apresentaram concentrações de alumínio consideradas tóxicas a muitas plantas. Os maiores valores de pH foram encontrados no solo da campina e os menores, na campinarana. Diferenças de comportamento das frações granulométricas com o aumento da profundidade sob cada tipo de vegetação parecem indicar ocorrência de processos diferentes em cada solo. Os autores sugerem outros estudos sobre respiração edáfica durante o ano; sobre ciclagem de nutrientes; sobre alumínio e ferro e sua ação na vegetação e nos decompositores; sobre o solo em diferentes profundidades.

INTRODUÇÃO

Há, atualmente, grande interesse no levantamento mundial da produtividade dos ecossistemas, especialmente dos terrestres. Para a Ecologia Vegetal, é importante a produtividade

primária, a quantidade de matéria orgânica produzida pela cobertura vegetal por unidades de área e de tempo (Odum, 1971). Tal levantamento constituiu o principal objetivo do "International Biological Program" e, atualmente, do "Man and Biosphere Program", pela sua importância para o conhecimento de como a vegetação terrestre usa a energia solar e também para o estabelecimento da base da estrutura trófica no mundo, da qual o homem participa e depende para sua sobrevivência.

Para tanto, necessita de informações sobre a produtividade dos mais diversos ecossistemas. Porém, estas ainda são escassas nas regiões tropicais (Coutinho & Lamberti, 1971), embora o interesse por essas regiões venha crescendo ultimamente (Anderson & MacFadyen, 1976). Há também poucos trabalhos sobre respiração edáfica e a maior parte deles refere-se aos fatores que interferem no fenômeno do que a seus aspectos ecológicos (Cesar, 1972).

A respiração edáfica decorre, em grande parte, da decomposição da matéria orgânica do solo e, em menor parte, da respiração dos sistemas subterrâneos e dos demais organismos edáficos (Odum, 1971). Medições de sua taxa podem indicar a intensidade de humificação e de remineralização e constituem informações importantes para o estudo da ciclagem de nutrientes.

No Brasil, conhecem-se apenas o trabalho de Coutinho & Lamberti (1971) sobre respiração edáfica e produtividade primária de uma floresta amazônica de terra firme e os de Cesar (1972, 1975) sobre a influência da cobertu-

(1) — Trabalho desenvolvido na disciplina Ecologia de Campo I, do Curso de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Contribuição nº 25 do Programa de Ecologia do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas.

(2) — Departamento de Botânica do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas.

(3) — Seção de Floricultura e Plantas Ornamentais do Instituto Agrônomo de Campinas.

ra vegetal na respiração edáfica e sobre a respiração do solo de uma floresta seca do interior do Estado de São Paulo.

Quanto à ciclagem de nutrientes minerais na Amazônia, há maior número de trabalhos, como os de Sioli & Klinge (1962) sobre solos, vegetação e águas naturais; de Klinge & Rodrigues (1968) sobre o conteúdo de minerais na serapilheira de uma floresta; de Stark (1970, 1971) sobre "ciclagem" direta de nutrientes e seu teor em vegetais e solos de floresta; de Ungemach (1970) sobre a importância das chuvas para o aporte de nutrientes; de Brinkmann & Santos (1970, 1971, 1973) sobre o comportamento de nutrientes em águas naturais; de Fittkau & Klinge (1973) sobre a biomassa e a estrutura trófica de uma floresta; de Stark & Holley (1975) sobre ciclos de nutrientes em áreas de águas brancas e pretas; entre outros.

Os objetivos deste estudo foram: determinar a respiração edáfica sob tipos fisionômicos diferentes de vegetação amazônica; tentar relacionar sua produtividade primária com suas características e, principalmente, com seu conteúdo em nutrientes minerais; comparar seus valores de produtividade primária com os de outras comunidades naturais nos trópicos. Também, discutimos alguns ciclos dos principais nutrientes minerais e sugerimos outros estudos sobre o assunto.

Na Amazônia Brasileira este é o segundo trabalho sobre respiração edáfica e o primeiro a fazer um estudo comparado em diferentes tipos de cobertura vegetal, a saber, floresta arenícola, campinarana e campina.

Os AMBIENTES

O local estudado foi a Reserva Biológica de Campina (INPA-SUFRAMA) e arredores, nas proximidades do quilômetro 45 da Rodovia BR-174, trecho Manaus-Caracaraí, a 02°38'S e 60°01'W.

Os dados climáticos de 1931 a 1960, tomados da estação meteorológica de Manaus (03°08'S e 60°01'W), a 48 m de altitude (Ministério da Agricultura, 1968), embora distando cerca de 60km da área de estudo, servem para dar uma visão aproximada do clima regional (Tabela I).

O clima, segundo Koeppen, à Ami, tropical chuvoso (A), em que, havendo um período seco, este não se faz notar na vegetação (m) e há isotermia (i) durante o ano. Contudo, observações no local de estudo levam a crer que aí deva chover mais do que em Manaus.

Mais dados climáticos para a região podem ser encontrados em Brinkmann & Ribeiro (1971 a, b, 1972), Brinkmann et al. (1971), Ribeiro & Santos (1975) e Ribeiro (1976).

Dentre os tipos de vegetação que aí ocorrem, talvez a floresta seja o menos estudado. Alguns autores descrevem matas dessa região (Ducke & Black, 1953; Hueck, 1972; Takeushi, 1960 a, 1962). A floresta por nós estudada é de margem de igarapé, com alturas ao redor de 30 m. Apresenta entre 3 e 4 estratos arbóreos e as árvores não chegam a ultrapassar 70 cm de diâmetro. É chamada de floresta arenícola,

TABELA I — Dados climáticos da Estação Meteorológica de Manaus (Ministério da Agricultura, 1968). (Temperatura em graus centígrados, precipitação em milímetros de chuva, umidade relativa em porcentagem).

Temperatura	Precipitação	Umidade relativa
Média anual : 26,7	Total anual médio : 2 100,7	Média anual : 83,5
Mês mais quente : setembro (27,9)	Mês mais chuvoso : março (300,9)	Mês de maior umidade : abril (88,5)
Mês mais frio : fevereiro (25,8)	Mês menos chuvoso : agosto (40,8)	Mês de menor umidade : agosto (77,2)
Média das máximas : 31,2		
Média das mínimas : 23,5		
Máxima absoluta : 37,8		
Mínima absoluta : 18,5		

ou caatinga alta (Rodrigues, 1961). O solo, pelo menos nas camadas mais superficiais, é muito arenoso.

As campanhas aparecem como ilhas isoladas dentro da floresta, na Amazônia Central, principalmente ao norte dos rios Solimões e Amazonas (Prance, 1975). O número de espécies lenhosas é muito reduzido, em comparação com a floresta. A vegetação é escleromorfa, aberta e baixa, com 10 m de altura média. As árvores são muito ramificadas, de súber espesso e com grande quantidade de epífitas, geralmente grupadas, deixando solo nu entre os grupos. Há 2 estratos arbóreos, ambos descontínuos. O primeiro estrato, muito mais descontínuo que o segundo, tem ao redor de 12 m de altura média e o segundo, em torno de 8 m. Sobre o solo, corre uma cobertura descontínua de líquens, muito mais conspícua sob as ilhas de vegetação (Takeushi, 1960 b). Lisboa (1975) fez uma revisão bibliográfica sobre as campinas amazônicas, acrescida de observações gerais.

Anderson *et al.* (1975), Braga & Braga (1975), e Takeushi (1960 b) têm estudado a vegetação da campina tratada neste trabalho e também a da campinarana. A estrutura e a composição da vegetação mudam gradualmente da campina para a campinarana, esta de altura bem superior à daquela, em média maior que 12 m. Sua composição florística não difere muito daquela da campina. Apresenta, em geral, 3 estratos arbóreos, com alturas médias respectivas de 15 m, 12 m e 7 m. Embora também não haja um dossel contínuo das copas das árvores, a vegetação da campinarana é relativamente contínua, se comparada à da campina. Se bem que sua vegetação ainda permita a chegada de radiação solar direta ao solo, não ocorrem espaços abertos como na campina.

As condições microclimáticas são bastante diferentes para cada tipo de vegetação, em decorrência das próprias diferenças de estrutura. Dados microclimáticos podem ser encontrados em Ribeiro & Santos (1975).

Os solos das campinas possivelmente se originaram de antigos leitos de rios ou lagos, estando associados aos rios de água preta (Ducke & Black, 1953). Ocorrem como manchas de areia branca sobre a peneplanície do

complexo granito-gnáissico do Pré-Cambriano. Enquanto o solo da floresta de terra firme se forma da decomposição do granito, o das campinaranas origina-se por aluvionamento pleistocênico, que geralmente se superpõe em camadas sobre sedimentos terciários, sendo a mais inferior originária do granito (Lisbôa, 1975; Rodrigues, 1961). Tais solos foram classificados por Sioli como Podzóis Tropicais, devido à grande emigração dos sesquióxidos de ferro e de alumínio e permanência de sílica. Porém, mais tarde, Vieira & Oliveira Filho, consideraram-nos como Regossolos com franco processo de podzolização (Rodrigues, 1961).

Na campina, o solo apresenta uma camada superficial interrompida de 1 a 2 cm de detritos sobre uma camada de areias de 1,5 a 2,0 m, ou mais. As raízes ocorrem nos primeiros 30 cm e na camada de detritos (Takeushi, 1960 b). Devido à elevada porosidade e à drenagem extremamente rápida (Reichardt *et al.*, 1975), a maior parte da matéria orgânica é arrastada por percolação.

Na campinarana, a camada de serapilheira é contínua e bem mais espessa, entre 10 a 30 cm, a quantidade de matéria orgânica é maior e a drenagem, mais lenta (Reichardt *et al.*, 1975).

Na floresta arenícola, a drenagem é ainda mais lenta, a camada de serapilheira é menos espessa do que na campinarana, tendo em volta de 10 cm de espessura. A quantidade de matéria orgânica é menor, se comparada à do solo sob campinarana.

MATERIAL E MÉTODO

Respiração edáfica é a quantidade de CO₂ (em miligramas) eliminada pelo solo por unidades de área (metro quadrado) e de tempo (hora) (Lundecardh, 1924, apud Cesar, 1972).

Para medir-se a respiração edáfica, empregou-se o método de absorção sob campânula de Walter & Haber (Lieth & Ovellette, 1962).

Como campânulas, empregamos baldes plásticos com capacidade de 10 litros e 25 cm de diâmetro de boca com área de 490,875 cm².

Como absorvente de CO₂, utilizamos solução aquosa de KOH 0,5 N, que era posteriormente titulada com HCl 0,1 N. A solução absorvente era colocada em frascos de vidro de

200 ml, de boca larga e tampa plástica de pressão. Cada frasco contendo 10 ml da solução era colocado sobre um suporte no solo e destampado. Sobre ele era invertido um balde cujos bordos eram enterrados no solo, para impedir trocas gasosas com a atmosfera. Em cada ambiente, um frasco não era destampado, mas recebia o mesmo tratamento que os demais: era o controle. Após 24 h, retirava-se o balde, colocava-se um filme plástico sobre a boca do frasco e depois, sua tampa. Montava-se um novo conjunto em outro local, onde permanecia por mais 24 h. Os frascos eram trazidos ao laboratório, retirava-se sua tampa e procedia-se à titulação da solução absorvente, inserindo a ponta da bureta através do filme plástico.

Como indicadores de pH, empregamos 2 gotas de fenolftaleína e 2 de alaranjado de metila, ambas a 1% em solução alcoólica 50%, na primeira e na segunda etapa da titulação, respectivamente. O total em miligramas de CO₂ (X) eliminado pelo solo pode ser estimado através da fórmula:

$$X = (D-b) N.44$$

onde:

D — quantidade em ml de HCl gasto na titulação dos sujeitos, entre o ponto neutro de fenolftaleína e o de alaranjado de metila.

b — quantidade em ml de HCl gasto na titulação do controle, entre aqueles mesmos pontos neutros.

N — normalidade do HCl usado para a titulação (no caso presente, N = 0,1).

44 — valor do peso molecular do CO₂.

Os valores de respiração edáfica podem ser convertidos em quantidade de matéria orgânica decomposta se multiplicados por 3/11 (conversão para carbono) e por 1,74, supondo que o teor médio de carbono na matéria orgânica seja 74%. Admitindo que os ecossistemas estejam em clímax e que não ocorre acúmulo de matéria orgânica no solo, os valores de decomposição da matéria orgânica perdida pela comunidade são iguais aos de sua produtividade primária (Coutinho & Lamberti, 1971). É óbvio que o método não considera a decomposição que se processa acima do solo.

Por outro lado, a solução de KOH absorve entre 70% e 80% de todo o CO₂ presente dentro da campânula e, por isso, alguns autores costumam multiplicar os valores de respiração edáfica pelo fator 1,33 (Lieth & Ovellette, 1962), o que não foi feito neste trabalho.

Em cada tipo de vegetação, foram colocados 5 conjuntos e 1 controle, durante 7 dias no mês de julho, a saber, dias 12, 23, 24, 25, 26, 27 e 30, exceto na campina, em que não se fizeram medições no dia 12.

Coletaram-se também amostras ao acaso de folhas da vegetação, de serapilheira e do solo, à superfície, a 20 cm e a 40 cm de profundidade. Dessas retiraram-se amostras compostas que foram remetidas ao Instituto Agrônomo de Campinas (SP), para análises químicas segundo técnicas usuais.

RESULTADOS

Na tabela II são apresentadas as médias diárias de respiração edáfica nos três tipos de vegetação estudados.

Os valores totais médios de respiração edáfica diária e anual e de decomposição nos três tipos de vegetação são comparados na tabela III.

Na tabela IV são apresentados os resultados da análise química do solo, à superfície e a diferentes profundidades.

Os resultados da análise química de macronutrientes e micronutrientes estão expostos nas tabelas V e VI, respectivamente, tanto nas folhas da vegetação na camada de serapilheira.

TABELA II — Médias diárias de respiração edáfica (mgCO₂/m².h)

Dias de Julho	Floresta arenícola	Campinarana	Campina
12	88,50	83,96
23	91,04	60,21	61,83
24	43,79	53,12	50,29
25	46,46	43,04	41,17
26	42,33	42,67	38,75
27	67,83	45,21	37,12
30	41,29	41,75	40,79

OBS.: ocorrência de chuva.

TABELA III — Médias totais e desvios-padrões da respiração edáfica e decomposição no solo

Médias totais	Floresta arenícola	Campinarana	Campina
DIÁRIA (mgCO ₂ /m ² .h)	60,18 ± 22,15	52,85 ± 15,29	44,99 ± 9,43
ANUAL (ton CO ₂ /ha.ano)	05,27 ± 1,94	04,63 ± 1,34	03,94 ± 0,83
DECOMPOSIÇÃO NO SOLO (ton M.O./ha.ano) (*)	02,50 ± 0,92	02,20 ± 0,64	01,87 ± 0,39

(*) M.O. — matéria orgânica.

TABELA IV — Resultados da análise química do solo à superfície (a), a 20 cm (b) e a 40 cm (c) de profundidade. Matéria orgânica (M.O.) em porcentagem de peso seco; Al, Ca e Mg em equivalente-miligramas/100 ml de terra fina e seca ao ar (T.F.S.A.); e K P em microgramas/ml de T.F.S.A.

Componentes	Floresta arenícola			Campinarana			Campina		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
M.O.	3,5	2,4	2,3	20,3	19,1	5,6	5,9	2,2	0,6
pH	4,3	4,3	4,6	3,7	3,4	4,2	4,3	4,7	5,2
Al	0,8	0,8	0,9	3,7	4,3	1,8	1,0	0,6	0,2
Ca	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0
Mg	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
K	30,0	19,0	12,0	71,0	56,0	30,0	41,0	16,0	5,0
P	3,0	2,0	1,0	23,0	20,0	4,0	10,0	4,0	1,0

TABELA V — Quantidade de macronutrientes (em porcentagem de peso seco) em folhas de vegetação (f) e na serapilheira (s)

Macronutrientes	Floresta arenícola		Campinarana		Campina	
	f	s	f	s	f	s
N	4,78	1,36	1,98	1,46	1,56	1,10
P	0,07	0,04	0,10	0,50	0,10	0,05
K	0,47	0,15	0,46	0,50	0,41	0,16
Ca	0,18	0,29	0,45	0,31	0,44	0,45
Mg	0,14	0,12	0,21	0,09	0,19	0,10

TABELA VI — Quantidade de micronutrientes (em partes por milhão) em folhas da vegetação (f) e na serapilheira (s)

Micronutrientes	Floresta arenícola		Campinarana		Campina	
	f	s	f	s	f	s
Fe	122,0	213,0	138,0	268,0	95,0	197,0
Mn	53,0	87,0	200,0	200,0	77,0	86,0
Cu	3,4	0,7	35,0	0,7	5,3	2,5
Zn	19,2	23,7	25,1	20,2	20,0	18,6
B	1,0	41,0	42,0	39,0	38,0	27,0

A tabela VII apresenta os resultados da análise granulométrica do solo, em porcentagem de peso e sua classificação segundo o método de Campinas.

DISCUSSÃO

A tabela II mostra grande variação nas médias diárias: a amplitude total foi de 49,75 para a floresta, de 42,31 para a campinarana e de 24,7 para a campina. Os coeficientes de variação foram, respectivamente 37% (muito alto), 29% (alto) e 21% (alto), indicando grande número de fatores influentes na respiração edáfica. Como fontes de variação, além de erros experimentais, citamos as possíveis influências da temperatura e umidade do ar e do solo; da quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos presentes; das condições físicas e do pH do solo; das quantidades de raízes e de organismos do solo; da biomassa e do tipo de cobertura vegetal, etc. Além dessas influências, a respiração edáfica é maior à noite, devido a causas ainda muito discutidas.

A análise de variância das médias da tabela III mostrou que elas não diferem significativamente a nível de 5%, mas o coeficiente de variação total foi maior que 30% (31,65%), significando não haver homogeneidade e ser inconveniente aplicar a análise de variância. Recorreu-se, então, a um teste não paramétrico de homogeneidade, o "Willis rank test", que mostrou que, para 2 graus de liberdade, as diferenças entre as médias totais são altamente significativas. Este é um resultado esperado, baseando-se nas diferenças aparentes de biomassa entre os três tipos de vegetação.

Embora não conheçamos medições de biomassa nos locais estudados, observamos que ela aumenta da campina para a floresta arenícola. A estrutura é também bastante diferente em cada tipo de vegetação. Como a biomassa influi decisivamente na quantidade de substrato orgânico a ser decomposto, isso explicaria as diferenças significativas entre as médias da tabela III. Porém, a quantidade de matéria orgânica no solo da campinarana é muito maior que nos outros tipos de vegetação (tabela IV). Assim, os maiores valores — e não intermediários — de respiração edáfica e decomposição seriam esperadas para a campinarana.

A tabela IV mostra também maior quantidade de matéria orgânica na superfície do solo da campina do que da floresta arenícola. Nesta porém, sua quantidade se mantém, enquanto que, naquela, baixa abruptamente a 40cm de profundidade. Isto, provavelmente, é devido à extrema rapidez de drenagem no solo da campina (Reichardt *et al*, 1975), com grandes perdas de matéria orgânica.

O mesmo pode ocorrer a 40cm de profundidade no solo da campinarana.

Na floresta arenícola, a decomposição é rápida. Não ocorre aí acúmulo de matéria orgânica, apesar de sua produção pela biomassa ser a maior e de o solo ser mais ácido e ter mais alumínio do que na campina. Nesta, a decomposição é lenta. A produção de matéria orgânica pela biomassa é a menor. Mas, seu teor à superfície do solo é maior, provavelmente devido à grande quantidade de líquens e outros organismos aí presentes. Na campinarana, a produção de matéria orgânica pela biomassa

TABELA VII — Análise e classificação granulométricas de solo à superfície (a), a 20 cm (b) e a 40 cm (c) de profundidade, segundo o método de Campinas (SP) (valores em porcentagem de peso seco)

Frações e classificação	Floresta arenícola			Campinarana			Campina		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
ARGILA	9	10	15	org.	org.	3	3	1	1
SILTE	3	2	2	org.	org.	0	5	0	0
AREIA FINA	18	22	26	org.	org.	22	14	24	26
AREIA GROSSA	70	66	57	org.	org.	75	78	75	73
CLASSIFICACAO	a.	a.	a.b.	org.	org.	a.	a.	a.	a.

OBS.: org. — solo orgânico a. — arenoso a.b. — arenoso-barrento.

TABELA VIII — Produtividade primária líquida (ton/ha.ano) em florestas pluviais tropicais

Produtividade	Local	Método	Autores
65,81 *	Costa Rica	Respiração edáfica	Schulze, 1967
60,00	Antilhas	1	Wodwell, 1974
50,00 **	Geral	1	Ricklefs, 1973
20,00 **	Geral	1	Ricklefs, 1973
			Lieth, 1973
13,20	Congo	1	Bray & Gorham, 1964
12,40	Congo Belga (Zaire)	Produção de serapilheira	Laudelout & Meyer, 1954
10,53	Kade, Ghana	Produção de serapilheira	Nye, 1961
10,20	Colômbia	1	Bray & Gorham, 1964
09,27 ***	Sarawakm Bornéu	Respiração edáfica	Wanner, 1970
08,53	Calima, Colômbia	Produção de serapilheira	Jeny, et al., 1949
07,90			
06,70	Manaus, Am, Brasil	Produção de serapilheira	Klinge & Rodrigues, 1968
05,01	Barcelos, Am, Brasil	Respiração edáfica	Coutinho & Lamberti, 1971
02,50	Manaus, Am, Brasil	Respiração edáfica	presente estudo

OBS.: 1 — Compilação de dados de outros autores, que mediram a produção de serapilheira.

* — Calculado a partir da média diária de respiração edáfica de 1583,0 mg de dióxido de carbono/metro quadrado.hora.

** — Recalculados.

*** — O autor usou originariamente o fator 2,0 para conversão de carbono em matéria orgânica, obtendo o valor 10,07.

é intermediária entre a da floresta arenícola e a campina. Porém, sua quantidade no solo é a maior. Isso ocorre, provavelmente, porque a decomposição é mais lenta, devido a valores muito baixos de pH e muito altos de concentração de alumínio. Tais conclusões são sugeridas pelas tabelas III e IV.

Estudos futuros poderiam esclarecer se, na campinarana, a decomposição é mais lenta e/ou se realmente se acumula matéria orgânica.

A espessura da camada de serapilheira parece ser muito mais dependente da velocidade de sua decomposição do que da produtividade do ecossistema (Janzen, 1974), supondo que não haja arrastamento por erosão.

A vegetação pode possuir maior quantidade de compostos secundários (Janzen, 1974) ou a natureza desses compostos pode ser tal que a decomposição não ocorre ou se processa muito lentamente. Nesses casos, o material da serapilheira deve ser lavado muitas vezes por águas pluviais até que a quantidade das toxinas decresça a uma concentração mínima que permita sua decomposição (Janzen, 1974). Pode também ocorrer, simultaneamente, alteração química dos compostos presentes na

serapilheira, que, assim, podem perder ou diminuir sua toxidez e permitir que a decomposição se inicie ou aumente. Quantidades maiores (Prance, 1975) ou qualidades diferentes dos compostos secundários presentes na vegetação de campinarana e campina poderiam, portanto, ser também responsáveis pela maior quantidade de matéria orgânica na superfície de seu solo.

Admitindo que a floresta por nós estudada esteja em clímax, podemos comparar o valor de produtividade primária, estimado para ela pelo método da respiração edáfica, com o de outras florestas de regiões tropicais (tabela VIII).

Considerando que a solução de KOH não fixa todo o CO₂ presente dentro da campânula e que o método não mede a produção desse gás resultante da decomposição acima do solo, pode-se dobrar os valores estimados, como fizeram Coutinho & Lamberti (1971). Assim se chega a valores de 10,0 ton/ha, ano para a floresta de terra firme estudada por esses autores e de 5,0 ton/ha. ano para a floresta arenícola do presente estudo. Faltam dados sobre a quantidade de CO₂ resultante de decomposição aérea na região, embora haja estimativas da

fitomassa morta da ordem de 2,7% (Klinge *et al.*, 1975) a 10% (Fittkau & Klinge, 1973) em relação à fitomassa viva de uma floresta de terra firme.

É esperado que a produtividade da floresta arenícola seja menor do que a da de terra firme, posto que sua biomassa é bem menor e sua estrutura, diferente. Naquela, a densidade, a altura e o diâmetro das árvores são menores, bem como o número de estratos. Além dessas diferenças, o solo arenoso deve apresentar baixa capacidade de troca e pequena disponibilidade de nutrientes minerais. Porém, mesmo assim, é patente a baixíssima produtividade primária da região. Tanto o valor de 2,5 como o de 5,0 ton/ha. ano para a floresta arenícola aproximam-se mais da produtividade de florestas de uma ou poucas espécies de *Eucalyptus*, *Fagus*, *Picea*, *Pinus*, *Betula*, etc. das regiões temperadas (Bray & Gorham, 1964) ou até da de florestas boreais ou mesmo do mar aberto (Odum, 1971).

Na região de Manaus, as condições climáticas não são constantes durante o ano e os nossos dados só devem ser generalizados para o período anual com restrições. Julho é o início da estação seca e, então, a diminuição da umidade do solo e do ar provavelmente deve afetar os decompositores e detritívoros, que diminuirão suas atividades. Portanto, seria valiosa a repetição desses experimentos em épocas diferentes do ano para relacionar as variações no ecossistema com as variações climáticas anuais. Já existem relações desse tipo, estabelecidas para a queda de serapilheira (Klinge & Rodrigues, 1968; Fittkau & Klinge, 1973), que indicam maior queda de folhas durante a época de menor pluviosidade.

Valores muito baixos de produtividade são esperados para a Amazônia Central, pois trata-se de uma região muito pobre em nutrientes (Fittkau, 1970). No solo da floresta arenícola, magnésio não foi detectado. Segundo os padrões de fertilidade de solo para o Estado de São Paulo (Gargantini *et al.*, 1970), ele é pobre em todos os nutrientes, sob os três tipos de vegetação (tabela IV). Contudo, na campinara o solo se apresenta rico em fósforo e potássio até 20 cm de profundidade, devido, provavelmente, à grande quantidade de matéria orgânica presente. Porém, as grandes quanti-

dades de matéria orgânica, de alumínio e, possivelmente, também de ferro (veja tabela VI) e os baixos valores de pH aí presentes devem colocar o fósforo sob forma não imediatamente disponível. Sob essas condições, pode ocorrer formação de fosfatos de ferro e alumínio e estes ainda podem complexar-se à matéria orgânica (Buckman & Brady, 1974; Wutke, 1972). O potássio também não deve estar sob forma imediatamente disponível, já que baixos valores de pH fazem baixar imediatamente sua disponibilidade (Wutke, 1972). Assim, mesmo havendo quantidades totais de fósforo e potássio consideradas altas, esses nutrientes podem estar em deficiência para a vegetação por se encontrarem sob formas não imediatamente disponíveis.

A quantidade de nutrientes diminui com o aumento da profundidade do solo, parecendo indicar que a maior parte deles está contida na biomassa e que seu retorno depende principalmente da decomposição da matéria orgânica. Parece indicar também que o solo, predominantemente arenoso sob os três tipos de vegetação, devido à sua baixa capacidade de troca, retém muito pequena quantidade de nutrientes, que seriam lavados por percolação e/ou absorvidos pela fitomassa. Transferência direta de nutrientes da matéria orgânica para a biomassa via micorrizas e predação de decompositores por outros organismos edáficos (Fittkau & Klinge, 1973; Stark, 1970) também corroboraria para explicar sua diminuição paralela à do teor de matéria orgânica no solo, com o aumento da profundidade.

As tabelas V e VI mostram um aumento nas quantidades de nutrientes na serapilheira em relação às quantidades presentes em folhas da fitomassa. Isso parece indicar lavagem de sais excretados pelas folhas e/ou depositados sobre elas pela atmosfera (Rapp, 1969; Witkamp & Ausmus, 1976), bem como um aporte de nutrientes minerais pelas chuvas (Likens *et al.*, 1967; Ungemach, 1970). Lavados das folhas e/ou trazidos pelas águas pluviais, os nutrientes seriam retidos pela matéria orgânica do solo. Parece indicar também que tais nutrientes poderiam ficar retidos na camada de serapilheira como complexos, quelatos, ou em formas insolúveis, muito provavelmente devido a atividades microbiológicas.

Sob os três tipos de vegetação, o ferro existe em quantidade muito maior na camada de serapilheira, indicando ser muito importante para os microrganismos que aí vivem (Lopes, 1972). Além do ferro, os demais nutrientes acumulados na serapilheira variam sob cada tipo de cobertura vegetal. Na floresta, parece acumular-se Ca, Mn, Zn e B; na campina, P e K; e na campina, Mn. Embora uma única coleta para análises químicas não permita generalizações, parece existir uma influência muito grande do tipo de cobertura vegetal sobre os nutrientes retornados por lavagem e/ou retidos na serapilheira. Seriam interessantes mais estudos a respeito da ciclagem de nutrientes nesses ambientes e também sobre as atividades dos organismos decompositores.

Quantidades de alumínio trocável acima de 0,5 eqmg/100ml de T.F.S.A. são consideradas tóxicas à maioria das plantas (Gargantini, *et al.*, 1970). Este valor foi ultrapassado em todas as amostras de solo (tabela IV), exceto a 40 cm de profundidade sob campina. A diminuição dos valores com o aumento da profundidade parece indicar que o alumínio retorna por decomposição da matéria orgânica. Assim, sua maior parte está contida na fitomassa, e/ou na serapilheira, em ligação com outros nutrientes ou com a matéria orgânica. Infelizmente, não temos resultados de análise de alumínio nas plantas, mas ele deve ser muito importante nesses tipos de vegetação e mais estudos deveriam ser feitos a esse respeito. Goodland (1971) discute o papel do alumínio no solo e na vegetação e Camargo (1976) apresenta um levantamento da ocorrência de alumínio permutável em solos brasileiros.

Todos os valores de pH do solo (tabela IV) foram classificados como fortemente ácidos, exceto a 40 cm de profundidade sob campina, classificado como ácido (Gargantini *et al.* 1970). A acidez real (pH) do solo é influenciada principalmente pela matéria orgânica presente e pela quantidade de alumínio (Wutke, 1972). Tal influência é bem mostrada a 20 cm de profundidade sob floresta e campinarana. Aí, apesar da diminuição do teor de matéria orgânica, o pH se mantém constante, ou mesmo diminui, provavelmente em virtude da quantidade de alumínio, que se mantém constante, ou

umenta. Contudo, com base nas quantidades de matéria orgânica e de alumínio presentes à superfície do solo sob campina, valores menores de pH seriam esperados, quando comparados com os solos sob floresta e sob campinarana. Em todos os casos, o pH tende a aumentar com o aumento de profundidade, até um certo limite, provavelmente devido à diminuição dos teores de matéria orgânica presentes.

Até 40 cm de profundidade, o solo sob campina mostrou ser arenoso (tabela VII), com conteúdo de areias aumentando de 92% à superfície para 99% nas demais profundidades, parecendo ter a argila natureza predominantemente orgânica. Sob campinarana uma manta de mais ou menos 30cm de espessura de solo orgânico ocorre sobre 97% de areias a 40 cm de profundidade. Também aqui a argila presente parece ter natureza predominantemente orgânica. Já sob floresta, o conteúdo de areias no solo mostrou tendência a diminuir e o de argila, a aumentar, com o aumento de profundidade. Tais diferenças parecem indicar a ocorrência de processos bastante diferentes nos solos sob cada tipo de vegetação e seria interessante que as análises fossem repetidas e a profundidades maiores. Há um trabalho de Ranzani & Anderson em andamento sobre o solo da campina aqui estudada (Woodruff W. Benson, comunicação pessoal).

CONCLUSÕES

A decomposição comporta-se de modo diferente em cada ambiente. Na floresta arenícola, ela parece ser rápida e não se acumula matéria orgânica no solo. Na campinarana, valores muito baixos de pH e muito altos de concentração de alumínio parecem resultar em maior lentidão de decomposição, havendo grande acúmulo de matéria orgânica no solo. Na campina, a decomposição seria também muito lenta. Aí, porém, outros fatores que não o pH e a concentração de alumínio parecem estar reduzindo a velocidade de decomposição. Quantidades elevadas e/ou qualidades diferentes dos compostos secundários presentes na vegetação podem reduzir a velocidade de decomposição. Isto pode ocorrer tanto na campinarana como na campina. Nesta, a maior quantidade, em relação à floresta arenícola, de matéria or-

gânica na superfície do solo pode também ser atribuída à grande quantidade de líquens e outros organismos aí presentes.

Os valores de 2,5 e 5,0 ton. M.O./ha.ano para a produtividade primária da floresta arenícola são os mais baixos encontrados na região e assemelham-se mais aos de floresta temperadas, ou boreais, ou até aos de produtividade de mar aberto. Mesmo admitindo as limitações de nossos dados, é difícil atribuir esses valores tão baixos, comparados aos de outras florestas tropicais, a fatores puramente casuais. Assim, a produtividade surpreendentemente baixa da região deve ser real. Este fato, independentemente de sua causa, deve ser muito importante para a eventual utilização de áreas semelhantes para fins econômicos.

Há grande pobreza de nutrientes sob os três tipos de vegetação. Essa pobreza se deve tanto a sua pequena quantidade como a sua ocorrência em formas não imediatamente disponíveis, através de sua complexação, quelação e insolubilização. Microrganismos parecem ser influenciados pelas altas quantidades de ferro e de alumínio presentes.

Certos nutrientes são trazidos ao solo pelas chuvas, tanto diretamente da atmosfera como lavados da superfície dos vegetais. Alguns acumulam-se na camada de serapilheira, onde ficam retidos devido àqueles processos. Exceto o ferro, os demais nutrientes acumulados parecem depender estreitamente do tipo de cobertura vegetal.

A maior parte dos nutrientes está contida na biomassa. Seu retorno depende principalmente da decomposição da matéria orgânica. Grande parte deles é lavada do solo por percolação. Pode ocorrer transferência direta de nutrientes da matéria orgânica para a biomassa via micorrizas e mediante predação de decompositores por outros organismos edáficos.

A resistência à toxidez por alumínio parece ser muito importante para os tipos de vegetação estudados, principalmente para a campinarana. Deve haver outros fatores mais importantes do que a acidez do solo e a elevada concentração de alumínio limitando a vegetação de campina.

Seria muito valiosa a repetição, preferencialmente nos mesmos locais enfocados aqui, de medições da respiração edáfica em diversas épocas do ano; de estudos sobre ciclagem de nutrientes, sobre alumínio e ferro e sua ação na vegetação e nos decompositores; de análises de solo em diferentes profundidades, pelo menos até 40 cm.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. Aquiles Eugênio Piedrabuena, pela análise estatística dos dados; ao Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto, pela cessão dos dados climáticos; ao Instituto Agrônomo de Campinas, pelas análises das amostras de solo e da vegetação; aos colegas, especialmente aos Profs. Drs. Keith Spalding Brown Jr., Pierre Charles George Montouchet e Woodruf Whitman Benson, pela leitura crítica do original e sugestões valiosas sobre o trabalho.

SUMMARY

Soil respiration measurements (Walter & Haber method) were taken in sand forest, campinarana and campina, in the INPA-SUFRAMA reserve and vicinities (02°38'S, 60°01'W), near Manaus, Amazonas, Brazil. Carbon dioxide evolution from soil was measured during 7 periods (6 for campina) of 24 hours duration. Its conversion into primary productivity has furnished mean values which have shown to be statistically different for each habitat, highly significant through the Willis rank-test. The mean values for soil respiration were 60.18, 52.85 and 44.99 mg CO₂/m².h, and the mean values for decomposition were 2.50, 2.20 and 1.87 tons org. mat./ha.year, respectively for sand forest, campinarana and campina. Considering aerial decomposition, the sand forest primary productivity was estimated at 5,0 tons org.mat./ha.year, the lowest figure reported to date for forests of this region. These results are probably due to the soil nutrient deficiency and to the low biomass of this kind of vegetation. Chemical analyses of leaves, litter and soil at different depths seem to indicate that nutrients may be deposited on and/or washed out of the phytomass by rain water; that they may accumulate in the litter layer; that they may then be transferred to biomass via micro-rhizae and predation in addition to the normal method of nutrient uptake by plants; and that there is a great loss of nutrients in the soil by water (and solutes) percolation. The accumulation of nutrients in the litter layer seems to be due to their complexation, chelation and insolubilization, processes in which microorganisms

should have an important role. Iron and aluminium should also be important in these processes, as well as for these microorganisms. The accumulation of nutrients in the litter layer seems also to be a direct result of the vegetation cover. An exception is iron, which has been shown to be indifferent to the vegetation cover. Except at 40 cm depth under campina all other soil samples have aluminium concentration considered to be toxic to most plants. The highest pH values were found for campina soil, and the lowest ones for campinarana soil. The different behaviour of the granulometric fractions with increasing depths seems to indicate occurrence of different soil processes. The authors indicate complementary studies which might help in understanding these vegetation types: on annual soil respiration, on nutrient cycling, on aluminium and iron and their influence upon the vegetation and the decomposers, on the soil at different depths.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANDERSON, J. M. & MACFADYEN, A., ED.
1976 — **The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes**. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- ANDERSON, A. B.; PRANCE, G. T. & ALBUQUERQUE, B. W. P. DE
1975 — Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas. III — A vegetação lenhosa da da Reserva Biológica INPA SUFRAMA. *Acta Amazonica*, 5(3): 22-246.
- BRAGA, M. M. N. & BRAGA, P. I. S.
1975 — Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas. IV — Estudos ecológicos. *Acta Amazonica*, 5(3): 247-260.
- BRAY, J. R. & GORHAM, E.
1964 — Litter production in forests of the world. *Advances in Ecology Research*, 2: 101-157.
- BRINKMANN, W. L. F. & RIBEIRO, M. N. G.
— Air temperatures in Central Amazonia.
1971a — I — The daily record of air temperatures in a secondary forest near Manaus, under cold front conditions. *Acta Amazonica*, 1: 51-56.
1971b — II — The effect of near-surface temperatures on land-se in the Tertiary region of Central Amazonia. *Acta Amazonica*, 1(3): 27-32.
1972 — III — Vertical temperatures distribution on a clearcut area in a secondary forest near Manaus (cold front condition). *Acta Amazonica*, 2(3): 25-30.
- BRINKMANN, W. L. F.; RIBEIRO, M. N. G. & PATE, J. B.
1971 — Soil temperatures in the Tertiary region of Central Amazonia. I — Latosol under tropical rain forest. *Acta Amazonica*, 1(1), Suplemento.
- BRINKMANN, W. L. F. & SANTOS, A. DOS
— Natural water in Amazonia.
1970 — III — The ammonium molybdate reactive silica. *Amazoniana*, 2(4): 443-448.
1971 — V — Soluble magnesium properties. *Turrialba*, 21(4): 459-465.
1973 — VI — Soluble calcium properties. *Acta Amazonica*, 3(2): 33-40.
- BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C.
1974 — **Natureza e propriedades dos solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos. P. 477-503.
- CAMARGO, M. N.
1976 — Incidência de alumínio permutável nos solos e proporção de ocorrência em diversas regiões do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 15º, Campinas, 1975 — Anais**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. P. 603-614.
- CESAR, O.
1972 — **Um estudo da respiração edáfica em dependência de diferentes coberturas vegetais**. Rio Claro, Departamento de Botânica da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Tese mimeografada.
1975 — A respiração do solo da mata seca. *Ciência e Cultura*, 27: 390, Suplemento.
- COUTINHO, L. M. & LAMBERTI, A.
1971 — Respiração edáfica e produtividade primária numa comunidade amazônica de terra firme. *Ciência e Cultura*, 23(3): 411-419.
- DUCKE, A. & BLACK, G. A.
1953 — Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 25(1): 1-46.
- FITTKAU, E. J.
1970 — Esboço de uma divisão ecológica da região amazônica. In: IDROBO, J. M., ed. — **II Simpósio y Foro de Biología Tropical Amazónica**. Bogotá, Asociación pro Biología Tropical. P. 365-372.
- FITTKAU, E. J. & KLINGE, H.
1973 — On biomass and trophic structure of the central amazonian rain forest. *Biotropica* 5(1): 2-14.
- GARGANTINI, H.; COELHO, F. A. S; VERLENGA, F. & SOARES, E.
1970 — **Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico.
- GOODLAND, R.
1971 — Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: FERRI, M. G., ed. — **III Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo, Edgard Blücher e Universidade de São Paulo. P. 44-60.
- HUECK, K.
1972 — **As florestas da América do Sul**. São Paulo, Polígono e Universidade de Brasília. P. 5-55.

- JANZEN, D. H.
1974 — Tropical blackwater rivers, animals, and mast fruiting by the Dipteroocarpaceae. *Biotropica*, 6(2): 69-103.
- KLINGE, H. & RODRIGUES, W. A.
1968 — Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. Parts I and II. *Amazoniana*, 1(4): 287-302, 303-310.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A.; BRUNIG, E. & FITTKAU, E. J.
1975 — Biomass and structure in a central Amazonian rain forest. In: *Ecological Studies v. 2 — Tropical ecological systems*. New York, Springer-Verlag. P. 115-122.
- LIETH, H. & OUELLETTE, R.
1962 — Studies on the vegetation of the Gaspé Peninsula. II — The soil respiration of some plant communities. *Canadian Journal of Botany*, 40(1): 127-140.
- LIKENS, G. E.; BOMANN, F. H.; JOHNSON, N. M. & PIERCE, R. S.
1967 — The calcium, magnesium, potassium and sodium budgets for a small forested ecosystem. *Ecology*, 48(5): 772-785.
- LISBÔA, P. L.
1975 — Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas. II — Observações gerais. *Acta Amazonica*, 5(3): 211-224.
- LOPES, E. S.
1972 — Alguns aspectos da microbiologia do solo. In: MONIZ, A. C., ed. — *Elementos de Pedologia*. São Paulo, Polígono e Universidade de São Paulo. P. 257-271.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
1968 — *Normais climatológicas (Acre, Amazonas, Pará, Maranhão), v. 1*. Rio de Janeiro, Escritório de Meteorologia, Ministério da Agricultura.
- ODUM, E. P.
1971 — *Fundamentals of ecology*. 3a. ed. Philadelphia, Saunders. P. 363-404.
- PRANCE, G. T.
1975 — Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas. I — Introdução. *Acta Amazonica*, 5(3): 207-210.
- RAPP, M.
1969 — Apport d'éléments minéraux au sol par les eaux de pluviollessivage sous des peuplements de *Quercus ilex* L., *Q. lanuginosa* Lank. et *Pinus halepensis* Mill. *Oecologia Plantarum*, 4(1): 71-92.
- REICHARDT, K.; SANTOS, A. DOS; NASCIMENTO FILHO, V. DO & BACCHI, O. O. S.
1975 — Movimento de água subterrânea em ecossistema campina amazônica. *Acta Amazonica*, 5(3): 287-290.
- RIBEIRO, M. N. G.
1976 — Aspectos climatológicos de Manaus. *Acta Amazonica*, 6(2): 229-233.
- RIBEIRO, M. N. G. & SANTOS, A. DOS
1975 — Observações microclimáticas no ecossistema campina amazônica. *Acta Amazonica*, 5(2): 183-189.
- RODRIGUES, W. A.
1961 — Aspectos fitossociológicos das caatingas do Rio Negro. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Botânica*, 15.
- SEOLI, H. & KLINGE, H.
1962 — Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Avulsas*, 1: 27-41.
- STARK, N.
1970 — Direct nutrient cycling in the Amazon Basin. In: IDROBO, J. M., ed. — *II Simpósio y Foro de Biología Tropical Amazónica*. Bogotá, Asociación pro Biología Tropical. P. 172-177.
1971 — The nutrient content of plant and soils from Brasil and Suriname. *Biotropica*, 2(1): 51-60.
- STARK, N. & HOLLEY, C.
1975 — Final report on studies of nutrient cycling on white and black water areas in Amazonia. *Acta Amazonica*, 5(1): 51-75.
- TAKEUSHI, M. — A estrutura da vegetação na Amazônia
1960a — I — A mata pluvial tropical. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Botânica*, 6: 11-17.
1960b — III — A mata de campina na região do Rio Negro. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Botânica*, 8: 1-13.
1962 — Tropical rain forest near Uaupés. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 3, Botany*, 8(6): 289-296.
- UNGEMACH, H.
1970 — Chemical rain water studies in the Amazon region. In: IDROBO, J. M., ed. — *II Simpósio y Foro de Biología Tropical Amazónica*. Bogotá, Asociación pro Biología Tropical. P. 354-358.
- WITKAMP, M. & AUSMUS, B. S.
1976 — Processes in decomposition and nutrient transfer in forest systems. In: ANDERSON, J. M. & MACFADYEN, A., ed. *op. cit.* P. 375-396.
- WOODWELL, G. M.
1974 — O ciclo da energia na biosfera. In: SCIENTIFIC AMERICAN, ed. — *A biosfera*. São Paulo, Polígono e Universidade de São Paulo. P. 25-38.
- WUTKE, A. C. P.
1972 — Acidez. In: MONIZ, A. C., ed. — *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono e Universidade de São Paulo. P. 149-165.

(Aceito para publicação em 05/05/78)

Martins & Matthes