

COMISSÃO II

QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

15



HÚMUS EM SOLOS DA FLORESTA AMAZÔNICA NA REGIÃO DO RIO MADEIRA (1)

B. VOLKOFF (2) & C. C. CERRI (3)

RESUMO

Foram estudados três solos da floresta amazônica: um Latossolo Vermelho-Amarelo situado ao sul de Porto Velho (Rondônia), um Podzólico Vermelho-Amarelo e uma Laterita Hidromórfica, ambos da região de Humaitá (Amazonas). As observações de campo indicam que a parte húmifera dos perfis é limitada a um horizonte A1 de apenas alguns centímetros de espessura. Análises de laboratório mostram, entretanto, que o húmus não é exclusivamente superficial: ele está presente também nas camadas mais profundas do solo em quantidades não negligenciáveis. Nos solos bem drenados, o húmus de profundidade é essencialmente constituído de ácidos fúlvicos livres. Ele difere nitidamente do húmus da camada superficial rico em frações alcalino-solúveis. No solo hidromórfico, porém, não há a mesma diferenciação: os ácidos fúlvicos livres encontram-se desde a superfície e os ácidos húmicos são distribuídos em profundidade.

SUMMARY: HUMUS IN AMAZON FOREST SOILS IN MADEIRA RIVER REGION

Three soils from the Amazon forest were studied: a Red Yellow Latosol from the south of Porto Velho (Rondônia), a Red Yellow Podzolic and a Hydromorphic Laterite both from the Humaitá region (Amazonas). Field observations have shown that the humiferous part of profiles is limited to an A1 horizon a few centimeters thick. Laboratory analysis, however, showed that the humus is not exclusively superficial, it is also present in deep soil layers. In very well drained soils deeper humus is essentially formed by free fulvic acid. It differs clearly from superficial layer humus, rich in alkaline-soluble fractions. In the hydromorphic soil, however, there is not the same differentiation, free fulvic acids are found in surface and the humic acids in depth.

INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais úmidas, especialmente na Amazônia, os solos são, em sua maioria, sem reservas minerais porque o intemperismo das rochas é muito intenso. Os nutrientes que poderiam ser retidos sob forma iônica também são poucos, por causa da fraca reatividade das argilas e da forte lixiviação devida à alta pluviosidade. Por isso, esses solos são quimicamente muito pobres. Entretanto, estão cobertos por densa floresta, o que parece, até certo ponto, contraditório.

Considera-se que foi a vegetação que concentrou aos poucos os nutrientes disponíveis no ambiente amazônico, e fixou o que era trazido da atmosfera pela chuva. O resultado é que, na floresta de hoje, no sistema solo-vegetação, as

reservas de nutrientes encontram-se em quase sua totalidade na biomassa e não no solo (Stark, 1971a; Brinkmann & Nascimento, 1973 e Fittkau & Klinge, 1973). Considera-se também que nos solos mais pobres dessas áreas há uma ciclagem direta dos nutrientes, que são diretamente aproveitados pelas raízes das plantas dentro da matéria orgânica morta, através de micorrizas, sem passar na solução do solo (Stark, 1970, 1971a, 1971b). O solo seria, portanto, apenas o suporte no qual se assenta a floresta, vivendo ela independentemente a partir das próprias reservas.

Tais observações levaram os naturalistas, especialistas da Amazônia, a darem pouca importância ao solo e a se interessarem sobretudo pela biomassa e pela ciclagem dos elementos no ecossistema florestal, sem referência a ele. No

(1) Trabalho realizado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), com auxílio da FAPESP, CNPq e CNEN. Recebido para publicação em 17 de novembro de 1980 e aprovado em janeiro de 1981.

(2) Pesquisador da ORSTOM-França e Instituto de Geociências da USP, São Paulo (SP).

(3) Pesquisador do CENA/USP, Piracicaba (SP).

ORSTOM
Fonds Documentaire
N° : 1722
Cote B
Date : 9 AOUT 1982

que diz respeito ao ciclo do carbono, sua fixação temporária no solo sob forma de substâncias húmicas parece totalmente ignorada. De modo geral, há carência absoluta de informações sobre o húmus dos solos dessas regiões.

Se é verdade que na floresta amazônica a matéria orgânica morta desaparece muito rapidamente (Klinge, 1973), isso não significa que ela seja em totalidade imediatamente mineralizada, transformada em gás carbônico e sais minerais que retornam à floresta. No decorrer de sua decomposição, formam-se produtos orgânicos novos, que são incorporados ao solo e fixados sob forma de húmus. O húmus, com efeito, não está ausente dos solos da Amazônia. Ele se evidencia nitidamente tanto nos podzóis como nos rios negros, cuja cor escura é causada por altas concentrações em substâncias húmicas (Klinge, 1967). Isso comprova que há humificação e que pelo menos parte do carbono da matéria orgânica morta não volta diretamente à floresta, mas permanece bloqueada certo tempo no húmus.

Neste trabalho, não se pretende tratar do problema geral do húmus em solos da floresta amazônica, pois faltam ainda muitos dados para abordar tal assunto. O objetivo desta pesquisa é a caracterização do húmus de um latossolo, um podzólico e uma laterita hidromórfica da região do rio Madeira que foi escolhida para os primeiros estudos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização geral dos solos foi feita na fração inferior a 2mm pelas seguintes análises: granulometria, método pipeta Robinson; pH, relação solo:solução de 1:2,5; cátions trocáveis por extração com acetato de amônio a pH 7 e dosagem por absorção atômica; Al^{3+} , por extrações sucessivas com KCl N, dosagem do alumínio nos extratos por absorção atômica e determinação gráfica do alumínio trocável; capacidade de troca, método direto usando o acetato de amônio a pH 7; ferro total, por ataque clorídrico concentrado e quente.

Os argilo-minerais foram identificados na fração granulométrica inferior a 2 μ por difratometria de raios X, a gibbsita pela análise térmica diferencial (velocidade de aquecimento de 10°C por minuto) e os oxi-hidróxidos de ferro pela difratometria de raios X na fração granulométrica inferior a 2 μ tratada com NaOH 2N em ebulição por trinta minutos.

O carbono orgânico total foi determinado por oxidação sulfocrômica em meio sulfúrico. O húmus foi analisado na terra fina pelo método de Dabin (1971). Cada uma das frações: matéria orgânica leve, ácidos fúlvicos livres (solubilizados pelo ácido fosfórico), alcalino-solúveis (ácidos húmicos e fúlvicos solubilizados pelo pirofosfato de sódio, ácidos húmicos e fúlvicos solubilizados pela soda) e a humina, foi quantitativamente avaliada por seu teor em carbono obtido por oxidação sulfocrômica do extrato. A relação E_1/E_2 dos ácidos húmicos foi determinada em suspensões contendo 10mg de carbono por 100ml e pH aferido a 8 (Kononova, 1975 e Volkoff & Cerri, 1978). A humina foi fracionada conforme os métodos de Perraud *et alii* (1971) e Volkoff (1977).

Características gerais da área

Os solos estudados fazem parte da região que se estende entre as serras do Pacaás Novos, ao sul, e o rio Solimões, ao norte, ao longo do rio Madeira (Figura 1). A parte sul, localizada entre a serra e a latitude aproximada de Porto Velho, é do pré-cambriano; o restante é recoberto por sedimentos plio-pleistocênicos (formação Solimões), que são aqui essencialmente argilosos. Fora das encostas da serra,

onde o relevo é ondulado, a topografia é fortemente aplainada e corresponde ao que é chamado «planalto rebaixado da Amazônia ocidental» (Brasil, 1978), sendo dissecada em interflúvios tabulares de 150-250m de altitude. A pluviosidade média anual é da ordem de 2.500mm (Nimer, 1977), com três meses secos no Sul e um no Norte. A temperatura média anual é de 25-26°C e a umidade relativa média anual de 85%. Toda a região está coberta pela floresta amazônica. A zona do pré-cambriano é uma «floresta aberta» (Brasil, 1978) com áreas de floresta densa; a dos sedimentos terciários é também uma floresta aberta, mas com áreas de savana na região de Humaitá-Porto Velho e áreas de floresta densa na parte norte.

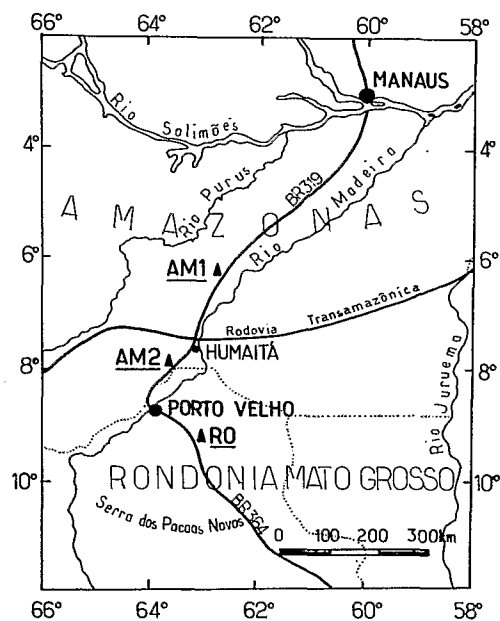


Figura 1 - Localização dos perfis AM1, AM2 e RO

Características gerais dos solos

Três solos de três áreas distintas foram selecionados.

Perfil RO: É um Latossolo Vermelho-Amarelo (*Orthic Ferralsol*, FAO, 1971; *ferrallitique fortement désaturé modal*, França, 1967) localizado no km 132 da BR-364, a 7km da BR pela estrada da Mineração Cachoeirinha. A altitude é de 150m aproximadamente. O substrato geológico é granito. A vegetação é floresta densa, alta. A topografia é muito suavemente ondulada. O perfil encontra-se na parte alta de uma longa vertente cuja declividade é inferior a 2%.

O perfil esquemático é o seguinte:

- 0 2-0cm: camada contínua de folhas secas.
- A1 0-5cm: bruno (7,5YR 5/4, seco e úmido). Arenoso em grãos simples. Raízes finas e médias. Há uma nítida concentração dessas raízes no centímetro superior do horizonte. Transição clara.
- A3 5-35cm: bruno (7,5YR 5/6, seco e úmido): argilo-arenoso passando a argiloso; estrutura fraca, em blocos subangulares e angulares, média; agregados com poros tubulares finos; frágil, muito friável, plástico, não pegajoso; raízes finas e médias. Transição gradual.
- B1 35-70cm: vermelho-amarelo (5YR 5/8, seco e úmido); argiloso; estrutura maciça, muito poroso com tubos finos e muito finos; frágil, muito friável, plástico, não pegajoso; algumas raízes finas. Transição difusa.
- B22 70-150cm: vermelho-amarelo (5YR 5/8, seco e úmido); argiloso; estrutura maciça; muito poroso, tubos finos e muito finos; muito frágil, muito friável, plástico, não pegajoso; raras raízes finas. Transição difusa.
- B23 150-230cm: vermelho (3,75YR 5/8, seco e úmido); argiloso; estrutura maciça; muito poroso, tubos finos e muito finos; muito frágil, muito friável, plástico, não pegajoso.

Obs.: no perfil todo, nota-se pouco cascalho de quartzo subanguloso.

As frações cascalho, areia e silte são constituídas de quartzo. Encontra-se um pouco de gibbsita no silte e nas areias. A fração argila é constituída de caulinita, gibbsita (Figuras 2 e 3), goethita e hematita (Figura 4). As características analíticas principais são dadas no quadro 1. Nota-se um gradiente textural nítido nos primeiros centímetros superficiais. O solo é ácido (pH em torno de 4,8), ultrapassando pH 5 apenas no horizonte B23. A soma das bases trocáveis é muito pequena em todos os horizontes (menos de 0,5meq/100g). A saturação do complexo sortivo é muito baixa. O alumínio trocável é elevado; o máximo encontra-se no horizonte A3 (2,2meq/100g), os teores decrescem gradativamente em profundidade, até se aproximarem de zero no B23. Os teores em ferro total oscilam em torno de 4% de Fe₂O₃, variando no perfil em função do teor de argila.

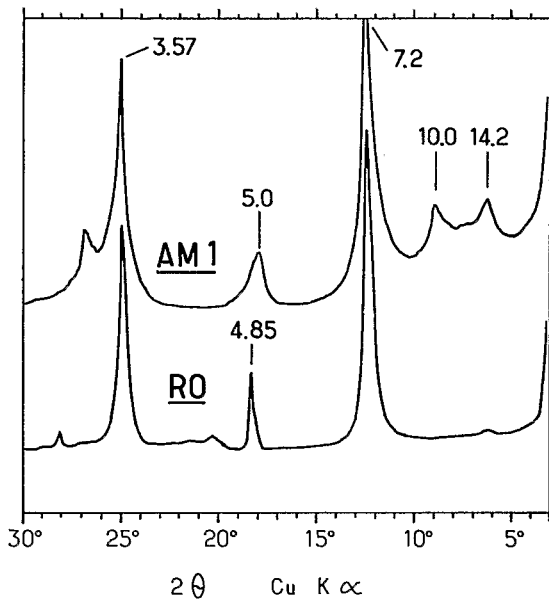


Figura 2 - Difratomogramas de raios X na argila dos horizontes B2 dos perfis R0 e AM1 (argila deferrificada, saturada com magnésio): 7,2 e 3,57Å, picos da caulinita; 10,0Å pico da illita; 14,2, pico da vermiculita; 5,0, pico da illita e da vermiculita) e 4,85Å, pico da gibbsita.

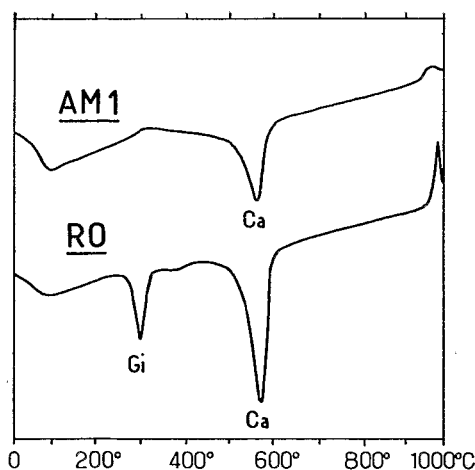


Figura 3 - Curvas de ATD em amostras de solo total de horizonte B2 dos perfis AM1 e R0 (Ca, caulinita; Gi, gibbsita).

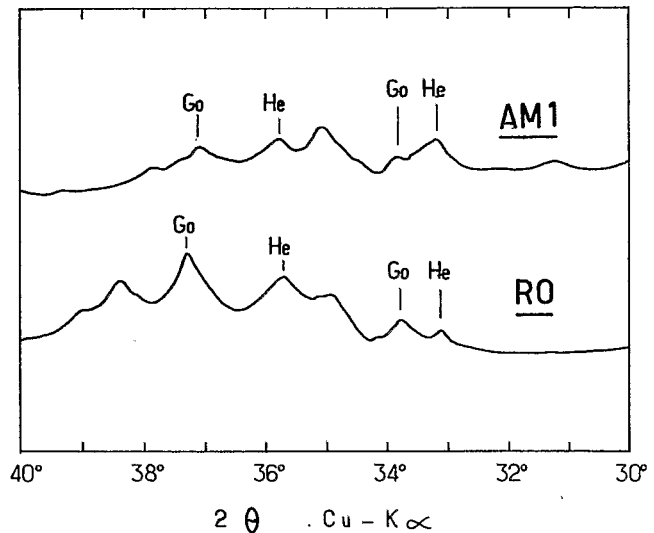


Figura 4 - Difratomogramas de raios X na fração argila tratada com soda: horizontes B2 dos perfis AM1 e R0 (Go, goethita; He, hematita).

Perfil AM1: Trata-se de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Plúntico (*Plúntic Acrisol*, FAO 1971; *ferrallitíque fortement désaturé hydromorphe*, França, 1967), localizado ao Norte de Humaitá, a 150km na estrada Humaitá-Manaus (BR-319). O substrato é um sedimento argiloso da formação Solimões. A paisagem modelada regional é o do baixo platô fortemente dissecado em colinas de topo plano e de vertentes convexas íngremes, geralmente separadas por estreitos igarapés. O perfil encontra-se na borda do plano somital de uma colina. O declive ao redor é de 2-4%. A vegetação é a floresta densa alta. O perfil apresenta as seguintes características morfológicas:

- O 4-2cm: camada de folhas secas inteiras.
- A0 2-0cm: camada de folhas fortemente alteradas com numerosas raízes finas.
- A1 0-5cm: bruno (7,5YR 5/4, úmido); areno-argiloso; estrutura forte grumosa, média e fina; muito poroso; raízes finas e médias. Transição gradual.
- A3 5-25cm: bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); argilo-arenoso; estrutura moderada, em blocos, média; poroso, frágil, friável; raízes finas e médias. Transição difusa.
- B1 25-55cm: vermelho-amarelo (5YR 5/8, úmido); argiloso; estrutura fraca, em blocos, média; poroso; pouco frágil, pouco friável, plástico, não pegajoso; raízes finas. Transição gradual.
- B2 55-85cm: vermelho (2,5YR 4/8, úmido) com poucas manchas vermelho-escuras, pequenas, arredondadas; argiloso; estrutura moderada e forte, em blocos, média; poroso; pouco frágil, pouco friável, plástico, não pegajoso; raras raízes finas. Transição difusa.
- B3g 85-150cm: vermelho-escuro (2,5YR 5/8, úmido), com mosqueamento vermelho-claro e amarelo-cinza; argiloso; mesma estrutura e porosidade. Transição difusa.
- Cg 150-210cm: argila mosqueada vermelho-escuro, vermelho-claro e cinza. Menos porosa e mais coesa que acima.

A areia (areia fina, sobretudo nesse perfil) e o silte são constituídos de quartzo. A fração argila apresenta caulinita e também, em proporções menores, illita e vermiculita (Figura 2); não há gibbsita (Figura 3), mas a vermiculita é fortemente aluminizada. A vermiculita se transforma em esmectita no horizonte A (Volkoff & Melfi, 1978). O ferro, associado à argila, está sob forma de hematita e goethita (Figura 4).

Neste solo nota-se também um nítido gradiente textural entre A e B. O horizonte A é muito ácido, no Al o pH alcança 3,6. A soma das bases trocáveis é muito pequena e os teores em alumínio trocável são muito elevados (Quadro 1). O teor em ferro total é de 9,5% de Fe₂O₃; no horizonte B2.

Quadro 1 - Características analíticas de solos sob floresta Amazônica (1)

Horizonte	Prof. cm	Granulometria (1)						M.O.	pH		Cátions trocáveis					T	Fe ₂ O ₃ total	
		cas.	a	sf	sg	af	ag		θ	H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K	Na			Al
Perfil RO - Latossolo Vermelho-Amarelo																		
A1	0-5	30	12	1	—	1	84	1	3,9	4,8	3,5	0,16	0,09	0,09	0,01	0,4	0,80	1,3
A3	5-15	33	31	2	1	4	60	1	2,9	4,8	3,6	0,14	0,14	0,14	0,03	1,1	2,80	2,8
A3	15-25	35	45	2	1	5	43	2	2,7	4,4	3,7	0,05	0,08	0,08	0,01	2,2	3,12	4,2
A3	25-35	28	53	3	1	5	35	2	2,4	4,6	3,9	0,04	0,05	0,05	0,00	1,6	3,04	3,9
B1	45-55	25	58	3	1	4	31	2	1,4	4,7	3,9	0,04	0,03	0,02	0,00	1,3	2,32	3,9
B22	80-90	27	61	2	1	4	30	2	0,8	4,7	4,1	0,03	0,03	0,02	0,00	1,1	1,92	3,9
B22	110-120	24	59	5	2	5	27	2	0,8	4,8	4,3	0,06	0,03	0,00	0,00	0,7	2,00	3,9
B23	220-230	28	49	8	4	7	30	2	0,5	5,3	4,7	0,06	0,03	0,00	0,00	0,1	1,56	3,9
Perfil AM1 - Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico																		
A1	0-5	—	22	17	25	27	3	3	6,6	3,6	3,2	0,60	0,21	0,25	0,02	4,0	6,06	3,3
A3	10-20	—	26	18	26	25	2	3	3,0	3,7	3,5	0,03	0,09	0,12	0,02	5,0	3,42	4,0
B1	30-40	—	49	14	19	14	1	3	0,7	4,3	3,7	0,03	0,05	0,05	0,02	5,4	6,54	8,3
B2	60-70	—	52	17	15	10	2	4	0,5	4,5	3,8	0,03	0,04	0,05	0,02	6,4	7,54	9,5
Cg	160-170	—	50	21	13	9	3	4	0,3	4,5	3,7	0,00	0,02	0,05	0,00	8,3	9,13	9,5
Perfil AM2 - Laterita Hidromórfica																		
A1	0-6	—	25	21	35	15	—	2	3,6	4,2	3,7	0,06	0,07	0,12	0,81	2,6	5,10	3,2
A3	10-20	—	26	19	36	15	—	2	2,4	4,4	3,8	0,03	0,04	0,07	0,01	2,4	3,54	3,4
B11	25-35	—	29	19	34	15	—	2	1,2	4,6	4,0	0,03	0,04	0,57	0,01	2,4	2,70	3,5
B12	35-45	—	33	19	33	13	—	2	1,0	4,5	4,0	0,02	0,03	0,09	0,01	2,5	3,10	3,9
B2g	55-65	—	47	18	22	10	—	3	0,7	4,5	3,9	0,03	0,05	0,11	0,01	4,4	5,22	6,9
B3g	80-90	—	48	22	17	10	—	3	0,5	4,5	3,9	0,05	0,06	0,08	0,01	5,9	6,86	9,8
Cg	160-170	—	66	20	6	4	—	4	0,2	4,5	3,9	0,05	0,10	0,13	0,02	11,0	12,54	6,9

(1) cas.: cascalho; a: argila; sf: silte fino; sg: silte grosso; af: areia fina; ag: areia grossa; θ: umidade a 105.C; M.O.: matéria orgânica; T: capacidade de troca de cátions (pH7).

Trata-se, portanto, de um solo com drenagem deficiente em profundidade (a partir de 85cm), argiloso e muito ácido.

Perfil AM2: Este perfil é uma Laterita Hidromórfica (*Plintic Acrisol*, FAO 1971; *Sol hydromorphe a pseudogley*, França, 1967) localizada a 60km ao sul de Humaitá, na estrada Humaitá-Porto Velho, em região bastante plana onde se encontram grandes áreas de campos e campo cerrado. O substrato geológico é um sedimento argiloso da formação Solimões. A topografia é plana (menos de 1% de declividade). A vegetação é uma mata fechada que comporta um estrato contínuo de cerca de 3m de altura e um estrato descontínuo (75% de cobertura) de 5-7m de altura. As principais características morfológicas do perfil são apresentadas a seguir:

- 0 1-0cm: poucas folhas decompostas.
- A1 0-6cm: bruno-amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); areia fina e muito fina; estrutura fraca, grumos, pequena e em blocos subangulares, média; poroso; frágil, friável, não plástico; raízes finas. Transição clara.
- A3 6-20cm: bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido), areno-argiloso com areia fina; estrutura maciça; poroso com poros muito finos; frágil, muito friável; raízes finas. Transição difusa.
- B11 20-35cm: bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); areno-argiloso e argilo-arenoso com areia fina; estrutura fraca, em blocos subangulares, média; poroso; tubos finos; frágil, muito friável, plástico, não pegajoso; algumas raízes. Transição gradual.
- B12 35-50cm: vermelho-amarelo (5YR 5/8, úmido), com poucas manchas bruno (7,5YR 5/8), pequenas, difusas; argilo-arenoso; estrutura fraca, em blocos, média a contínua; poroso, tubos finos e médios; pouco frágil, muito friável, plástico, não pegajoso; raras raízes finas. Transição gradual.
- B2g 50-70cm: mosqueado, vermelho, amarelo e cinza; argiloso; estrutura fraca, em blocos, média; poroso; pouco frágil, friável, plástico, não pegajoso; raras raízes finas. Transição difusa.
- B3g 70-100cm: mosqueado, mais pálido que acima; argiloso; estrutura forte, em blocos, média; pouco poroso, raras raízes finas. Transição difusa.
- Cg 100-200cm: cinzento-claro (5YR 7/1, úmido), com manchas pequenas, vermelhas e amarelas difusas; argiloso; estrutura forte, em blocos, média; pouco poroso; frágil, friável, muito plástico.

Trata-se, portanto, de um solo com drenagem deficiente, que apresenta uma estrutura fraca nos horizontes superficiais (A e B1) e um mosqueamento a partir de 35cm de profundidade.

Do ponto de vista da mineralogia, é semelhante ao perfil AM1; nota-se apenas a permanência da vermiculita aluminosa até o horizonte A1, sem transformação em smectita. Quimicamente, não difere do AM1, senão pela menor acidez nas camadas superficiais: pH de 4,2 no lugar de 3,6 no horizonte A1.

RESULTADOS

Distribuição do húmus nos perfis

Nos três solos, os teores em carbono variam muito com a profundidade. Nos horizontes A1 são encontrados de 2 a 4% de carbono, isto é, de 4 a 7% de matéria orgânica. Apenas 5% do carbono presente pertence a fragmentos vegetais não ou pouco decompostos; o resto, ou seja, 95% do carbono do horizonte, faz parte das substâncias húmicas. No horizonte A3 ocorre de 1,5 a 2,0% de carbono, ou 2 a 4% de matéria orgânica; e no B1 e B2, menos de 1% de carbono. Nos horizontes A3 e B não há mais material leve, toda a matéria orgânica do solo está, portanto, humificada.

Teores elevados caracterizam, pois, somente o horizonte A1, o qual é, nos três solos, muito pouco espesso (5cm). Debaxo dessa camada rica, o teor de carbono decresce brutalmente (Figura 5). Dentro do horizonte A3, que tem 20-30cm de espessura, observa-se uma diminuição rápida, embora gradativa; em seguida, no interior do B, o carbono diminui muito lentamente, sem, porém, desaparecer totalmente em profundidade.

Os valores da relação C/N obtidos nos sucessivos horizontes variam de 16 a 14 no A1, de

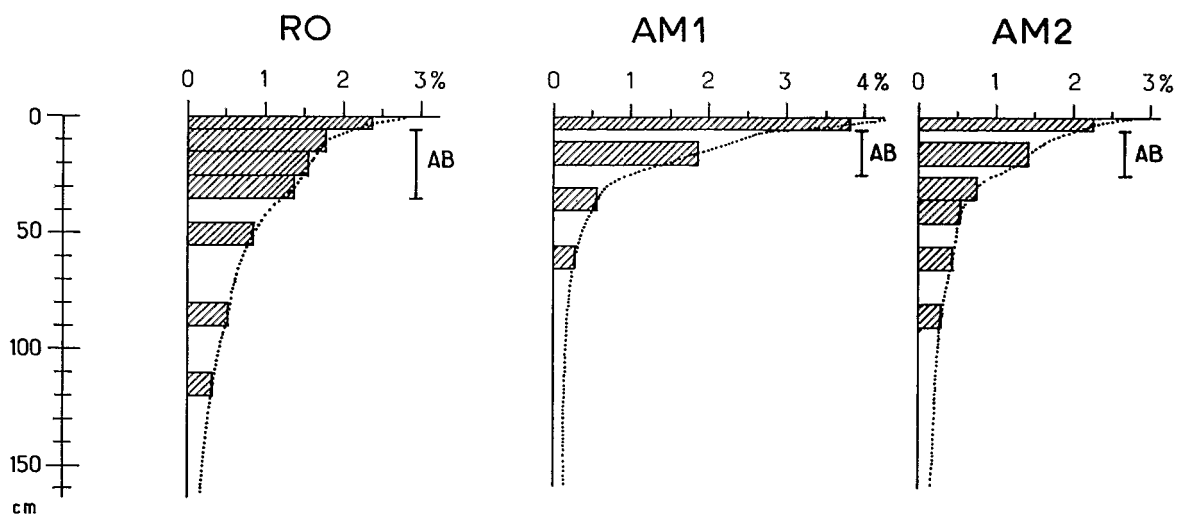


Figura 5 - Variações do teor em carbono orgânico total na terra fina, em profundidade, dos perfis RO, AM1 e AM2. O segmento AB indica a posição e a espessura do horizonte A3.

14 a 12 no A3 e de 8 a 10 no B1, sendo inferiores a 8 no B2. Eles são médios no A1 e baixos no B2. A passagem dos valores do A1 para os valores do B2 é gradativa.

Características do húmus

Perfis R0 e AM1. O húmus A é, nos dois perfis, pobre em ácidos fúlvicos livres, mas rico em frações alcalino-solúveis (ácidos húmicos + ácidos fúlvicos) e humina (Figura 6). Os horizontes B são ricos em ácidos fúlvicos livres e humina, mas muito pobres em alcalino-solúveis. Os horizontes A3 têm composição intermediária

O húmus da superfície e o de profundidade diferem, portanto, nitidamente entre si pelos teores em ácidos fúlvicos livres e de frações alcalino-solúveis presentes.

Ao observar a composição do húmus em várias profundidades, constata-se que o teor em

humina permanece relativamente constante em cada perfil, pois a humina representa 45% do carbono total no perfil R0 e 40% no perfil AM1 (Figura 6). Ao fracionar a humina, nota-se que ela tem sensivelmente a mesma composição em todos os horizontes ou perfis: 20% de seu carbono entra na humina de precipitação e 80% na humina residual. A humina herdada é encontrada apenas no horizonte A1; aqui a proporção de humina total sofre um pequeno aumento (nítido no perfil AM1, pouco perceptível no perfil R0) relacionado com a presença de humina herdada que, porém, não ultrapassa 20% do carbono da humina total. Há, portanto, de modo geral, pouca humina, sendo esta de composição constante e caracterizada pela forte predominância da humina residual.

As frações alcalino-solúveis representam 30-40% do carbono do horizonte A1 e apenas 20% do carbono do horizonte B. Essas frações têm

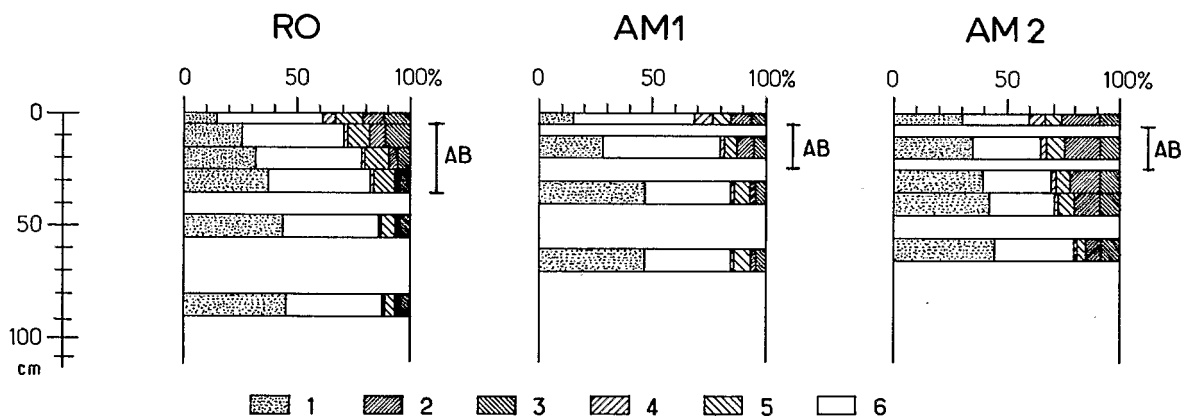


Figura 6 - Variações da distribuição do carbono nas frações do húmus, em profundidade, nos perfis RO, AM1 e AM2. Legenda: 1) ácidos fúlvicos livres; 2) ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato; 3) ácidos fúlvicos extraídos pelo pirofosfato; 4) ácidos húmicos extraídos pela soda; 5) ácidos fúlvicos extraídos pela soda; 6) humina. O segmento AB indica a posição e a espessura do horizonte A3.

características diferentes nos horizontes A e nos B. São muito mais pobres em ácidos húmicos no B do que no A: no horizonte A1, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos estão mais ou menos em quantidades iguais, enquanto no B encontram-se quase que exclusivamente ácidos fúlvicos. A análise de densidade óptica mostra que a relação E_4/E_6 dos ácidos húmicos é bastante elevada (Quadro 2), o que indica que se trata de ácidos húmicos muito pouco polimerizados.

Quadro 2 - Relação E_4/E_6 dos ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio e pela soda em amostras dos horizontes superficiais de perfis de Latossolo Vermelho-Amarelo (P-R0), Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico (P-AM1) e Laterita Hidromórfica (P-AM2) da Amazônia

Horizonte	P-R0		P-AM1		P-AM2	
	Piro.	Soda	Piro.	Soda	Piro.	Soda
A1	7	—	8	8	4	4
A3	7	—	8	—	4	4

A comparação da composição do húmus em diversas profundidades mostra também que as proporções de ácidos fúlvicos livres e de alcalino-solúveis variam em sentido contrário: a uma diminuição dos primeiros corresponde um aumento paralelo dos segundos. No entanto, constatou-se que o aumento dos ácidos fúlvicos livres é sensivelmente maior do que o decréscimo dos alcalino-solúveis; os ácidos fúlvicos livres, que representam 15% do carbono total do horizonte A1, passam a representar 40 a 50% nos horizontes B; ao mesmo tempo que os alcalino-solúveis passam de 30 a 40% no horizonte A1 para 20% no B. Tal diferença está ligada ao fato de a humina diminuir um pouco em profundidade.

Perfil AM2. O húmus deste perfil difere em vários aspectos do húmus descrito nos perfis R0 e AM1. Ele é mais pobre em humina (30% de carbono total contra 40-45%) e nitidamente mais rico em ácidos fúlvicos livres no horizonte A1. As proporções de frações alcalino-solúveis, ao contrário dos outros solos, diminuem gradativamente em profundidade (Figura 6). Os ácidos húmicos, que são principalmente os extraídos pelo pirofosfato, apresentam-se muito mais polimerizados: a relação E_4/E_6 é de 4, contra 7-8 nos solos antes mencionados (Quadro 2).

Em resumo, nos perfis R0 e AM1, o húmus do horizonte A1 distingue-se daquele em profundidade. No horizonte A1 a composição esquemática é a seguinte: 50% de carbono na humina (principalmente humina residual com pouca humina herdada e pouca humina de precipitação), 15% nos ácidos fúlvicos livres e 35% nos alcalino-solúveis. Na parte superior do B, o húmus tem a composição seguinte: 40% de carbono na humina (não há mais humina herdada; o que predomina é a humina residual), 40% nos ácidos fúlvicos livres e 20% nos alcalino-solúveis. A passagem de um tipo de húmus para outro é rápida. Tanto no A como no B os alcalino-solúveis apresentam-se como constituídos por

frações fracamente polimerizadas: alta proporção de ácidos fúlvicos, relação E_4/E_6 elevada.

No perfil AM2 o húmus de profundidade é semelhante ao dos outros solos, apesar de ligeiramente mais pobre em humina. Diferenças notáveis aparecem no A1 e nos horizontes subsuperficiais. O húmus do A1 é, nesse perfil, mais rico em ácidos fúlvicos livres e também mais pobre em humina. Sendo gradativa a diminuição das frações alcalino-solúveis em profundidade, os húmus do A1 e do A3 são pouco diferentes. Dada a permanência das frações alcalino-solúveis, o contraste entre o húmus da superfície e o de profundidade é fortemente atenuado. Além disso, as frações alcalino-solúveis são muito mais polimerizadas do que nos demais perfis: mais ácidos húmicos que ácidos fúlvicos e relação E_4/E_6 baixa.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Na área estudada, os solos de floresta apresentam um horizonte A1 pouco espesso, geralmente bem estruturado, com bastantes raízes — cuja concentração máxima ocorre no topo do horizonte, no contato com a serrapilheira — e um horizonte A3 de cor clara, aparentemente muito pouco humífero, sem estrutura, ou com estrutura muito fraca, que faz transição com os horizontes B ora latossólicos, ora podzólicos ou plínticos.

Tais solos, onde apenas alguns centímetros superiores parecem humíferos, podem levar a crer que é excessivamente rápida a decomposição dos detritos da floresta, produzindo poucas substâncias húmicas. Os resultados das análises mostram que o húmus está presente não só na camada superficial mas, também, em profundidade. Os teores são bastante elevados no A1 e depois decrescem rapidamente com a profundidade. Entretanto, apesar da diminuição, há no horizonte A3, que é uma camada de 20-30cm de espessura aparentemente não humífera, em média, uma taxa não negligenciável de 2,5% de matéria orgânica humificada. Ocorre, portanto, uma evidente penetração do húmus em profundidade, dificilmente percebida pela cor do solo.

A concentração de húmus na superfície e sua diminuição rápida em profundidade são uma indicação de que as pequenas moléculas orgânicas, precursoras das substâncias húmicas, fornecidas pela serrapilheira, permanecem em grande parte na superfície e migram pouco em profundidade. Isso resulta da quase total imobilização dos precursores nos primeiros centímetros superficiais e da rápida mineralização das substâncias húmicas formadas. As moléculas mais solúveis e menos sensíveis às barreiras físico-químicas constituídas pelas argilas e pelos oxí-hidróxidos, são as únicas a penetrar no solo. Há, assim, uma filtragem dos precursores que leva à formação de dois tipos de húmus: um concentrado, na superfície, e outro difuso, em profundidade. Na superfície do solo a maior par-

te dos precursores precipita sob forma de frações alcalino-solúveis pouco polimerizadas; as que impregnam as camadas mais profundas são, ao contrário, condensadas sob forma de ácidos fúlvicos livres. Nos solos bem drenados, os ácidos fúlvicos livres são lixiviados da superfície para os horizontes subsuperficiais.

A pouca espessura do horizonte A1, apesar do grande volume de material vegetal que a floresta traz na superfície do solo, revela que o húmus formado é quase imediatamente destruído. Há, portanto, uma rápida renovação. Fraca polimerização e rápida renovação são, pois, as características do húmus da superfície diretamente relacionado com a dinâmica da floresta.

Nos horizontes debaixo do A1 o húmus é principalmente constituído de ácidos fúlvicos livres e de humina residual provenientes das pequenas moléculas orgânicas, que penetram no solo e são ora fixadas pelas argilas por intermédio dos íons Al^{3+} (Volkoff, 1977), ora precipitadas pelos óxidos de ferro (Duchaufour, 1977). Esse húmus, portanto, mais fortemente ligado ao solo que o superficial, teria, em relação a ele, um «turn-over» muito mais lento.

Quando a drenagem é deficiente, com encharcamentos periódicos até à proximidade da superfície, como ocorre nas lateritas hidromórficas, os teores em húmus e sua distribuição no perfil continuam a ser idênticos aos dos solos bem drenados, mas algumas diferenças são observadas na sua composição. Por ser a lixiviação dos ácidos fúlvicos livres menor, por causa da drenagem lenta, o húmus superficial é bastante rico em ácidos fúlvicos livres. Por outro lado, as frações alcalino-solúveis encontram-se na composição do húmus das camadas profundas e são muito mais fortemente polimerizadas que nos solos bem drenados. Essa aparente difusão em profundidade de formas polimerizadas tem a explicação seguinte: nos solos hidromórficos, a alternância de excesso de água e condições de melhor aeração facilitam uma polimerização do húmus no horizonte A1, mas essa polimerização não é um fenómeno irreversível (Turenne, 1977) e, em certos períodos, ocorre a despolimerização com produção de pequenas moléculas que se movimentam em profundidade, onde são de novo polimerizadas. O tipo de vegetação, bastante diferente da floresta densa dos solos bem drenados, interfere provavelmente também no tipo de húmus formado. Por isso a interpretação das características próprias do húmus dos solos com drenagem deficiente ainda é muito incerta. Por enquanto, deve-se apenas constatar a maior riqueza em ácidos húmicos dos solos hidromórficos.

O presente trabalho mostra que nos solos da floresta amazônica o horizonte A1 é muito pouco espesso e que sempre existe uma camada A3 atingindo 40cm de espessura, impregnada por um húmus de cor clara cuja presença não se traduz por modificações significativas das características do solo. Isso ocorre em solos suficientemente argilosos, como é o caso dos solos estu-

dados. Com material menos argiloso, não haveria retenção, mas migração do húmus, e o provável desenvolvimento de um processo de podzolização (Turenne, 1977).

As propriedades desse húmus deverão ser cuidadosamente estudadas. Ele se localiza, com efeito, na parte que pode ser transformada em solo cultivado, e não se sabe qual será, depois de derrubada a floresta e desaparecida a camada de húmus superficial, sua evolução e seu papel no comportamento tanto físico como químico do solo.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. - Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto RADAMBRASIL. Folha SC-20, Porto Velho, Rio de Janeiro, 1978. 668p.
- BRINKMANN, W. L. F. & NASCIMENTO, J. C. de - The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary Region of Central Amazonia. *Acta Amazonica*, 3: 55-61, 1973.
- DABIN, B. - Etude d'une méthode de fractionnement des matières humiques du sol. *Science du Sol* 1: 47-63, 1971.
- DUCHAUFOUR, Ph. - Pédogenèse et classification. In: Duchaufour Ph. & Souchier B., ed. *Pédologie*, Paris, v. 1, 1977. 478p.
- FAO/UNESCO - Mapa mundial de suelos. v. IV América del Sur, UNESCO, Paris, 1971. 193p.
- FITTKAU, E. J. & KLINGE, H. - On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica* 5: 2-14, 1973.
- FRANÇA - C.P.C.S. - Classification des sols. Laboratoire de géologie-pédologie de l'E.N.S.A. de Grignon, 1967. 96p.
- KLINGE, H. - Podzol soils: a source of blackwater rivers in Amazonia. Atas do Simpósio sobre a Biota Amazonica, v.3 (*Limnologia*): 117-125, 1967.
- KLINGE, H. - Biomassa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazônica. *Acta Cient. Venezolana* 24:174-181, 1973.
- KONONOVA, M. M. - Humus of virgin and cultivated soils. In: Gieseking, J.E., ed. *Soil components*, v.1, Organic Components, Springer-Verlag, 1975. p.475-526.
- NIMER, E. - Clima. In: Geografia do Brasil, v.1, Região Norte, IBGE, Rio de Janeiro, 1977. p.39-58.
- PERRAUD, A.; NGUYEN, K. A. & TSEQUIN, F. - Essai de caracterization des formes de l'humine dans plusieurs types de sol. *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 272, 12: 1594-1597, 1971.
- STARK, N. - The nutrient content of plant and soils from Brazil and Surinam. *Biotropica* 2:51-60, 1970.
- STARK, N. - Nutrient cycling: 1. Nutrient distribution in some amazonian soils. *Tropical Ecology*, 12: 24-50, 1971a.
- STARK, N. - Nutrient cycling: 2. Nutrient distribution in amazonian vegetation. *Tropical Ecology* 12: 177-201, 1971b.
- TURENNE, J. F. - Modes d'humification et différenciations podzoliques dans deux toposéquences guyanaises. *Mémoires ORSTOM*, n.º 84, 1977. 173p.
- VOLKOFF, B. - La matière organique des sols ferrallitiques du Nordeste du Brasil. *Cahiers ORSTOM, Série Pédol.* 15(3):61-75, 1977.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C. C. - Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granite du Paraná, Brésil. *Science du Sol*, 4: 269-280, 1978.
- VOLKOFF, B. & MELFI, A. J. - Evolution des micas en région équatoriale: problème de la présence des smectites dans les sols ferrallitiques fortement désaturés de l'Amazonie brésilienne. *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 286: 837-840, 1978.