

EFEITO DO DESMATAMENTO E DO CULTIVO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO SOB FLORESTA NATURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Paulo Fernando da Silva MARTINS

Carlos Clemente CERRI

Boris VOLKOFF

Francis ANDREUX

RESUMO

Foram estudados os efeitos do desmatamento e cultivo anual sobre características físicas e químicas de solos da área experimental do CPATU-EMBRAPA em Capitão Poço (PA). Os solos são Latossolos amarelos e Podzólico-latossólicos. Na área selecionada coexistem situações sob mata natural, vegetação recém-queimada, solos cultivados por um e cinco anos e também em pousio de três anos após dois de cultivo. Em cada situação da seqüência foi descrito e amostrado um pédon e comparado com outros três sob floresta nativa, os quais se distinguem pela drenagem. A queimada ocasiona leves efeitos no solo, exceção feita à serrapilheira, a qual é inteiramente substituída pelas cinzas e resíduos de carvão.

Com o aumento do tempo de cultivo, a espessura do horizonte A11 decresce, como resultado do aumento da densidade. O mosqueado aumenta na camada de superfície e alcança o horizonte A3, enquanto que o grau de floculação, que expressa a proporção de partículas de argila não dispersas, diminui. Os resíduos vegetais da superfície do solo desaparecem rapidamente, e o conteúdo de carbono orgânico do solo decresce 14% em todo o perfil, e 24% na camada 0-20cm, após cinco anos de cultivo. A queima é responsável pelo incremento de 2,5 unidades de pH na superfície do solo e pela liberação de bases trocáveis, as quais migram progressivamente no interior do solo, resultando na diminuição do alumínio trocável, mesmo em camadas mais profundas do solo, e depois de cinco anos de cultivo. Após três anos de pousio seguido de dois anos de cultivo, a vegetação foi regenerada, houve acúmulo de resíduos orgânicos, e estímulo da atividade microbiana, com um retorno progressivo às características iniciais do solo.

ABSTRACT

At the CPATU-EMBRAPA Experimental Center of Capitão Poço, Pará, Eastern Amazonia, the effects of clearing and annual cropping on soil physical and chemical characteristics were studied. In this area soils are predominantly medium-textured latosols and podzolic latosols, according to the Brazilian soil classification. The selected adjacent sites fall in a sequence from native to freshly burnt, forest, to cultivated for one and five years, for two years and fallow for three years. In each position on the sequence a pedon was described, sampled, and compared to three reference pedons under native forest, characterized according to drainage intensity. Burning itself had only slight effects, except on the litter material, which was entirely substituted by ash and charcoal residues. With increasing duration of cultivation, the thickness of the surface A11 horizon decreased, as a result of increasing density and cohesion. Mottling increased, and reached the A3 horizon, whereas the flocculation degree, which expresses the proportion of non water-dispersible clay particles, decreased. Residues burnt above ground disappeared rapidly; after five years cropping soil organic carbon content decreased by 14% in the whole profile, and 24% in the 0-20cm soil layer. Burning was found to bring about an increase of 2.5 units of surface soil pH, and to release exchangeable bases, which progressively migrate, resulting in a decrease of exchangeable aluminium, even in the deeper soil layers, and after five years of cropping. After three years of fallow following two years of cropping, the vegetation underwent regeneration; organic residues were produced, soil biology was stimulated and there was a progressive return to initial soil characteristics.

1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia, o sistema tradicional de cultivo da terra consiste inicialmente na remoção de árvores economicamente importantes e na

posterior derrubada e queima da biomassa aérea restante. A área desmatada é utilizada tanto para cultivos anuais como perenes e, ainda, para pastagens. Comparados com esses dois últi-

mos tipos de sistema, os cultivos anuais são pouco duradouros; o solo é cultivado por dois ou três anos e depois abandonado porque a produtividade decresce, atingindo limites economicamente desvantajosos.

São raros os estudos sobre transformações do solo decorrentes de atividades antrópicas na Amazônia. Contudo, modificações têm sido observadas depois do desmatamento na atividade dos organismos (SANTOS & GRISI, 1981; CERRI *et al.*, 1988), na porosidade (CHAUVEL, 1982) e na matéria orgânica do solo (MARNARINO *et al.*, 1982).

A queima da vegetação acarreta a entrada brusca de novos elementos no solo (BRINKMANN & NASCIMENTO, 1973; DANTAS & MATOS, 1981). A ausência ou a modificação da cobertura vegetal provoca variações na temperatura do solo (MAURI, 1979; DINIZ & BASTOS, 1980; SANTOS & GRISI, 1981) e na quantidade de água que penetra no solo (FRANKEN *et al.*, 1982).

Apesar das prováveis alterações decorrentes do desmatamento e do cultivo, que poderiam justificar o declínio da produtividade, FALESI

et al. (1980) não detectaram efeitos prejudiciais nas propriedades físicas e químicas do solo no nordeste do Estado do Pará.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos do desmatamento e do cultivo sobre as características físicas e químicas dos solos de um ecossistema natural de terra firme, localizado na Amazônia Oriental. Com esse fim recorreu-se a experimentos em andamento no Centro Experimental do CPATU-EMBRAPA no Município de Capitão Poço (PA) para estudar as transformações sofridas no momento das primeiras alterações do ecossistema. Solos sob condições naturais foram comparados com solos de áreas próximas submetidas à queimada, cultivo e pousio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características do meio físico

O estudo foi desenvolvido no nordeste do Estado do Pará, Município de Capitão Poço, trecho compreendido entre as calhas do rio Guamá e de seu afluente, rio Irituia (fig. 1).

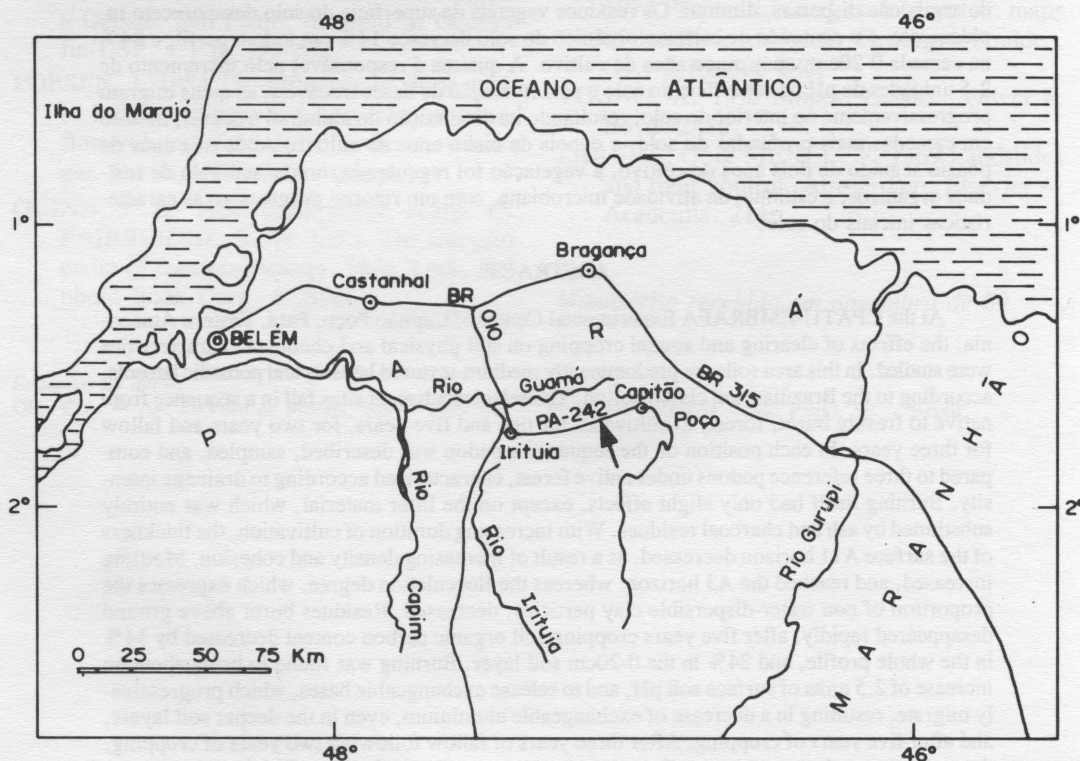


FIGURA 1 - Mapa de localização da área estudada.

O clima do nordeste do Estado do Pará é quente e úmido apresentando um a dois meses secos (NIMER, 1977). No Município de Capitão Poço a precipitação média anual

é de 2.500mm e a temperatura média anual de 26,9°C (REGO *et al.* 1973), enquadrando-se no tipo Ami da classificação de Köppen.

A vegetação primária corresponde à Floresta Perenifolia Higrófila Hileiana Amazônica (KUHLMANN, 1977) ou Floresta Ombrófila de Baixo Platô com cobertura de emergentes (GÓES FILHO *et al.*, 1973).

O local de estudo encontra-se próximo à área de contato entre o Pré-Cambriano indiviso e o Terciário Médio/Superior (FRANCISCO *et al.*, 1971), e está incluído em área de ocorrência da Formação Barreiras (NUNES *et al.*, 1973).

2.2 Localização e características dos solos

Na área estudada ocorrem Latossolos amarelos de textura média, Concrecionários lateríticos, Gleis hidromórficos e Latossolos amarelo podzolizados (REGO *et al.*, 1973). Os solos estudados incluem as unidades Latossolo amarelo distrófico, A moderado, textura média e o Podzólico vermelho amarelo distrófico — Tb, A moderado, textura média/argilosa, o qual apresenta um horizonte B1 maciço, sem microagregação, de 100-120cm de espessura e, a partir de 150cm de profundidade, um horizonte B2 latossólico, caracterizado por elevada porosidade e grande friabilidade, acompanhada de microagregação bem desenvolvida, motivo pelo qual foi denominado Podzólico-latossólico. Independentemente da unidade, os solos, sob condições naturais, apresentam um horizonte A com sequência de A11, A12 e A3, cuja subdivisão se altera com o cultivo. E um horizonte B1 que, dependendo do local, é mais ou menos denso, ou mais ou menos mosqueado, sem que a ocorrência do adensamento e do mosqueamento esteja perfeitamente correlacionada com a posição na topografia, a qual é sempre plana ou suavemente ondulada.

Para efeito de caracterização e comparação tomaram-se, no ecossistema natural, três pédonos correspondentes aos três graus de desenvolvimento do horizonte B1 mosqueado. Eles foram denominados imperfeitamente drenado, moderadamente drenado e bem drenado, correspondentes, os dois primeiros, ao Podzólico-latossólico e, o terceiro, ao Latossolo.

Os solos de ecossistema alterado correspondem a quatro fases diferentes de utilização. Em cada uma delas foi caracterizado um pédon, designado como se segue: (1) *recém-queimado*, (2) *cultivado por um ano com arroz seguido de caupi*, (3) *cultivado por cinco anos* e (4) *pousio de três anos após dois anos de cultivo*. Nestes dois últimos houve cultivo anual alternando arroz ou milho com caupi. O pédon cultivado por 1 ano foi classificado como Podzólico vermelho amarelo eutrófico — Tb, A moderado, textura média/argilosa, enquanto os demais pédonos como Latossolo amarelo distrófico, A moderado, tex-

tura média. Os locais de amostragem dos solos cultivados estão situados num raio de aproximadamente 200m e distantes no máximo 450m dos pédonos imperfeitamente e moderadamente drenados sob floresta natural. A área recém-queimada situa-se a 2.500m dos já citados e é adjacente ao pédon bem drenado.

Sob condições naturais os solos apresentam variações na textura, drenagem e quantidade de serrapilheira (MARTINS & CERRI, 1986; MARTINS *et al.*, 1989). Essas variações certamente interagem com os efeitos do desmatamento e do cultivo. Para avaliá-las proceder-se-á à comparação das características dos pédonos, em cada uma das fases de utilização, com as do pédon do ecossistema natural selecionado como referência. A escolha do padrão foi feita com base na classificação do solo e na textura, obtida pelo tato durante a descrição morfológica, complementada pelo resultado da análise granulométrica. Assim sendo, os pédonos das fases recém-queimado, cultivado por 5 anos e pousio de 3 anos (após 2 anos de cultivo) tiveram como padrão principal o pédon bem drenado, enquanto o cultivado por 1 ano apresentou como padrão o pédon imperfeitamente drenado. As características dos solos do ecossistema natural que se mantiveram inalteradas puderam ser comparadas independentemente do padrão. A comparação entre os solos do ecossistema alterado pôde ser feita sem restrições, tanto entre os pédonos pertencentes à classe dos latossolos como entre estes e o pédon cultivado por 1 ano (Podzólico vermelho amarelo eutrófico), desde que a quantidade de argila não favorecesse o parâmetro a ser comparado.

2.3 Amostragem

Amostras do solo, deformadas e indeformadas, foram coletadas em torrões nas paredes de trincheiras especialmente abertas para este fim. Amostras deformadas, obtidas nas camadas de superfície, foram coletadas em três locais próximos a cada trincheira. A terra do horizonte All foi totalmente removida a partir de uma superfície de 1m². A partir do horizonte A12 removeu-se todo o material contido em 1.000cm³ (10cm x 10cm x 10cm). Foram feitas três repetições por camada amostrada.

2.4 Análises

Após secagem ao ar, as amostras deformadas foram peneiradas em tamis de 2mm e utilizadas para as seguintes análises: carbono por via seca, utilizando-se o aparelho "Carbon Biological Oxider"; pH em água na proporção 1/2,5; Ca, Mg e Al extraídos com KC1 1N e dosados por absorção atômica; H e Al extraídos com KC1

1N e dosados por titulação com HCl; Na e K extraídos com HCl 0,5N e dosados por fotometria de chama; análise granulométrica pelo método modificado da pipeta. Determinadas as bases trocáveis (Ca, Mg, Na e K), o H e o Al, trocáveis, calculou-se a soma de bases, o valor T, obtido pela soma de todos os cátions e o valor V(%), pela relação percentual entre o total das bases e o valor T.

Procedeu-se à dispersão do solo em água e hexametáfosfato de sódio, respectivamente sem e com destruição prévia da matéria orgânica com H_2O_2 . O grau de floculação foi obtido através da relação:

argila (hexametáfosfato) — argila (água)/argila (hexametáfosfato)

A densidade global foi determinada pelo método da parafina (KIEHL, 1979). No horizonte A12, de textura arenosa e abundantes raízes, utilizou-se o método da escavação (EMBRAPA, 1979). No horizonte A11 (e F/A11 do pédon imperfeitamente drenado) não foi possível empregar nenhum dos dois métodos, em virtude da natureza solta da estrutura, e só foi efetuada uma estimativa através da simulação do arranjo do horizonte em provetas de 250ml. A análise estatística dos dados da densidade global foi feita pelo teste de comparação de médias, utilizando-se a tabela t.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modificações macromorfológicas

O solo sob condição natural apresenta uma camada de natureza arenosa de 6cm de espessura, escurecida pela matéria orgânica e com estrutura grumosa nos quatro primeiros centímetros (A11), mais clara entre 4 e 6cm (A12). A argila aumenta gradativamente em profundidade. Observa-se um horizonte A3 ainda franco arenoso ou franco argiloarenoso sem estrutura nítida até 20cm de profundidade, um horizonte B1 entre 20 e 100cm e às vezes 150cm, mais ou menos coeso e mosqueado, sendo pouco coeso e não mosqueado no pédon bem drenado. A parte mais coesa situa-se geralmente a 20-50cm, e a mais mosqueada a 50-100cm.

Na área recém-queimada não se observam modificações importantes na morfologia do solo, com exceção da serrapilheira, a qual é substituída por uma camada de cinzas.

No solo cultivado por um ano, ainda permanece a subdivisão A11 e A12, porém o horizonte A3 se torna bastante coeso, e com grau de coesão superior ao do horizonte B1 subjacente.

No solo cultivado por cinco anos não existe mais a subdivisão A11 e A12; a camada do per-

fil com o máximo de coesão volta a ser a parte superior do horizonte B1. No horizonte A3 aparece um nítido mosqueado (fino, cor de ferrugem).

O mosqueamento do A3 não aparece nos solos cultivados por dois anos e deixados por três anos em pousio; na sua superfície volta a aparecer o horizonte A11, ainda que incipiente.

Os quadros 1 e 2 bem como as figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam dados que permitem comparar os pédons do ecossistema natural e estes com os pédons do ecossistema alterado.

Observa-se que o grau de floculação (Quadro 1 e fig. 2), a densidade global (fig. 3), a quantidade de carbono (Quadro 2) e a acidez trocável ($H+1 + A1+3$) (fig. 5) apresentam-se bastante diferenciados nas três condições de drenagem do ecossistema natural, enquanto a soma das bases trocáveis ($Ca+2 + Mg+2 + Na+1 + K+1$) (fig. 6) variaria praticamente apenas na parte superior do perfil. O pH (fig. 5), apesar de variar até o horizonte B, apresenta perfil idêntico nos pédons bem e imperfeitamente drenados, cujos valores são superiores aos do pédon moderadamente drenado.

3.2 Efeito sobre o grau de floculação

Nos primeiros 20cm do solo o teor em argila é sempre inferior a 30% (Quadro 1). Conforme o pédon, pode haver um incremento no teor da argila até valores de 60% a 100cm de profundidade.

A figura 2 evidencia que o grau de floculação do horizonte A decresce na área cultivada. Isto verifica-se principalmente na área cultivada por cinco anos, que apresenta um perfil com valores inferiores aos do padrão (bem drenado), bem como aos dos demais padrões. O pédon cultivado por um ano — muito embora com valores inferiores aos dos pédons imperfeitamente drenado e bem drenado — apresenta-se, à exceção do que se verifica no horizonte A11, com valores idênticos aos do pédon moderadamente drenado. Na área onde o cultivo foi interrompido e mantido em pousio, o grau de floculação tende a igualar-se ao do pédon bem drenado, permanecendo ainda um nítido abaixamento ao nível do horizonte A12. É importante notar que na área cultivada os valores do grau de floculação são menores, mesmo quando a quantidade de partículas finas (argila) é elevada, como é o caso do pédon cultivado por um ano.

QUADRO 1 - Análise granulométrica e grau de floculação dos solos do ecossistema natural e do modificado pelo cultivo.

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia		Silte	Argila Total	Grau de flo- culação (1)
		Grossa	Fina			
Imperfeitamente drenado						
F/A11	0 — 2	31	36	11	22	40
A11	2 — 6	37	37	7	19	39
A12	6 — 10	36	36	8	21	60
A3	10 — 18	34	34	8	22	48
Moderadamente drenado						
A11	0 — 4	37	38	9	16	55
A12	4 — 8	34	37	9	20	47
A3	8 — 15	30	34	10	26	20
B11	15 — 30	24	32	11	33	23
Bem drenado						
A11	0 — 4	25	56	8	11	62
A12	4 — 10	23	53	10	14	49
A3	10 — 20	20	51	10	19	53
Recém-queimado						
A11	0 — 1	37	49	6	8	62
A11	1 — 4	38	50	5	7	62
A12	4 — 10	29	53	7	11	54
A3	10 — 20	24	54	7	15	48
Cultivado por 1 ano						
A11	0 — 2	38	32	8	22	42
A11	2 — 6	38	30	8	24	34
A12	6 — 15	34	31	8	26	33
A3	15 — 25	28	30	9	33	24
B11	25 — 35	28	25	10	37	14
Cultivado por 5 anos						
A1	0 — 7	34	45	8	13	23
A3	7 — 19	33	44	6	17	21
B11	17 — 32	26	45	7	22	10
Pousio de 3 anos após 2 anos de cultivo						
A11	0 — 2	42	45	4	9	43
A12	2 — 7	35	45	5	15	28
A3	7 — 20	24	49	5	22	46
B11	20 — 30	28	42	5	25	32

(1) obtido através da fórmula: argila total-argila natural/argila total x 100.

(2) valores correspondentes à média ponderada em relação à profundidade.

3.3 Efeito sobre a densidade global

Sob condições naturais a densidade global é de 1,02-1,29 no A11; 1,36-1,56 no A12; 1,47-1,60 no A3 e 1,44-1,64g/cm³ no B11.

A figura 3 mostra a variação desse parâmetro após a alteração do ecossistema e o Quadro 2, os dados utilizados na comparação estatística. Comparando-se o pédon da área recém-

queimada com seu correspondente do ecossistema natural (pédon bem drenado) verifica-se que os valores são idênticos na parte superior; após a queimada, tornam-se mais elevados a partir do horizonte A3, porém sem significação estatística.

Após o primeiro ano de cultivo, a densidade dos horizontes A12 e A3 não se modifica muito. Depois de cinco anos de cultivo há um aumento de 0,18g/cm³ no horizonte A1, 0,28 no horizonte A3 e 0,19 no B11, em relação ao

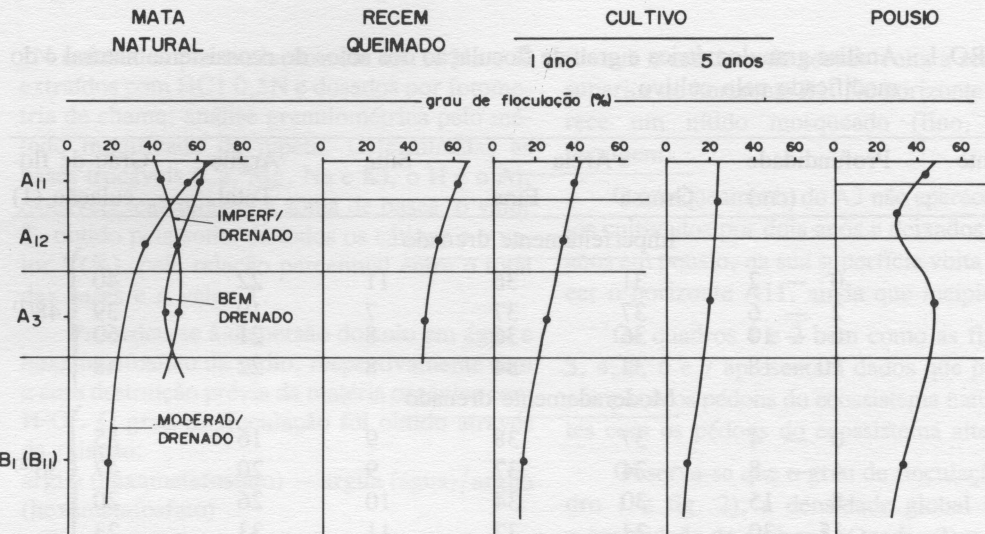


FIGURA 2 - Variações do grau de floculação das argilas no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

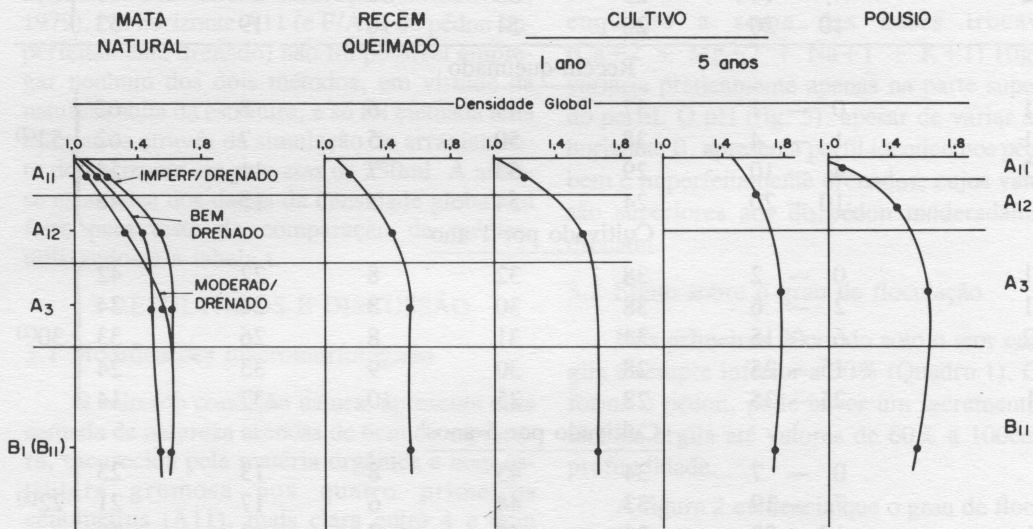


FIGURA 3 - Variações da densidade global no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

QUADRO 2 - Média ($\bar{x}$) e desvio padrão (s) dos valores de densidade global, expressos em g/cm³, dos horizontes dos pédons estudados (médias de 3 repetições).

		PÉDON						
Horizonte		Imperfeitamente drenado	Cultivado por 1 ano	Moderadamente drenado	Bem drenado	Recém-queimado	Cultivado por 5 anos	Pousio
A11	$\bar{x}$	1,29	1,19	1,07	1,02	1,14	—	1,08
	s	0,06	1,10	0,08	0,15	0,07	—	0,11
A12	$\bar{x}$	1,56	1,62	1,36	1,41	1,42	(1,59)	1,46
	s	0,06	0,03	0,07	0,08	0,06	(0,03)	0,08
A3	$\bar{x}$	1,60	1,62	1,56	1,47	1,58	1,75	1,65
	s	0,04	0	0,03	0,09	0,02	0,01	0,08
B11	$\bar{x}$	(1,61)	1,66	1,60	1,55	1,70	1,73	1,56
(B1) s		(0)	0,10	0,01	0,04	0,02	0,06	0,04

pédon bem drenado do ecossistema natural, sendo todos estes aumentos significativos ao nível de 5% de probabilidade. Pode-se avaliar os efeitos da interrupção do cultivo prolongado através da ocorrência de valores menores de densidade global na área sob pousio, em relação à área cultivada por cinco anos. No horizonte A12 do pédon sob pousio a densidade é 0,3g/cm³, mais baixa que no correspondente horizonte A1 do pédon cultivado por cinco anos, diferença esta significativa ao nível de 10% de probabilidade. A comparação entre os valores do horizonte A3 evidencia uma diferença não significativa de 0,10g/cm³, enquanto entre os valores do horizonte B11 a diferença é de 0,17g/cm³, significativa ao nível de 5% de probabilidade (Quadro 2).

QUADRO 3 - Distribuição do carbono nos cem centímetros superficiais do solo do ecossistema natural e do ecossistema alterado.

Pédon	Quantidade de C (kg/m²)				Total
	0-10cm	10-20cm	20-50cm	50-100cm	
Ecossistema natural					
Imperfeitamente drenado	1,81	0,78	1,74	1,96	6,29
Moderadamente drenado	1,68	0,94	1,96	2,26	6,84
Bem drenado	1,99	1,02	1,74	1,83	6,58
Média	1,83	0,91	1,81	2,02	6,57
Ecossistema alterado					
Recém-queimado	1,66	0,92	1,66	2,09	6,33
Cultivado por 1 ano	1,57	0,98	1,92	2,27	6,74
Cultivado por 5 anos	1,29	0,91	1,63	1,82	5,65
Pousio de 3 anos	1,55	1,12	2,05	1,78	6,50

A diferença encontrada entre 50 e 100cm não é tão grande e pode até ser causada pelas variações da textura, porosidade e drenagem. Já a diferença verificada entre 0 e 20cm é acentuada, especialmente nos primeiros dez centímetros, e pode ser explicada por duas hipóteses: menor adição, devido à menor produção de serrapilheira nos locais de amostragem, ou decréscimo do teor de carbono após a queimada.

A primeira hipótese é apoiada por significativa correlação positiva entre o peso da serrapilheira e a quantidade de carbono armazenado nos dez primeiros centímetros do pédon bem drenado do ecossistema natural, o qual serve de padrão de comparação (MARTINS *et al.*, 1989).

A segunda hipótese já foi constatada tanto de forma pouco acentuada, sem significado estatístico (FALESI *et al.*, 1980; EMBRAPA, 1981), como acentuada, restrita apenas aos primeiros centímetros do solo (BETSCH *et al.*, 1981, apud TURENNE, 1977). Este fato pare-

3.4 Efeitos sobre a quantidade de carbono

O Quadro 3 apresenta os resultados da distribuição do carbono expresso em kg/m² por camadas, ou seja, a isovolume, até 100cm de profundidade do solo, nas diversas fases do ecossistema alterado e nas três classes de drenagem do ecossistema natural. Esses dados indicam que no ecossistema natural, embora a distribuição seja viável, a quantidade total varia menos de 9%. Após a queimada, a quantidade de carbono armazenada é de 6,33kg/m² até 100cm de profundidade, com uma diminuição inferior a 4% desse conteúdo em relação ao ecossistema natural adjacente. A distribuição do carbono é, contudo, diferente. Há, nesta fase, cerca de 17% menos carbono armazenado entre 0 e 20cm, o que é, em parte, compensado por um acréscimo entre 50 e 100cm.

ce relacionar-se à mudança do microclima resultante da erradicação da vegetação (DINIZ & BASTOS, 1980; FRANKEN *et al.*, 1982), o que pode proporcionar a rápida oxidação da matéria orgânica, mesmo em curto intervalo de tempo.

Por outro lado, é de se esperar que o teor de carbono aumente em decorrência da adição de fragmentos vegetais oriundos da queimada (MILLER *et al.*, 1982). Isto, contudo, depende da intensidade da queima.

Depois de um ano de cultivo a quantidade de carbono armazenada é menor entre 0 e 10cm, mas tende a aumentar em profundidade, tanto em relação ao pédon bem drenado como aos demais. Este fato pode estar ligado à migração de compostos orgânicos no interior do perfil ou à liberação de carbono sob forma humificada devido à decomposição das raízes.

TURENNE (1977) verificou que o teor de carbono nos horizontes superficiais é igual ou

maior que o encontrado sob floresta, tanto no primeiro ano de cultivo quanto no segundo, sob pousio. Essa discordância pode ser justificada pelas diferenças na quantidade de resíduos existentes após a queimada ou pelas condições particulares de oxidação decorrentes de mudanças microclimáticas.

Todavia, se, após um ano de cultivo, a diminuição na quantidade de carbono na superfície do solo (0-10cm), que é de aproximadamente 0,24g/cm², for compensada e até mesmo suplantada — caso se considere o conjunto de camadas de 0 a 100cm do pédon imperfeitamente drenado sob floresta —, depois de cinco anos de cultivo a quantidade armazenada até 100cm diminui quase 1kg/m², ou seja, 14% em comparação com o ecossistema natural padrão. Esta redução é mais pronunciada de 0-10cm (35%) e de 0-20cm (26%). Mesmo considerando-se o pédon da floresta que menos acumula carbono, o pédon imperfeitamente drenado, na profundidade de 0-20cm ou mesmo até 100cm, verifica-se que houve um decréscimo de 15% no primeiro caso e de 11% no segundo. Os efeitos do pousio também são marcantes. Segundo TURENNE (1977), a serrapilheira se reconstituiu no terceiro ano de pousio, quando o solo foi cultivado por um ano. No caso do presente estudo, onde o solo foi cultivado por dois anos e ficou em pousio por três anos, a serrapilheira corresponde a 76% do peso daquela do ecossistema natural. Portanto, é de se esperar que o pousio tenha forte influência na quantidade de carbono armazenada no solo, em consequência da decomposição da grande quantidade de resíduos vegetais, que são depositados pelas espécies de maior velocidade de crescimento da vegetação secundária.

Comparando-se a quantidade de carbono armazenado no solo sob pousio de três anos, após dois anos de cultivo, com a encontrada no solo cultivado durante cinco anos verifica-se que também há uma diferença de quase 1kg/m² até 100cm. Esta diferença se justifica tanto pela diminuição do teor de carbono sob cultivo prolongado quanto pelo aumento sob pousio, onde a quantidade de resíduos na superfície do solo é muito elevada. Em comparação ao ecossistema natural (pédon bem drenado) a diferença de carbono armazenado até 100cm de profundidade não chega a ser maior que 5%. Logo, pode-se deduzir que há diminuição acentuada no teor de carbono do solo entre o segundo e o quinto ano de cultivo. Como no solo sob pousio a quantidade desse elemento pouco difere da encontrada no ecossistema natural poder-se-ia pensar que o decréscimo não é acentuado no segundo ano de cultivo e o pousio de três anos pouco contribui para a elevação do teor de carbono ou, então, que o decréscimo é muito acentuado no segundo ano e o pousio de três anos promove sua recuperação. Essa última conclusão concordaria com as observações de TURENNE (1977).

Assim sendo, a quantidade de carbono armazenado poderia até ter aumentado durante o primeiro ano de cultivo, a expensas da forte decomposição dos resíduos remanescentes da queimada e das raízes das antigas árvores, aliada à maior atividade biológica. Todavia, como as mudanças microclimáticas favorecem a mineralização dos compostos orgânicos e tornam insuficiente o suprimento de resíduos, a quantidade de carbono sofreria uma redução acentuada durante o segundo ano de cultivo e uma redução menor nos anos seguintes, tendendo pos-

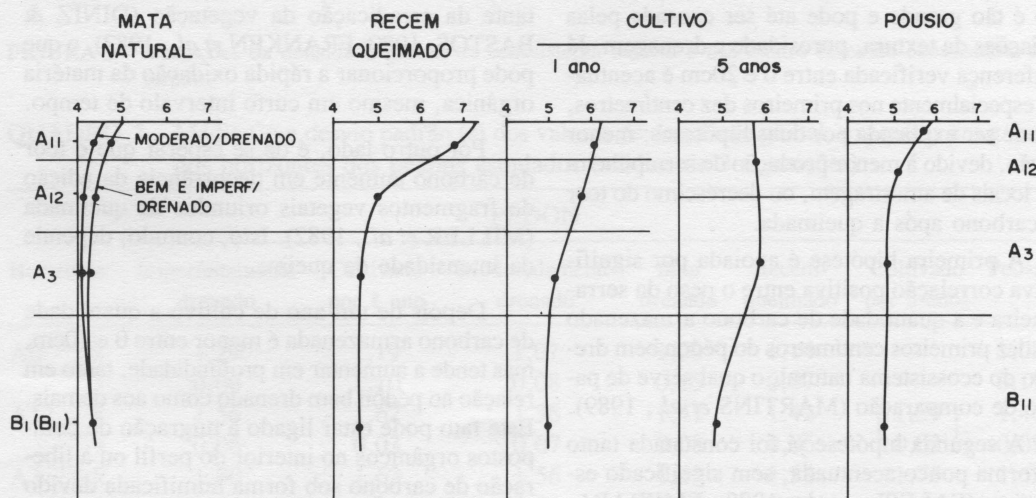


FIGURA 4 - Variações dos valores do pH do solo no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

teriormente ao equilíbrio. Se após o segundo ano o cultivo for interrompido pelo pousio, é provável que haja uma recuperação muito lenta da quantidade de carbono no primeiro ano e uma acentuação desta recuperação no segundo e terceiro anos de pousio.

3.5 Efeitos sobre o pH e o complexo de troca iônica

As figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam as variações dos valores de pH, da acidez total ($H + Al$) e da soma das bases trocáveis e do valor T na seqüência floresta-queimada-cultivo-pousio.

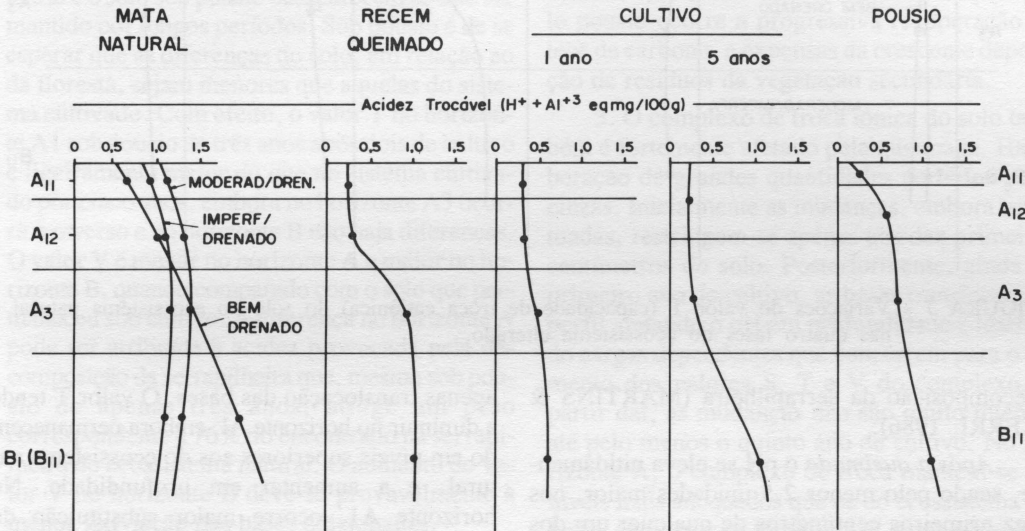


FIGURA 5 - Variações da acidez trocável ($H + Al$ trocáveis) do solo no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

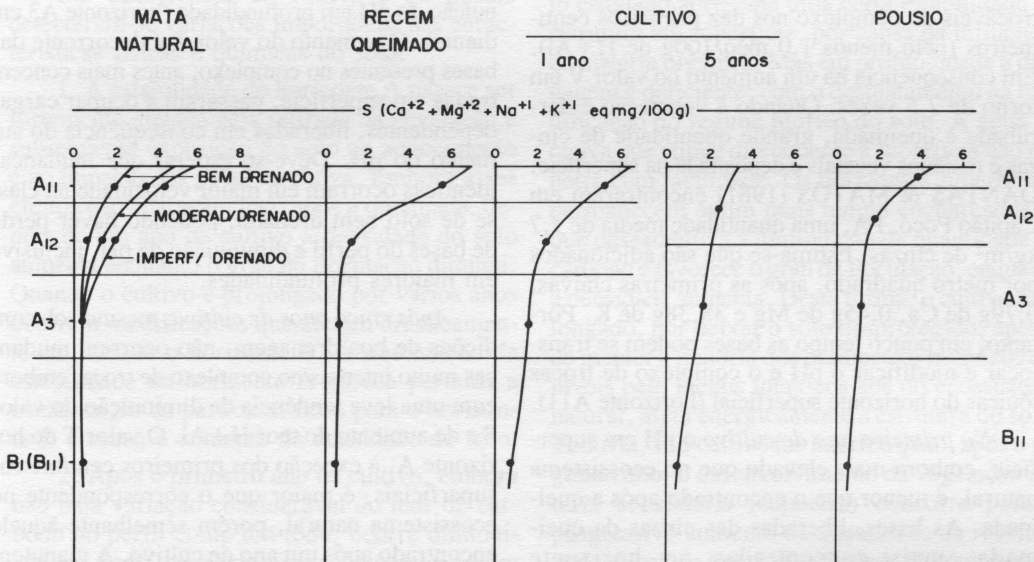


FIGURA 6 - Variações da soma de bases trocáveis do solo no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

No ecossistema natural o pH é 4,5 na superfície do solo, decresce até 4,0-4,5 nos horizontes A12 e A3 e volta a 4,5 no B1. A soma dos cátions H e Al apresenta valores máximos (1,5 me/100g) nos horizontes A12 e A3. As bases se concentram ao nível do horizonte su-

perficial (A11), principalmente onde a capacidade de troca de cátions é consideravelmente mais elevada que no restante do perfil. Isto ocorre devido ao alto teor de matéria orgânica em superfície, o qual, apesar de a mineralização ser elevada, é constantemente suprido pela

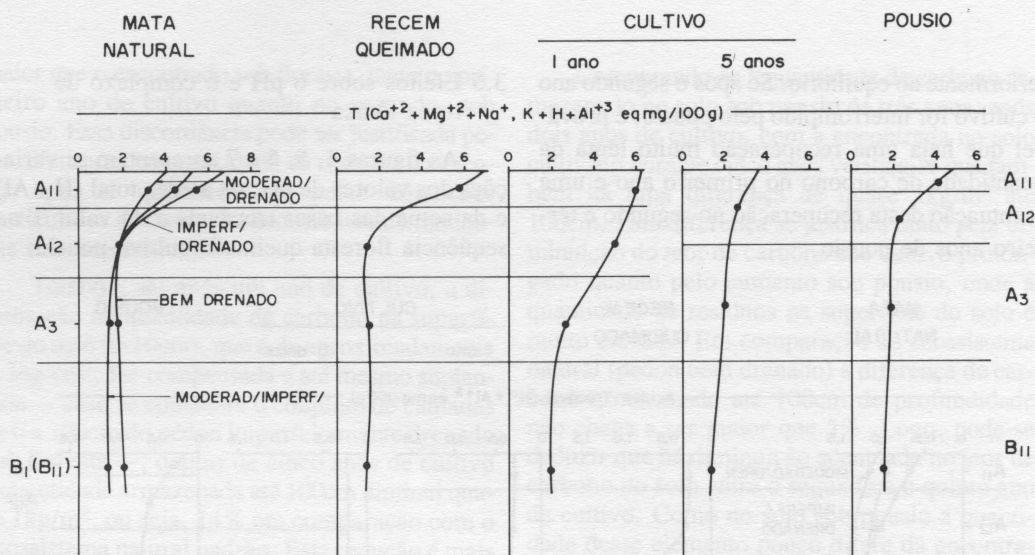


FIGURA 7 - Variações do valor T (capacidade de troca catiônica) do solo no ecossistema natural e nas quatro fases do ecossistema alterado.

decomposição da serrapilheira (MARTINS & CERRI, 1986).

Após a queimada o pH se eleva nitidamente, sendo pelo menos 2,5 unidades maior, nos dez primeiros centímetros de qualquer um dos pédons da floresta. O aumento das bases no complexo se dá na ordem $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ e as mesmas são responsáveis pela eliminação do H e Al trocáveis do complexo nos dez primeiros centímetros (pelo menos 1,0 meq/100g de H + Al). Em consequência há um aumento no valor V em torno de 2,5 vezes. Quando a vegetação é derubada e queimada, grande quantidade de cinzas e resíduos vegetais é depositada na superfície. DANTAS & MATOS (1981) encontraram em Capitão Poço, PA, uma quantidade média de 1,7 kg/m² de cinzas. Estima-se que são adicionados por metro quadrado, após as primeiras chuvas, 0,79g de Ca, 0,45g de Mg e 38,38g de K. Portanto, em pouco tempo as bases podem se translocar e modificar o pH e o complexo de trocas iônicas do horizonte superficial (horizonte A11).

No primeiro ano de cultivo o pH em superfície, embora mais elevado que no ecossistema natural, é menor que o encontrado após a queimada. As bases, liberadas das cinzas da queimada, mais concentradas no horizonte superficial, translocam-se para os horizontes subjacentes alterando o pH do solo em profundidade. O teor das bases trocáveis permanece pelo menos 1 me/100g mais elevado no horizonte A, em relação ao ecossistema natural, e aumenta pouco no horizonte B. O teor de H + Al, ao contrário, diminui em todo o perfil, especialmente no horizonte A1, elevando o valor V. No decorrer do primeiro ano de cultivo parece haver nos pédons imperfeita e moderadamente drenados

apenas translocação das bases. O valor T tende a diminuir no horizonte A1, embora permanecendo em níveis superiores aos do ecossistema natural, e a aumentar em profundidade. No horizonte A1, ocorre maior substituição do H + Al trocáveis, o que é facilitado pela ausência de acidez provocada pela decomposição da serrapilheira, a qual acarretaria também a diminuição do pH em profundidade (horizonte A3 em diante). O aumento do valor T é decorrente das bases presentes no complexo; antes mais concentradas em superfície, passaram a ocupar cargas dependentes, liberadas em consequência do aumento do pH. Deve-se esperar que mudanças idênticas ocorram em maior velocidade na classe de solo bem drenado, podendo haver perda de bases do perfil e diminuição de pH, inclusive em maiores profundidades.

Após cinco anos de cultivo, mesmo sob condições de boa drenagem, não ocorrem mudanças muito intensas no complexo de troca, embora com uma leve tendência de diminuição do valor S e de aumento do teor H + Al. O valor T do horizonte A, à exceção dos primeiros centímetros superficiais, é maior que o correspondente no ecossistema natural, porém semelhante àquele encontrado após um ano de cultivo. A manutenção do valor S e do teor de H + Al no horizonte A, em níveis mais adequados que os do ecossistema natural, mesmo depois de cinco anos de cultivo, pode ser atribuída à permanência dos efeitos da queimada, já que o teor de carbono não justifica uma maior adição de bases em decorrência da decomposição de matéria orgânica. Por outro lado, no horizonte B pode haver lixiviação das bases em magnitude idêntica à da translocação havida no primeiro ano, acarretando, com

isso, a ocorrência de valores idênticos aos do ecossistema natural.

Sabe-se que o pousio da terra propicia a regeneração da vegetação, causando, depois de muitos anos, o restabelecimento das condições originais do solo. Segundo MANARINO *et al.* (1982), as diferenças entre o solo sob floresta primária e o solo sob pousio desaparecem se este for mantido por longos períodos. Sob pousio é de se esperar que as diferenças do solo, em relação ao da floresta, sejam menores que aquelas do sistema cultivado. Com efeito, o valor T no horizonte A1 sob pousio de três anos após dois de cultivo é ligeiramente maior do que no sistema cultivado por cinco anos, embora no horizonte A3 ocorra o inverso e no horizonte B não haja diferenças. O valor V é menor no horizonte A e maior no horizonte B, quando comparado com o solo que permaneceu sob cultivo. A diferença no horizonte A pode ser atribuída à acidez provocada pela decomposição da serrapilheira que, mesmo sob pousio de apenas três anos, atinge um peso correspondente a 76% do encontrado na serrapilheira do ecossistema natural. O aumento do valor V no horizonte B deve-se provavelmente à menor lixiviação das bases adicionadas.

4 CONCLUSÕES

Em decorrência do cultivo e do pousio detectaram-se variações importantes nas características físicas e químicas do solo.

1. A estabilidade do horizonte A parece ser fortemente afetada pela retirada da vegetação e subsequente exposição do solo ao aquecimento e ao impacto das gotas da chuva. Embora esses efeitos não apareçam logo após a queimada, depois de um ano de cultivo a densidade do solo aumenta enquanto o grau de flocculação diminui. Quando o cultivo é prolongado por vários anos ocorrem modificações que afetam drasticamente até mesmo o horizonte B. A diminuição da estabilidade no horizonte A parece permitir a translocação de partículas finas para o horizonte B e causa o aumento da densidade do solo.

2. Após o primeiro ano de cultivo, embora não haja variação considerável do teor de carbono no perfil como um todo, ocorre diminuição na parte superior que é compensada em profundidade. Depois de vários anos de cultivo há diminuição na quantidade de carbono, causada pelas mudanças microclimáticas que favo-

recem a mineralização dos compostos orgânicos e a falta de adição de resíduos em grande escala, como ocorre sob condições naturais. Após cinco anos de cultivo há quase 1 kg/m³ menos de carbono que no ecossistema natural, o que corresponde a uma diminuição de 14%, sendo este decréscimo mais pronunciado nos primeiros dez centímetros. Caso o cultivo seja interrompido pelo pousio ocorre a progressiva recuperação do teor de carbono, a expensas da crescente deposição de resíduos da vegetação secundária.

3. O complexo de troca iônica do solo também é fortemente afetado pela queimada. Há liberação de grandes quantidades de bases pelas cinzas. Inicialmente as mudanças, embora acentuadas, restringem-se apenas aos dez primeiros centímetros do solo. Posteriormente, ainda no primeiro ano de cultivo, as bases translocam no perfil afetando o pH em profundidade e liberando cargas dependentes que concorrem para o aumento dos valores S, T e V do complexo. A partir daí, as mudanças não são muito intensas até pelo menos o quinto ano de cultivo. No horizonte A, o complexo de troca mantém-se em níveis mais adequados que os do ecossistema natural, enquanto no horizonte B parece haver lixiviação das bases, com retorno ao nível original.

4. Em resumo, sob condições naturais o solo estudado apresenta uma certa estabilidade da estrutura em superfície, por causa da influência da matéria orgânica. Mas em profundidade a drenagem é deficiente; com o desmatamento há modificação do regime hídrico do solo. A água da chuva que atinge diretamente a superfície não penetra com facilidade. Os horizontes superficiais permanecem assim mais tempo encharcados, o que desestabiliza a diminuição da quantidade de carbono e favorece o grau de flocculação, enquanto a densidade aumenta. Desta forma, o cultivo prolongado, por deixar o solo desprotegido, apesar de manter a maioria dos parâmetros químicos em níveis pelo menos idênticos aos do ecossistema natural, afeta energeticamente a estrutura do solo. Todavia, se o cultivo for interrompido, após o segundo ano, o desenvolvimento da vegetação natural secundária (capoeira) concorre para o progressivo aumento da quantidade de resíduos que, associado à elevada atividade biológica, é capaz, depois de três anos, de recuperar parcialmente o teor de carbono, com efeitos benéficos sobre a densidade e o grau de flocculação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRINKMANN, W.L.F. & NASCIMENTO, J.C. 1973 The effect of slash and burn agriculture of plant nutrients in the fertility region of Central Amazonia. *Acta Amazônica*, Manaus, 3(1):55-61.

CERRI, C.C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. 1988 Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro pós desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas.

- CHAUVEL, A. 1982 Os latossolos amarelos, alícos, argilosos dentro do ecossistema das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazônica*, Manaus, 12(3):47-60. (supl.)
- DANTAS, M. & MATOS, A.O. 1981 Estudos fito-ecológicos do trópico úmido brasileiro. III Conteúdo de nutrientes em cinzas de floresta e capoeira, Capitão Poço-PA. Belém, EMBRAPA/CPATU. 23p. (Boletim de Pesquisa, 24).
- DINIZ, T.D.A.S. & BASTOS, T.X. 1980 Efeito do desmatamento na temperatura do solo em região equatorial úmida. Belém, EMBRAPA/CPATU. 14p. (Boletim de Pesquisa, 7).
- EMBRAPA — EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA 1979 Manual de métodos de análises do solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.
- 1981 Sistemas de Produção com plantas perenes em consórcio duplo para o trópico úmido brasileiro: resultados preliminares. Belém, CPATU. 117p.
- FALESI, I.C.; BAENA, A.R.C.; DUTRA, S. 1980 Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense. Belém/CPATU. 49p. (Boletim de Pesquisa, 14).
- FRANCISCO B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F.; SILVA, G.G. 1971 Contribuição à geologia da folha São Luiz (SA 23) no estado do Pará. III Estratigrafia. IV Recursos Minerais. Belém, Museu Paraense Emilio Goeldi. 40p. (Boletim, 17).
- FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. 1982 Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazônica*, 12:327-331.
- GÓES FILHO, L.; VELOSO, H.P.; JAPIASSU, A.M.S.; LEITE, P.F. 1973 Estudo fitogeográfico da folha SA 23 São Luiz e SA 24 Fortaleza. IN: BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL/PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, DNPM. v.3.
- KIEHL, E.J. 1979 Manual de Edafologia: relações do solo-planta. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 264p.
- KUHLMANN, E. 1977 Vegetação. IN: FUNDAÇÃO DO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE. v.1. p.59-91.
- MANARINO, R.P.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. 1982 Comparação do húmus de capoeira e de floresta natural em latossolo amarelo da região amazônica, Brasil. IN: CERRI, C.C. et al., ed. Anais do Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo. Piracicaba, CENA-USP/PROMOCET. p.51-58.
- MARTINS, P.F.S. & CERRI, C.C. 1984 O solo de um ecossistema natural de floresta localizado na Amazônia Oriental. I Caracterização química e física. IN: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO. 1º, Belém, 1984. Anais. Belém, EMBRAPA/CPATU. v.1. p.271-286.
- MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B. 1989 O solo de um ecossistema natural de floresta localizada na Amazônia Oriental. II Fracionamento da matéria orgânica do horizonte A. Brasília, Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. (no prelo)
- MAURI, G. 1979 Plantules et régénération Forestière en Guyane Française. Premières constatations sur une coupe à blanc de 25 ha. IN: SCHIRLE, A. et al., ed. L'écosystème Forestier guyanais: étude et mise en valeur. Cayenne, ORSTOM. p.49-53.
- MILLER, R.H.; NICHOLAIDES, J.J.; SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E. 1982 Soil organic matter considerations in agricultural systems of the humid tropics. IN: CERRI, C.C. et al. ed. Anais do Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo. Piracicaba, CENA-USP/PROMOCET. p.105-110.
- NIMER, E. 1977 Clima. IN: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE. v.1. p.39-58.
- NUNES, A.B.; LIMA, R.F.F.; BARROS FILHO, C.N. 1973 Geologia da folha SA 23 São Luiz e parte da folha SA 24 Fortaleza. IN: BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL/PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, DNPM. v.3.
- REGO, R.S.; VIEIRA, L.S.; AMARAL FILHO, Z.P.; SANTOS, P.L.; LOPES, D.N.; REIS, C.M.; GAMA, J.R.N.F.; COSTA, N.F.; SERRUYA, L.M. 1973 Estudo detalhado do solo de uma área do município de Capitão

Poço-PA. Belém, Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Estado do Pará. 117p. (Série Cadernos Paraenses, 9).
SANTOS, O.M. & GRISI, B.B. 1981. Efeito do desmatamento na atividade dos microrganismos de solo de terra firme na Amazônia. Acta Amazônica, Manaus, 11:97-102.

TURENNE, J.F. 1977 Culture itinérante et jachère forestière en Guyane. Evolution de la matière organique. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., Paris, 15:449-461.

Manuscrito recebido em dezembro de 89

Trabalho realizado dentro do Convênio de Cooperação Científica Internacional ORSTOM/CNPq e Projeto Amazônia I — IAEA.

Endereço dos autores:

- Paulo Fernando da Silva Martins — Faculdade de Ciências Agrárias do Pará — 6.000 — Belém, PA — Brasil.
- Carlos Clemente Cerri — Centro de Energia Nuclear na Agricultura — Caixa Postal 96 — 13.400 — Piracicaba, SP — Brasil.
- Boris Volkoff — ORSTOM — Caixa Postal 1.857 — Yaounde — República dos Camarões.
- Francis Andreux — Centre de Pédologie Biologique, CNRS, Nancy, França.

ABSTRACT

Geological and petrological studies of the weathering profile over the copper mineralized zone of Serra da Galena, Brazil, show that the profile developed from original ore distribution, concentrated in the east, is mainly located in the mineralized phase, although the development of the profile is controlled by the weathering of the host rock. The profile is characterized by a sequence of layers: a thin layer of copper-rich material (KOL) at the base, followed by a layer of copper-poor material (KOLP), and finally a layer of copper-rich material (KOLR) at the top. The KOL layer is characterized by a high concentration of copper (up to 10%) and is associated with a high concentration of iron (up to 10%). The KOLP layer is characterized by a low concentration of copper (less than 1%) and is associated with a low concentration of iron (less than 1%). The KOLR layer is characterized by a high concentration of copper (up to 10%) and is associated with a high concentration of iron (up to 10%). The profile is controlled by the weathering of the host rock, which is a granitic gneiss. The weathering process is controlled by the presence of copper in the host rock, which is a granitic gneiss. The weathering process is controlled by the presence of copper in the host rock, which is a granitic gneiss.

INTRODUÇÃO

O depósito mineralizado em Serra da Galena (PA) é controlado por uma sequência de rochas metamórficas e ígneas (isto é, granito, anfibolito e biotita) e formações terciárias do Sistema Taubaté (Taubaté, 1981). Mineralização por sulfetos de cobre que ocorrem disseminadas em um nível milimétrico a centimétrico, concentradas em assembléias das rochas.

Este depósito é caracterizado por um perfil de alteração espesso, da ordem de algumas decenas de metros, formado de modo que a maioria das rochas são contidas dentro de uma zona. O perfil de alteração (Fig. 2) consiste de uma sequência de camadas de alteração: KOL (KOL) no topo, KOLP (KOLP) no meio e KOLR (KOLR) na base. O KOL é caracterizado por uma alta concentração de cobre (até 10%) e uma alta concentração de ferro (até 10%). O KOLP é caracterizado por uma baixa concentração de cobre (menos de 1%) e uma baixa concentração de ferro (menos de 1%). O KOLR é caracterizado por uma alta concentração de cobre (até 10%) e uma alta concentração de ferro (até 10%). O perfil é controlado pela alteração da rocha hospedeira, que é um granito gneiss. O processo de alteração é controlado pela presença de cobre na rocha hospedeira, que é um granito gneiss.

Trabalhos anteriores (Taubaté, 1981; PARÍS, 1981; PARÍS, 1982) concluíram que o perfil de alteração é controlado pela alteração da rocha hospedeira, que é um granito gneiss. O processo de alteração é controlado pela presença de cobre na rocha hospedeira, que é um granito gneiss.

Os principais minerais encontrados são mineralizados, principalmente, sulfetos de cobre, como a malachita, azurita e cuprita, além de minerais residuais, como a diagenese. Em geral, o perfil é uma sequência.

O perfil controlado no material mineralizado é devido a mineral de cobre original no