

NOTA

EFEITO DO EXTRATIVISMO SELETIVO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA FLORESTA ATLÂNTICA DE TABULEIROS NA MATÉRIA ORGÂNICA E OUTROS ATRIBUTOS DO SOLO⁽¹⁾

A. KINDEL⁽²⁾, P. M. S. BARBOSA⁽³⁾, D. V. PÉREZ⁽⁴⁾ & I. GARAY⁽⁵⁾

RESUMO

Pesquisas comparativas em fragmentos florestais que visem avaliar o efeito de diferentes impactos antrópicos sobre o solo são praticamente inexistentes. Assim, o objetivo principal deste trabalho foi caracterizar e comparar os horizontes orgânicos do solo em relação a algumas variáveis pedológicas sob mata primária e sob capoeira de idade avançada, com mais de 40 anos, resultado da seleção e extração de indivíduos arbóreos de valor comercial. Para isso, foram estudadas duas áreas de Mata Atlântica da região de Tabuleiros Terciários do norte do Espírito Santo: a Mata Alta, uma mata primária, e a Capoeira de Extração, uma mata secundária. Na Mata Alta, verificou-se débil acumulação orgânica superficial (4,0 t ha⁻¹), devida à rápida decomposição dos aportes orgânicos que caem sobre o solo. O primeiro horizonte do solo caracteriza-se pela presença de um subhorizonte de interface com as camadas foliares (A₁₁), mais rico em carbono e nutrientes que o subhorizonte A₁₂ subjacente, pela maior saturação por bases (entre 50 e 70%) e por apresentar uma relação C/N menor que 12. Nesta mata, verificou-se a estabilidade sazonal tanto dos estoques orgânicos como dos nutritivos. A Capoeira de Extração apresentou, em relação à mata não perturbada, maior acumulação do estoque superficial de matéria orgânica (5,5 t ha⁻¹, no verão, e 7,5 t ha⁻¹, no inverno), bem como maior conteúdo de carbono e de nutrientes no solo, principalmente no inverno, indicando um bloqueio na decomposição e na ciclagem de nutrientes. A retirada de determinadas espécies arbóreas, em princípio, pode explicar a diferença observada no processo de decomposição e na ciclagem de nutrientes.

Termos de indexação: fertilidade, Mata Atlântica de Tabuleiros, capoeira.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para obtenção do título de Mestre em Ecologia. Trabalho financiado pelo CNPq, pela sub-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação e pela Fundação José Bonifácio (FUJB). Recebido para publicação em junho de 1997 e aprovado em janeiro de 1999.

⁽²⁾ Aluna de Doutorado do Departamento de Geografia da UFRJ. Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, CCS, UFRJ. Ilha do Fundão, CEP 21941-590 Rio de Janeiro (RJ).

⁽³⁾ Bolsista de iniciação científica do CNPq (Departamento de Botânica/UFRJ).

⁽⁴⁾ Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos/RJ.

SUMMARY: *EFFECT OF SELECTIVE TIMBER HARVEST AT THE TABLE-LAND ATLANTIC FOREST ON THE ORGANIC MATTER AND OTHER PEDOLOGICAL PARAMETERS*

The main purpose of this work was to evaluate differences in the superficial organic accumulation in soil with regard to some pedological parameters of a secondary forest (older than 40 years) submitted to anthropic intervention, i.e., harvest of economically important tree species. Thus, the present work compares two sites of the "Tabuleiro" Atlantic Forest in northern Espírito Santo: a primary forest, the "Mata Alta", and a secondary forest, the "Capoeira de Extração". The organic matter accumulation below the "Mata Alta" is relatively low (4.0 t ha^{-1}), as a result of the fast decomposition of the foliar debris. Within the A horizon, the base saturation is about 50-70% and the C/N ratio is 12. Its main feature is the presence of an interface horizon between the litter layers and the first hemiorganic horizon (A_{11}), where most of the nutrients and organic matter are concentrated. Here a seasonal stability of the organic matter accumulation was observed. The "Capoeira de Extração" had a higher organic accumulation (5.5 t ha^{-1} in the summer and 7.5 t ha^{-1} in the winter), and higher values of carbon and nutrients in soil as compared with the undisturbed forest soil. These results showed an interruption in the decomposition process and the nutrient turnover, which may be related to the harvesting of certain tree species.

Index terms: fertility, "Capoeira".

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica depositada sobre o solo - o folhiço - juntamente com a matéria orgânica já bastante degradada e incorporada ao solo *sensu strictu* constituem o húmus (Toutain, 1981; Garay & Silva, 1995). Esse tipo de caracterização das formas de húmus pretende relacionar as características da cobertura vegetal, natural ou modificada, com a dinâmica da decomposição da matéria orgânica. O primeiro pesquisador a fazer uma associação entre os diferentes sistemas e o processo de humificação foi Müller, em 1887 (Brun, 1978).

Os perfis húmicos são divididos em horizontes, que representam os sucessivos estádios de transformação do folhiço. Dessa forma, Hesselmann, em 1926, propôs a subdivisão macromorfológica do húmus em horizontes que se diferenciam pelos distintos graus de decomposição dos restos vegetais: **L**, camada de litter; **F**, camada de folhas fragmentadas, e **H**, camada constituída quase que inteiramente por material orgânico fino e raízes; abaixo desses encontra-se o horizonte mineral com presença de substâncias orgânicas (Babel, 1974). A presença ou não dessas diferentes camadas pode ser interpretada como resultado de diferentes velocidades de decomposição. Isto significa que a acumulação de resíduos orgânicos superficiais será maior, quando a velocidade de decomposição é menor, e vice-versa (Babel, 1974; Toutain, 1981). Certamente que, para conclusões deste tipo, é essencial que se conheça a grandeza do aporte vegetal, porque o

material que fica acumulado sobre o solo é determinado pela diferença entre a entrada por meio do aporte e a perda por meio da decomposição (Swift et al., 1979).

Foi principalmente através da escola dita micromorfológica, em que lâminas de húmus eram estudadas em microscópio, que se evidenciou o papel dos organismos na humificação e na pedogênese. Com isso surgiram imensos progressos no conhecimento das relações entre os organismos e a matéria orgânica que eles transformam, sendo Kubiena uns de seus principais contribuintes (Toutain, 1984).

Nesta perspectiva, os diferentes tipos de húmus: como o mull, de decomposição rápida, e o moder, de decomposição lenta, têm suas estruturas influenciadas por diversos fatores: a qualidade e a quantidade do material vegetal, a ação específica da fauna edáfica e o tipo de substrato mineral e da rocha-mãe, influenciadas pelas condições físico-químicas do meio edáfico (Toutain, 1981). Assim como o solo, o húmus, síntese da interação vegetação-solo, não é um meio estável, mas evolui até alcançar o equilíbrio com o meio externo. Por isso, o húmus é considerado clímax em sistemas não perturbados, podendo servir como diagnóstico das alterações produzidas pelo uso dos solos (Duchaufour & Toutain, 1985).

Acredita-se que a ciclagem de nutrientes aumenta nas baixas latitudes por causa do aumento da precipitação e da temperatura (Swift et al., 1979). No entanto, Anderson et al. (1983) encontraram em Floresta Pluvial da Malásia taxas de decomposição

e estoques de matéria orgânica e de elementos químicos no solo semelhantes às de regiões temperadas. Neste caso, fatores locais, como a concentração de nutrientes e de lignina no litter, a baixa atividade da fauna edáfica e a retenção de água no solo, parecem prevalecer sobre as condições climáticas gerais. Da mesma forma, Garay et al. (1995c); Garay & Kindel (no prelo) encontraram 25 t ha⁻¹ de matéria orgânica depositadas sobre o solo da restinga de Maricá no Rio de Janeiro, fato atribuído à alta relação C/N das folhas, que levam à decomposição lenta e à pobreza em elementos finos como a argila nestes solos.

Outra causa do acúmulo de matéria orgânica sobre o solo é devido ao efeito antrópico, como demonstraram Grubb et al. (1994). Em Singapura, uma floresta secundária é dominada por uma espécie arbórea (*Adinandra dumosa*) com baixos conteúdos de nitrogênio e fósforo, o que leva à baixa velocidade de decomposição das folhas e, conseqüentemente, ao acúmulo de folhíço.

Numa floresta primária sobre Podzólico da Floresta Atlântica de Tabuleiros no norte do Espírito Santo, a decomposição do folhíço é rápida, sendo menor que um ano (Garay et al., 1995a, b; Garay & Kindel, 1995; Louzada et al., 1997). Parece, portanto, interessante comparar dois sítios localizados neste ecossistema, tendo um deles sofrido extrativismo seletivo de espécies arbóreas de valor comercial.

Este trabalho objetivou não só verificar o que acontece com o acúmulo de folhíço sobre o solo e com a condição nutricional deste após praticamente 50 anos de recuperação da mata interferida, mas também avaliar se a queda de folhas, nos dois sistemas, é da mesma ordem de grandeza e o solo e a vegetação similares (Kindel et al., 1995; Kindel, 1996; Louzada et al., 1997; Rizzini et al., 1997; EMBRAPA, 1998).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das áreas de estudo - O clima geral, segundo Köppen, corresponde ao grupo Aw, sendo quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação anual é de 1.100 mm. A temperatura média anual é de 23°C (máxima e mínima anual de 34 e 15°C, respectivamente) e a umidade relativa do ar é de 83% (média de dez anos; dados coletados na estação meteorológica da própria reserva). Os sítios de estudo enquadram-se na caracterização de Floresta dos Tabuleiros Terciários. Tal complexo estende-se de Pernambuco ao Rio de Janeiro e situa-se sobre os Tabuleiros da Formação Barreiras (Rizzini, 1997). De acordo com Peixoto & Gentry (1990), esta formação vegetal é denominada Floresta Ombrófila Semidecídua (Rizzini, 1997).

Ambos os sítios de estudos encontram-se na Reserva Florestal de Linhares (RFL), pertencente à Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Essas áreas foram adquiridas pela CVRD na década de 50, juntamente com outras propriedades para a formação da RFL, no intuito de se fazer uma reserva de madeira para a produção de dormentes, o que nunca se concretizou. A mata nativa, localmente denominada de Mata Alta, ocupa aproximadamente 63% dos 22.000 hectares da reserva e é considerada não perturbada (primária), pois não apresenta quaisquer dados históricos sobre passagem de fogo ou exploração de madeira (Jesus, 1987). Segundo este autor, as florestas secundárias da reserva são de dois tipos: ou sofreram extrativismo seletivo com a retirada de madeiras de lei da mata nativa ou são capoeiras resultantes de áreas totalmente desmatadas (Jesus, 1987). A mata interferida aqui estudada pertence ao primeiro caso.

A Mata Alta (MA) apresenta 1.147 indivíduos por hectare com diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 6,3 cm, sendo Leguminosae, Myrtaceae e Sapotaceae as famílias mais representativas em número de espécies. Na mata secundária, aqui chamada de Capoeira de Extração (CE), as famílias mais representativas são as mesmas, assim como o número de indivíduos por hectare é muito semelhante 1.155. Porém, o número de espécies comuns entre os dois sistemas é apenas de 56, quando se considera o total de parcelas estudadas que somam 3/8 de um hectare. Como esperado, a estrutura morfológica de tamanho no sistema interferido apresenta frequência bem mais baixa de indivíduos com DAP acima de 60 cm (na MA o DAP máximo foi de 121 cm), assim como uma quase ausência de indivíduos acima de 27 m de altura (na MA, a altura máxima foi de 40 m). A ausência de indivíduos muito altos e grossos e a presença de tocos evidenciam o caráter secundário da CE (Rizzini et al., 1997). O aporte total de matéria orgânica (folhas, galhos e material reprodutivo) na MA é de 8,5 t ha⁻¹, sendo na CE praticamente o mesmo, 8,4 t ha⁻¹ (Louzada et al., 1997).

De acordo com recente mapeamento feito na RFL, os solos sob as matas estudadas foram classificados como Podzólicos Amarelo álico abruptos. Esta classe é constituída de solos com horizonte A moderado e B textural, sendo a transição entre os dois abrupta. São solos bem drenados com textura variando de arenosa no A e média a argilosa no B. Esses solos revelam a capacidade de troca catiônica e soma de bases baixas, pois são dominados por argilas de atividade baixa (EMBRAPA, 1998).

Métodos - Foram delimitadas três parcelas permanentes de 25 x 50 m em cada área estudada: a Mata Alta (MA) e a Capoeira de Extração (CE). As amostragens foram feitas no interior destas parcelas e consistiram na coleta das camadas foliares e dos primeiros horizontes superficiais do solo. No total,

foram coletadas, no verão, quatro amostras em cada uma das três parcelas por área de estudo, totalizando doze amostras por área. No inverno, o número de amostras foi de dezesseis. Para os restos foliares depositados sobre o solo, utilizou-se um quadrado de 50 x 50 cm. Dando continuidade à amostragem, dentro de cada quadrado de onde foram retiradas as folhas, camadas holorgânicas, fez-se a coleta do primeiro horizonte organomineral. Para as camadas hemiórgânicas, um quadrado de 25 cm de lado, para o subhorizonte A_{11} , e um cilindro com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para o subhorizonte A_{12} (Malagon et al., 1989).

No laboratório, as camadas foliares foram separadas dos outros constituintes orgânicos (raízes, frutos e galhos) e secas a 60°C, para posterior pesagem. A percentagem de matéria orgânica das camadas foliares foi estimada por meio da incineração em mufla a 550°C por quatro horas. Os horizontes correspondentes às amostras de solo, subhorizontes A_{11} e A_{12} , foram secos e peneirados no laboratório. O subhorizonte A_{11} corresponde aos 2 cm superficiais do horizonte A_1 em contato com as folhas, sendo nitidamente mais orgânico e apresentando uma estrutura mais ou menos compactada. O subhorizonte A_{12} corresponde à parte inferior do horizonte A_1 , moderada ou parcialmente colorida pela matéria orgânica, apresentando uma estrutura mais compacta que a anterior. A fração superior a 2 mm divide-se em agregados, raízes e material orgânico. As frações inferiores a 2 mm (fração fina), assim como os agregados (fração agregada), foram enviadas para o Centro Nacional de Pesquisas de Solos (EMBRAPA, Jardim Botânico, RJ), onde foram realizadas as análises químicas e físicas do solo. Para os agregados, foram feitas amostras compostas, ou seja, de três (verão) ou de quatro (inverno) amostras coletadas compunha-se uma, que era enviada para análise. As análises de solo foram efetuadas segundo métodos utilizados pela EMBRAPA - CNPS, Rio de Janeiro (EMBRAPA, 1979).

Para testar a significância entre duas médias de amostras independentes, utilizou-se o teste t de Student após normalização dos dados pela transformação $x = \sqrt{x}$ (Cancela Da Fonseca, 1965). Quando o "n" amostral foi muito pequeno, no caso inferior ou igual a quatro, fez-se uso do teste não-paramétrico de Mann-Whitney (U), que constitui alternativa extremamente útil da prova paramétrica t, para comparar duas séries de dados independentes, quando não se pode atender a todas as exigências impostas por este teste (Siegel, 1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tipo de húmus da floresta nativa é caracterizado pelo rápido desaparecimento das

folhas em decomposição, de modo que, em determinadas épocas do ano, alguns pontos ficam descobertos. O húmus mull mesotrófico encontrado na MA foi descrito por Garay et al. (1995a,b) e Garay & Kindel (1995): existe pequena acumulação orgânica superficial e descontinuidade entre as camadas foliares e o solo (seqüência camada L, camada F e horizonte A_1). A ausência da camada H, composta por matéria orgânica menor que 2 mm, material mineral e um emaranhado de raízes, é a principal característica de um húmus tipo mull. A análise química do horizonte A, subhorizontes A_{11} e A_{12} , mostra um solo relativamente fértil, com, respectivamente 57 e 46% de percentagem de saturação por bases e uma relação C/N de 12, indicando uma matéria orgânica bastante evoluída. A característica mais marcante desse húmus é a presença de um horizonte de interface, entre os restos foliares e o solo *sensu strictu* (subhorizonte A_{11}), que acumula tanto carbono como nutrientes.

Camadas holorgânicas - A acumulação de matéria orgânica superficial (foliar) aparece como característica distintiva na mata secundária (Figura 1). As camadas de folhas empilhadas sobre o primeiro horizonte pedológico *sensu strictu* A_1 , tanto no verão como no inverno, foram superiores nos solos da CE. A CE tem, no total, 1,55 t ha⁻¹ e 3,74 t ha⁻¹ a mais de matéria orgânica (folhas inteiras, fragmentadas e matéria orgânica fina), no verão e no inverno, respectivamente, que a mata primária, com 4 t ha⁻¹, em média, nas duas estações estudadas. A maior acumulação observada na CE se deve à presença de uma pequena camada composta por restos foliares e material fino entremeada por raízes (camada F_2). Essa quantidade de raízes na CE é significativamente superior à da MA (0,32 t ha⁻¹ v. 0,05 t ha⁻¹).

Considerando que o aporte orgânico foliar nas duas áreas é semelhante, 5,90 t ha⁻¹ na MA e 5,14 t ha⁻¹ na CE, e que a fenologia de seus aportes está diretamente relacionada com a variação da precipitação ao longo do ano, estando concentradas no inverno regional para ambas as matas (Louzada et al., 1997), fica constatado que a débil acumulação orgânica sobre o primeiro horizonte pedológico A na MA evidencia o funcionamento caracterizado pelo desaparecimento rápido das folhas e de seus componentes e conseqüentemente rápida incorporação orgânica ao solo. O contrário ocorre na mata que sofreu intervenção antrópica, ou seja, o acúmulo de matéria orgânica permite levantar a hipótese de uma menor velocidade de decomposição na mata secundária (Duchaufour & Toutain, 1985; Berthelin et al., 1994; Garay & Silva, 1995). Este fato pode ser corroborado pelo tempo levado para 50% do material se decompor ($t_{50\%}$) que é de 0,81 na MA e de 1,15 no verão e 1,47 no inverno na CE (Louzada, com. pess.; Kindel et al., 1995; Kindel, 1996; Louzada et al., 1997).

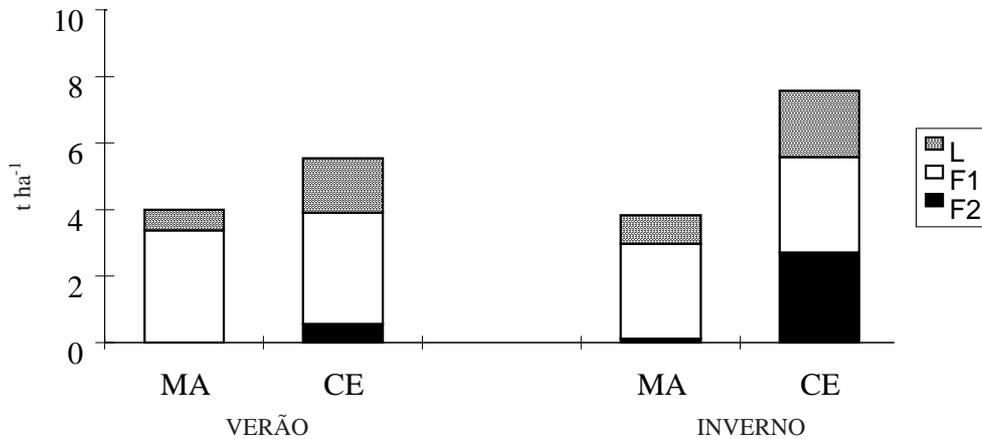


Figura 1. Comparação dos horizontes holorgânicos da Mata Alta (MA) com os da Capoeira de Extração (CE) no verão e no inverno. L: camada de folhas inteiras, F1: camada de folhas fragmentadas, F2: camada composta de quantidades iguais de folhas fragmentadas e de matéria orgânica fina (< 2 mm) entremeadada por um pouco de raízes.

Um estudo realizado em floresta primária e secundária na Reserva Natural de Bukit Timah, em Singapura, também mostra acumulação orgânica superficial na mata interferida (*Adinandra belukar*, 21 t ha⁻¹ total) em relação à floresta primária (12 t ha⁻¹ total). A mata secundária resultante é dominada por espécies de *Adinandra dumosa*, (Theaceae) relativamente pobres em nitrogênio e fósforo, o que dificulta o processo de decomposição (Grubb et al., 1994). A acumulação de restos orgânicos, porém, pode ser observada também em ecossistemas nativos. Garay et al. (1995a,b,c), Garay & Kindel (1995; no prelo) encontraram depositadas sobre o solo, quantidades de matéria orgânica que vão de 10 a 25 t ha⁻¹ em ecossistemas de Restinga/RJ e 22 t ha⁻¹, na Mata de Mussununga, ecossistema da Floresta Atlântica de Tabuleiros situado sobre um Podzol. Nestes últimos casos, são vários os fatores que ocasionam o tipo de húmus encontrado: a alta relação C/N medida no folhicho acumulado ou a pobreza em nutrientes e em argila no solo ou ambos.

Granulometria do horizonte A₁ - Apesar de as classificações obtidas para os dados de granulometria do solo da MA (franco-arenoso - areia franca para ambos os subhorizontes A₁₁ e A₁₂) e da CE (franco-arenoso no A₁₁ e franco-arenoso - areia franca no A₁₂) estarem próximas, os testes estatísticos indicam algumas diferenças para as distintas frações, consideradas separadamente (Quadro 1). Os conteúdos de areia foram menores no solo da CE que na MA, para ambos os subhorizontes (80% na MA e 72% na CE para o A₁₁ e 88% na MA e 81% na CE para o A₁₂), e os conteúdos de argila foram menores na MA (8% na MA e 14% na CE para o A₁₁ e 7% na MA e 12% na CE para o A₁₂, $\alpha = 0,001$). Parece que o impacto antrópico se reflete nos resultados granulométricos, levando à dispersão das frações finas na área de capoeira, provavelmente causada

pela desestruturação dos montículos argilosos ou murunduns frequentes na MA. Em uma parcela de um hectare demarcada na MA, foram encontrados 22 murunduns. A porcentagem média de argila para o solo adjacente a um metro dos murunduns é de 11%, para o subhorizonte A₁₁, e de 14%, para o subhorizonte A₁₂ (Costa & Garay, 1995), o que evidencia a influência dos murunduns no solo, já que a porcentagem de argila no horizonte superficial da MA é em torno de 8% de argila (Quadro 1).

A composição granulométrica dos agregados retirados do solo da MA e da CE (Quadro 1) mostra mais argila que a dos solos adjacentes. Isto pode ser explicado pelo fato de a argila, substância agregante, contribuir para sua formação, propiciando a união entre os grãos (Grohmann, 1972). A quantidade em peso de agregados equívale a 18% (verão) e 10% (inverno) do total de solo amostrado na MA e a 30% (verão) e 28% (inverno) na CE. De acordo com Silva & Mielniczuk (1997), vários são os trabalhos que enfatizam a importância das raízes como agentes de agregação. É possível que estas quantidades estejam relacionadas com os maiores estoques de raízes distribuídos nos subhorizontes A₁₁ e A₁₂ na CE (8,3 t ha⁻¹) em relação à MA (4,9 t ha⁻¹).

No subhorizonte A₁₁, apesar de a MA ter 40% de areia grossa mais areia fina e a CE ter 54%, existe somente diferença significativa com relação à areia fina cuja porcentagem foi maior na CE. No subhorizonte A₁₂, a fração silte mais argila somou 23% na MA e 35% na CE. A porcentagem de areia grossa foi maior em 16% na MA e as de areia fina e argila foram maiores em 4 e 10% na CE. A composição textural dos agregados seguiu as mesmas tendências que a fração fina analisada anteriormente: o subhorizonte A₁₂ da MA é mais arenoso que o da CE, decorrente da desestruturação dos murunduns como sugerido anteriormente (Quadro 1).

Quadro 1. Granulometria dos subhorizontes A₁₁ e A₁₂ e de seus respectivos agregados na Mata Alta e na Capoeira de Extração

Fração	Mata Alta		Capoeira de Extração		MA x CE	
	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₁	A ₁₂
%						
Fração fina						
Areia	73,17	79,75	61,92	69,42	***	***
Grossa	(2,55)	(1,02)	(2,31)	(1,50)		
Areia	6,67	8,67	10,25	11,17	***	o
Fina	(0,64)	(0,58)	(0,49)	(0,75)		
Silte	12,00	4,42	13,58	6,92	o	*
	(1,41)	(0,38)	(1,37)	(0,94)		
Argila	8,17	7,17	14,25	12,50	***	***
	(0,59)	(0,39)	(0,71)	(0,60)		
Agregados						
Areia	25,33	62,25	35,00	46,00	o	*
Grossa	(6,94)	(1,06)	(0,35)	(2,45)		
Areia	14,33	14,50	18,75	18,33	*	*
Fina	(0,41)	(1,06)	(0,35)	(0,82)		
Silte	34,33	5,75	17,75	8,67	o	o
	(4,89)	(0,0)	(1,41)	(0,82)		
Argila	26,00	17,5	28,50	27,00	o	*
	(2,45)	(0,0)	(0,71)	(0,82)		

MA vs CE: teste t entre os sítios Mata Alta e Capoeira de Extração. $\bar{x} \pm s/\sqrt{n}$. o: $\alpha > 0,05$; *: $\alpha = 0,05$; **: $\alpha = 0,01$ e ***: $\alpha = 0,001$.

Análises químicas da fração fina do horizonte A₁

Comparação sazonal - O subhorizonte A₁₁ é nitidamente mais orgânico e com maiores percentagens de nitrogênio e concentrações de bases trocáveis que o subhorizonte A₁₂. O carbono orgânico, por exemplo, foi quatro a cinco vezes maior no subhorizonte A₁₁ que no subhorizonte A₁₂ e o teor de bases trocáveis entre duas a quatro vezes maior (Quadro 2). Percebe-se, como característica comum para as duas áreas, que, dentre os cátions de troca, o Ca⁺⁺ é o elemento mais representativo para os relativos altos valores de soma de bases (SB), sendo o Na⁺ e o K⁺ os que apresentam as menores quantidades. Segundo Castro et al. (1972), o teor de potássio está ligado ao regime pluviométrico e ao grau de evolução do solo. Os valores de K⁺ observados nos solos das áreas de estudo foram inferiores a 0,35 cmol_c kg⁻¹, indicando a deficiência nesse elemento.

De modo geral, não houve variação estacional nos parâmetros edáficos do primeiro horizonte hemiórgânico da MA, comprovando-se, desta forma, certa estabilidade da fertilidade do solo. Já no subhorizonte A₁₁ da CE, tanto o Ca⁺⁺ como o Mg⁺⁺ e o K⁺ aumentaram suas quantidades do verão para o inverno, elevando a SB de 14 cmol_c kg⁻¹ para 20 cmol_c kg⁻¹, o que não ocorreu no subhorizonte mais

profundo A₁₂ (Quadro 2). No entanto, em ambos os subhorizontes da capoeira, o carbono e o nitrogênio orgânico aumentaram seus conteúdos no inverno em até 50%, enquanto o fósforo disponível chegou a triplicar suas quantidades.

Houve, ainda, uma relação positiva entre o conteúdo de carbono e os valores da capacidade de troca catiônica (CTC), para as duas situações (MA e CE), enfatizando a importância da matéria orgânica na capacidade de retenção de nutrientes. A matéria orgânica e a argila são os constituintes do solo responsáveis pela absorção dos cátions, considerando sua superfície dotada de cargas negativas. Como os solos tropicais são, normalmente, pobres em argilas ativas, a matéria orgânica passa a desempenhar este papel no complexo de troca do solo - a matéria orgânica apresenta de 20 a 70% da CTC de determinados solos (Swift & Sánchez, 1984).

Comparação entre os sítios - Para as amostragens de verão, os conteúdos de carbono orgânico e os de nitrogênio total na fração fina dos subhorizontes A₁₁ e A₁₂ foram maiores na CE que na MA (Quadro 2). No entanto, com relação à soma de bases, poucas foram as diferenças entre o ecossistema primário e a floresta secundária.

A tendência à acumulação de matéria orgânica e de nutrientes na CE acentua-se na época mais seca, o inverno. Se, para o caso do carbono e do nitrogênio, as diferenças já eram significativas na época das chuvas, os demais nutrientes (a soma de bases e o fósforo) passam a apresentar também aí, na CE, seus maiores conteúdos ($\alpha = 0,001$). Tais resultados levariam a crer que as condições edáficas da CE são melhores que na MA, o que deve ser terminantemente desconsiderado quando tais dados são interpretados como decorrência do bloqueio no processo de decomposição evidenciado anteriormente.

Análise química da fração agregada - Os dados analíticos referentes aos agregados contidos no solo da MA e da CE (Quadro 3) mostram que não houve variação sazonal entre os conteúdos de carbono e nutrientes dos dois subhorizontes, seguindo o padrão encontrado para os resultados das análises químicas da fração fina na MA. Esses elementos acompanharam os valores mais altos ou mais baixos constatados para o solo dos subhorizontes correspondentes, de acordo com a profundidade deste: eles são maiores no subhorizonte superficial A₁₁ e menores no subhorizonte A₁₂. Como no caso da fração fina, o Ca²⁺ e o Mg²⁺ são os cátions que mais contribuem com as importantes concentrações de bases totais encontradas nos agregados.

Na MA, a percentagem de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes, assim como os demais parâmetros edáficos relacionados com seus conteúdos, tais como a percentagem de saturação por bases (%V), a CTC e a SB foram sempre maiores

Quadro 2. Características químicas dos suborizontes A₁₁ e A₁₂ no verão (v) e no inverno (i) na Mata Alta e na Capoeira de Extração

	A ₁₁									A ₁₂							
	Mata Alta			Capoeira de Extração			MA vs CE			Mata Alta			Capoeira de Extração			MA vs CE	
	v	i	t	v	i	t	v	i		v	i	t	v	i	t	v	i
C (dag kg ⁻¹)	2,94 (0,46)	3,71 (0,48)	o	4,48 (0,42)	6,56 (0,57)	**	**	***	0,75 (0,09)	0,71 (0,07)	o	0,94 (0,04)	1,43 (0,10)	***	*	***	
N (dag kg ⁻¹)	0,28 (0,04)	0,31 (0,04)	o	0,41 (0,05)	0,58 (0,06)	*	*	***	0,09 (0,01)	0,08 (0,01)	o	0,11 (0,01)	0,15 (0,01)	***	*	***	
P (mg kg ⁻¹)	9,83 (1,01)	14,31 (1,63)	*	8,25 (0,65)	26,00 (1,79)	***	o	***	2,25 (0,18)	2,50 (0,27)	o	1,50 (0,19)	4,13 (0,27)	***	**	***	
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	8,84 (1,46)	8,64 (1,23)	o	11,13 (1,33)	15,79 (1,61)	*	o	***	2,13 (0,41)	1,55 (0,27)	o	3,08 (0,49)	3,46 (0,49)	o	o	***	
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,58 (0,24)	2,06 (0,28)	o	2,31 (0,25)	3,63 (0,37)	**	*	***	0,53 (0,04)	0,46 (0,06)	o	0,66 (0,04)	0,78 (0,09)	o	*	*	
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,09 (0,02)	0,13 (0,02)	o	0,13 (0,02)	0,16 (0,01)	o	o	o	0,04 (0,00)	0,04 (0,00)	o	0,07 (0,01)	0,05 (0,00)	o	*	o	
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,23 (0,03)	0,26 (0,03)	o	0,27 (0,02)	0,6 (0,0)	***	o	***	0,07 (0,00)	0,06 (0,00)	o	0,1 (0,0)	0,14 (0,01)	**	***	***	
SB (cmol _c kg ⁻¹)	10,7 (1,7)	11,1 (1,5)	o	13,8 (1,5)	20,2 (1,9)	*	o	***	2,8 (0,4)	2,1 (0,3)	o	3,9 (0,5)	4,4 (0,6)	o	o	***	
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	14,0 (1,6)	15,9 (1,8)	o	17,2 (1,9)	27,3 (2,1)	***	o	***	4,5 (0,4)	3,8 (0,4)	o	5,6 (0,5)	7,2 (0,6)	*	o	***	
V (%)	72,8 (4,3)	68,0 (2,1)	o	80,7 (3,7)	72,3 (2,1)	*	o	o	58,8 (5,2)	53,5 (2,8)	o	68,6 (5,1)	60,6 (5,2)	o	o	o	
C/N	11	12	*	11	11	o	o	o	8	9	o	9	10	o	o	o	
pH	6,3 (0,2)	5,9 (0,1)	*	6,4 (0,1)	6,1 (0,1)	o	o	o	5,9 (0,2)	5,7 (0,1)	o	6,2 (0,2)	6,0 (0,2)	o	o	o	

$\bar{X} \pm \alpha s/\sqrt{n}$. t: Teste t de Student. MA vs CE: teste t entre os sítios Mata Alta e Capoeira de Extração. SB: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺; CTC: capacidade de troca catiônica; V: percentagem de saturação por bases. n = 12 (verão) e n = 16 (inverno) o: $\alpha > 0,10$; *: $\alpha = 0,05$; **: $\alpha = 0,01$ e ***: $\alpha = 0,001$

nos agregados que na fração fina do solo circundante (11 cmol_c kg⁻¹, em média, de SB na fração fina e 23 cmol_c kg⁻¹, em média, de SB nos agregados, no A₁₁ da MA). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Garay et al. (1995a, b) na mesma área, que mostram que existe um gradiente no acúmulo de carbono e nutrientes, que vai dos agregados do suborizonte A₁₁, passando pela fração fina do suborizonte A₁₁ e pelos agregados do suborizonte A₁₂ e, finalmente, tendo suas menores quantidades na fração fina do suborizonte A₁₂. Com relação à mata interferida, os resultados obtidos estiveram parcialmente de acordo com o descrito anteriormente, porque no horizonte superficial (A₁₁), tanto o carbono como a maioria dos nutrientes apresentaram a mesma concentração, seja nos agregados, seja na fração fina, provavelmente por causa da desestruturação do horizonte superficial quando do corte e da retirada das árvores. Valores semelhantes foram observados para a maioria dos parâmetros edáficos relativos aos agregados da MA

e da CE, tanto no suborizonte A₁₁ como no suborizonte A₁₂, em ambas as estações de coleta (Quadros 2 e 3).

A presença de agregados nos suborizontes estudados mostra a boa estruturação superficial apresentada por estes solos, o que contribui seguramente para melhor circulação da água e de compostos gasosos. Chamou-se a atenção para o fato de os agregados concentrarem carbono e nutrientes, apresentando valores maiores que a fração fina circundante, além de ter sido verificada a constância desses valores entre as estações de coleta. Sendo assim, a hipótese de um papel regulador desta fração no ciclo de nutrientes pode ser formulada. Por outro lado, a existência de agregados revela não somente a formação de complexos argilo-húmicos, apesar de serem solos altamente intemperizados, mas também atividade biológica específica, notadamente de fungos da podridão branca e de térmitas (Garay & Silva, 1995).

Quadro 3. Características químicas dos agregados contidos nos subhorizontes A₁₁ e A₁₂ no verão (v) e no inverno (i) na Mata Alta e na Capoeira de Extração

	A ₁₁									A ₁₂								
	Mata Alta			Capoeira de Extração			MA vs CE			Mata Alta			Capoeira de Extração			MA vs CE		
	v	i	U	v	i	U	v	i		v	i	U	v	i	U	v	i	
C (dag kg ⁻¹)	6,98 (1,22)	8,28 (0,62)	o	4,94 (0,45)	6,03 (0,61)	o	o	*	1,49 (0,29)	1,79 (0,25)	o	1,85 (0,09)	2,19 (0,07)	o	o	o		
N (dag kg ⁻¹)	0,61 (0,12)	0,63 (0,03)	o	0,47 (0,04)	0,56 (0,06)	o	o	o	0,17 (0,03)	0,20 (0,02)	o	0,21 (0,01)	0,23 (0,00)	o	o	o		
P (mg kg ⁻¹)	22,00 (1,73)	19,00 (1,53)	o	8,75 (0,63)	10,50 (0,65)	o	*	*	5,50 (0,87)	3,75 (0,25)	o	3,25 (0,25)	4,00 (0,00)	o	*	o		
Ca ⁺⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	18,00 (3,25)	17,50 (2,16)	o	12,68 (0,70)	13,38 (1,96)	o	o	o	4,40 (1,35)	3,53 (0,39)	o	4,95 (0,27)	5,03 (0,78)	o	o	*		
Mg ⁺⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	4,40 (0,58)	5,17 (0,98)	o	2,38 (0,23)	3,45 (0,41)	o	*	o	0,78 (0,12)	0,93 (0,09)	o	1,15 (0,18)	1,28 (0,14)	o	o	o		
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,19 (0,05)	0,23 (0,03)	o	0,14 (0,03)	0,13 (0,02)	o	o	*	0,06 (0,01)	0,06 (0,00)	o	0,09 (0,02)	0,06 (0,01)	o	o	o		
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,51 (0,07)	0,46 (0,01)	o	0,34 (0,02)	0,45 (0,01)	**	o	o	0,16 (0,03)	0,13 (0,00)	o	0,18 (0,01)	0,20 (0,01)	o	o	*		
SB (cmol _c kg ⁻¹)	23,1 (3,9)	23,4 (3,1)	o	15,5 (0,9)	17,4 (2,3)	o	o	o	5,4 (1,4)	4,6 (0,5)	o	6,4 (0,4)	6,6 (0,9)	o	o	o		
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	29,4 (4,2)	34,2 (4,1)	o	20,0 (1,0)	23,7 (2,1)	o	o	*	7,8 (1,6)	8,2 (0,5)	o	8,9 (0,4)	10,7 (0,4)	**	o	*		
V (%)	77,5 (3,3)	68,1 (1,0)	o	77,7 (1,3)	72,8 (4,2)	o	o	o	65,7 (5,5)	56,2 (3,0)	o	71,4 (1,5)	62,4 (10,1)	o	o	o		
C/N	12	13	o	10	11	o	*	*	9	9	o	9	9	o	o	o		
pH	6,3 (0,2)	5,8 (0,0)	*	6,5 (0,0)	6,2 (0,2)	o	o	o	6,2 (0,2)	5,8 (0,1)	o	6,3 (0,0)	6,0 (0,4)	o	o	o		

X ± s/√n. U: teste U de Mann-Whitney. MA vs CE: teste U entre os sítios Mata Alta e Capoeira de Extração. SB: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺; CTC: capacidade de troca catiônica; V: percentagem de saturação por bases. n = 12 (verão) e n = 16 (inverno) o: α > 0,10; *: α = 0,05; **: α = 0,01 e ***: α = 0,001.

CONCLUSÕES

1. O acúmulo de matéria orgânica no solo, representado pelo folhicho nos seus diversos estádios de decomposição, indicou menor velocidade de decomposição.

2. A velocidade de decomposição dos restos foliares na CE foi inferior à velocidade de decomposição na floresta primária, evidenciada pelo acúmulo de matéria orgânica no solo e pela quantidade total dos aportes.

3. Considerando a menor velocidade de decomposição do folhicho, a incorporação da matéria orgânica ao solo foi mais lenta. Dessa forma, o acúmulo de matéria orgânica (carbono) também foi observado no interior do horizonte A₁ na floresta interferida.

4. Os nutrientes acumulados no solo (subhorizonte A₁) da mata secundária mostraram uma redução da ciclagem de nutrientes ocasionada

pelo bloqueio da decomposição dos restos orgânicos depositados sobre o solo, ou seja, da menor velocidade de decomposição do folhicho.

5. A extração seletiva de espécies arbóreas na mata secundária produziu modificações no subsistema de decomposição, de modo que, passados quase 50 anos, ainda apresenta características que o diferenciaram da mata primária.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Renato Moraes de Jesus, responsável pela Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce, por permitir a utilização da reserva, por ceder os dados climatológicos, além de oferecer alojamento e pessoal. Aos funcionários Gilson e Agostinho (*in memoriam*), pela ajuda de campo.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.M.; PROCTOR, J. & VALLACK, H.W. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. III. Decomposition Processes and Nutrient Losses from Leaf Litter. *J. Ecol.*, 71:503-527, 1983.
- BABEL, U. Micromorphology of soil organic matter. In: GIESEKING, J.E., ed. Soil component. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1974. p.369-473.
- BERTHELIN, J.; LEYVAL, C. & TOUTAIN, F. Biologie des sols: Rôle des organismes dans l'alteration et l'humification. In: BONNEAU, M. & SOUCHIER, B., eds. Pédologie. 2 Constituants et propriétés du sol. Paris, Masson, 1994. p.143-211.
- BRUN, J.J. Etude de quelques humus forestiers aérés acides de l'est de la France. Critères analytiques, classification morphogénétique. University de Nancy I, 1978. 118p. (Tese de Doutorado)
- CANCELA DA FONSECA, J.P. L'outil statistique en biologie du sol. I. Distribution de fréquences et tests de signification. *R. Ecol. Biol. Sol*, 2:299-332, 1965.
- CASTRO, A.F.; ANASTÁCIO, M.L.A. & BARRETO, W.O. Potássio disponível em horizontes superficiais de alguns solos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras., Sér. Agron.*, 7:75-80, 1972.
- COSTA, P. & GARAY, I. Heterogeneidade estrutural dos horizontes húmicos associada aos murunduns na Floresta Atlântica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1720-1721.
- DUCHAUFOUR, P. & TOUTAIN, F. Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. *Bull. Ecol.*, 17:1-9, 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Conservação e Levantamento de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA - SNLCS, 1979. 255p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento expedito dos solos das Reserva Florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo. In: Conservação e recuperação da Mata Atlântica de Tabuleiros, com base na avaliação funcional da biodiversidade, em Linhares, ES. Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira (PROBIO/MMA). 1998.
- GARAY, I. & SILVA, B.A.O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. In: ESTEVES, F., ed. O ECOLOGICA BRASILIENSIS: Simpósio Sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas. Rio de Janeiro, 1995. p.19-46.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CALLIPO, A.; BARROS, M.E.O. & JESUS, R.M. Formas de húmus em ecossistemas de floresta costeira intertropical. I. A Mata Atlântica de Tabuleiros. In: ESTEVES, F., ed. O ECOLOGICA BRASILIENSIS: Simpósio Sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas. Rio de Janeiro, 1995a. p.1-18.
- GARAY, I.; KINDEL, A. & JESUS, R.M. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems (Brazil). The Table-land Atlantic Forest. *Acta Oecol.*, 16:553-570, 1995b.
- GARAY, I.; BARROS, M.E.O. & KINDEL, A. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems. I. The Shrubby-Arboreous Restinga Forests. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995c. p.904-906.
- GARAY, I. & KINDEL, A. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems. II. The Table-land Atlantic Forest. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.907-909.
- GARAY, I. & KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica. Valor indicador das formas de húmus florestais. In: CONSERVAÇÃO da biodiversidade em ecossistemas tropicais: Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Rio de Janeiro, Vozes. (no prelo)
- GROHMANN, F. Estrutura. In: MONIZ, A.C., ed. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p.101-110.
- GRUBB, P.J. TURNER, I.M. & BURSLEM, D.F.R.P. Mineral nutrient status of coastal hill dipterocarp forest and adinandra belukar in Singapore: analysis of soil, leaves and litter. *J. Trop. Ecol.*, 10:559-577, 1994.
- JESUS, R.M. Mata Atlântica de Linhares: aspectos florestais. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E IMPACTO AMBIENTAL EM ÁREAS DE TRÓPICO ÚMIDO BRASILEIRO - A experiência da CVRD. Rio de Janeiro, 1987. Anais. Rio de Janeiro, 1987. p.35-71.
- KINDEL, A.; BARBOSA, P. & GARAY, I. Características húmicas como diagnóstico funcional de mata de capoeira na região de Floresta Atlântica de Tabuleiros. Primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.910-912.
- KINDEL, A. Húmus florestal como diagnóstico da ação antrópica em Floresta Atlântica de Tabuleiros, Linhares - ES. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996. 88p.
- LOUZADA, M.A.P.; CURVELLO, A.; BARBOSA, J.H.C. & GARAY, I. O aporte de matéria orgânica ao solo: quantificação, fenologia e suas relações com a composição específica em área de floresta Atlântica de Tabuleiros. *Leandra*, 12:27-32, 1997.
- MALAGON, D.; SEVINK, J. & GARAY, I. Methods for soil analysis. In: Van der HAMMEN, T., MÜELLER-DOMBOIS, D. & LITTLE, M.A., ed., Manual of methods for mountain transect studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems. Paris, I.U.B.S, 1989. p.29-40.
- PEIXOTO, A.L. & GENTRY, A. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiros na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). *R. Bras. Bot.*, 13:19-25, 1990.
- RIZZINI, C.M.; ADUAN, R. E.; JESUS, R.M. & GARAY, I. Contribuição ao conhecimento da Floresta Pluvial de Tabuleiros, Linhares, ES, Brasil. *Leandra*, 12:54-76, 1997.
- RIZZINI, C.T. Tratado de fitogeografia do Brasil, aspectos sociológicos e florísticos. 2. São Paulo, HUCITEC-EDUSP, 1997. 374p.

- SIEGEL, S. Estatística não paramétrica para as ciências do comportamento. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 350p.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. R. Bras. Ci. Solo, 21:113-117, 1997.
- SWIFT, M.J., HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1979. 372p.
- SWIFT, M.J. & SÁNCHEZ, P.A. Gestión biológica de la fertilidad de los suelos tropicales con miras a obtener una productividad permanente. Natur. Sus Recur. Unesco, 20:1-9, 1984.
- TOUTAIN, F. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. R. Forest. Française, 33:449-477, 1981.
- TOUTAIN, F. Biologie des sols. Paris, Association Française pour l'Étude du Sol, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, 1984. p.253-271.