

# SEÇÃO II - QUÍMICA DO SOLO

## CARACTERIZAÇÃO DE ECOSISTEMAS DA MATA ATLÂNTICA DE TABULEIROS POR MEIO DAS FORMAS DE HÚMUS<sup>(1)</sup>

A. KINDEL<sup>(2)</sup> & I. GARAY<sup>(3)</sup>

### RESUMO

O conhecimento das formas de húmus permite a caracterização de ecossistemas primários, bem como dos interferidos. Dentro desta perspectiva, pretendeu-se identificar as formas de húmus, estudando-se os horizontes holorgânicos em relação às variáveis do solo mineral, em três áreas de Mata Atlântica de Tabuleiros do norte do Espírito Santo: duas matas primárias, a Mata Alta e a Mata de Córrego, e uma mata secundária, resultante do corte e da queima da vegetação há mais de 40 anos (Capoeira Queimada). Na Mata Alta, encontrou-se um mull mesotrófico tropical, caracterizado por uma rápida decomposição dos aportes foliares dos horizontes holorgânicos e por uma percentagem de saturação por bases em torno de 50-70% no horizonte hemiórgânico. A Mata de Córrego teve a estrutura do seu perfil húmico alterado em comparação com a Mata Alta, ou seja, verificou-se maior acúmulo nas camadas holorgânicas, representando menor velocidade na decomposição, como o oligotrofismo do solo mineral (V%: 14-35%). Estes resultados levaram à classificação da forma de húmus na Mata de Córrego como um mull oligotrófico. Na Capoeira Queimada, o estoque dos horizontes holorgânicos foi de 2 t ha<sup>-1</sup> maior que na Mata Alta, com o desenvolvimento esporádico da camada F<sub>2</sub>. No horizonte A<sub>1</sub>, porém, o estoque de matéria orgânica foi inferior e observou-se, igualmente, uma percentagem de saturação por bases menor (30-56%), indicando que o ciclo de carbono e de nutrientes ainda não foi restabelecido. A forma de húmus da Capoeira Queimada foi classificada como mull mesotrófico.

**Termos de indexação:** decomposição, fertilidade, mata secundária, mata primária, matéria orgânica, serapilheira, solo, floresta tropical.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do título de Mestre em Ecologia. Trabalho financiado pelo CNPq, sub-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fundação José Bonifácio e FAPERJ. Recebido para publicação em novembro de 1999 e aprovado em abril de 2001.

<sup>(2)</sup> Doutoranda do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, CCS, UFRJ, Ilha do Fundão, CEP 21941-590 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: kindel@connection.com.br

<sup>(3)</sup> Professora Adjunta do Departamento de Botânica, UFRJ e pesquisadora do CNRS, França.

**SUMMARY:** *CHARACTERIZATION OF TABLELAND ATLANTIC FOREST ECOSYSTEMS ACCORDING TO HUMUS FORMS*

*Humus forms allow the characterization of either a natural forest ecosystem or disturbed forests. Under this perspective, we aimed to identify the humus forms in three Tabuleiro Forest sites in northern Espírito Santo: two primary forests, "Mata Alta" and "Mata de Córrego", and one secondary forest resulting from slash and burn, over 40 years old (Capoeira Queimada). Therefore, the holorganic horizons were studied in regard to the pedological parameters of the mineral soil. At "Mata Alta", a mesotrophic mull was found, characterized by high litter decomposition rates in the holorganic horizon, and by base saturation values around 50-70% in the hemiorganic horizon. The humus profile in "Mata de Córrego" was different from that at "Mata Alta" both due to the higher accumulation in the holorganic horizon, which reflected lower decomposition rates, and soil oligotrophism (V%: 14-35%). These results lead to the classification of the humus form in the "Mata de Córrego" as an oligotrophic mull. In the "Capoeira Queimada", the stock in the holorganic horizons was 2 t ha<sup>-1</sup> higher than in the Mata Alta, with sporadic presence of the F<sub>2</sub> layer. Nevertheless, regarding the A<sub>1</sub> horizon, both the organic matter stocks and the base saturation ratio were lower (30-56%), showing that the carbon and nutrient cycle were not reestablished. The humus form in the "Capoeira Queimada" was classified as an mesotrophic mull.*

*Index terms: decomposition, fertility, litter, organic matter, primary forest, secondary forest, soil, tropical forest.*

## INTRODUÇÃO

O termo "forma de húmus" refere-se ao material orgânico não decomposto sobreposto ao solo mineral, bem como ao material orgânico misturado às partículas minerais do horizonte A (Green et al., 1993). Por isso, as formas de húmus são subdivididas em horizontes inteiramente orgânicos, ou horizontes holorgânicos, e em horizontes compostos, tanto de material orgânico como de material mineral, ou horizontes hemiorgânicos (Toutain, 1981; Green et al., 1993). Essa diferenciação permite o reconhecimento de um "perfil das formas de húmus", com a presença ou ausência de determinados horizontes em distintos estádios de decomposição, o que serve como base para a diferenciação das formas de húmus em dois grandes grupos: mull e moder (Babel, 1975; Green et al., 1993; Berthelin et al., 1994; Brethes et al., 1995).

Deve-se, para evitar mal entendidos na compreensão do que no presente trabalho é tido como húmus, esclarecer as diferentes acepções. O "húmus" corresponde ao produto da decomposição dos restos vegetais e animais, formado por compostos orgânicos complexos, de natureza coloidal, cor escura e associado aos constituintes minerais do solo (Kiehl, 1979; Swift et al., 1979; Duchaufour, 1991; Cerri et al., 1992; Green et al., 1993). Já o conjunto dos horizontes orgânicos, que, além dos compostos resultantes do processo de humificação, é constituído também pela serapilheira, forma o que se conhece por "forma de húmus" (Babel, 1975; Swift et al., 1979; Toutain, 1981; Green et al., 1993; Berthelin et al.,

1994; Brethes et al., 1995). O primeiro é definido em sentido restrito, enquanto o segundo em sentido amplo (Swift et al., 1979; Duchaufour, 1991).

A classificação das "formas de húmus", adotada no presente artigo, é a do grupo de trabalho da Associação de Estudos de Solo Francês (Association Française pour l'Étude des Sols - Groupe de Réflexion sur la Classification des Humus) e relatada por Berthelin et al. (1994). Nesta classificação, somada a diferenciação entre mull e moder dada pela presença ou não do horizonte (ou camada) diagnóstico H e sua magnitude e pela relação C/N do horizonte A, utilizam-se também como características distintivas os atributos químicos do solo (V% e pH).

As formas de húmus estão intimamente relacionadas com os diferentes ecossistemas, já que resumem os dois processos básicos que caracterizam o seu funcionamento: a produtividade e a decomposição. Os padrões de acumulação orgânica e de ciclagem de nutrientes das formas de húmus variam enormemente, sendo regulados pelas condições climáticas, pelo tipo de vegetação e de solo e pelos organismos decompositores (Swift et al., 1979; Toutain, 1981). Sendo assim, em ecossistemas de Mata Atlântica, a gama de formas de húmus vai de um mull, de decomposição rápida, a um dysmoder, de decomposição lenta, levando em conta a grande diversidade de grupos vegetais e de tipos de solo que compõem este bioma (Barros et al., 1994; Garay et al., 1995a,b,c; Kindel et al., 1999; Garay & Kindel, 2001).

Além de caracterizar ecossistemas nativos, por meio do estudo das formas de húmus, é possível detectar diferenças no processo de decomposição entre um sistema padrão (primário) e outro interferido. Kindel et al. (1999) demonstraram que uma capoeira resultante do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Mata de Tabuleiros teve seu processo de decomposição alterado em relação à floresta primária, mostrando não apenas maior acúmulo de matéria orgânica como também de nutrientes no solo.

Dentro dessa perspectiva, os objetivos deste trabalho foram, primeiramente, classificar as formas de húmus em três áreas da Mata Atlântica de Tabuleiros: uma floresta primária, a mesma floresta primária beirando um córrego e uma floresta secundária, resultante do corte e da queima da vegetação há, aproximadamente, 40 anos. Numa segunda etapa, pretendeu-se identificar as alterações ocorridas no perfil húmico e, conseqüentemente, no processo de decomposição da área interferida em relação à mata primária, com o propósito de estas diferenças servirem como indicadores de ecossistemas interferidos em Mata de Tabuleiros.

## MATERIAL E MÉTODOS

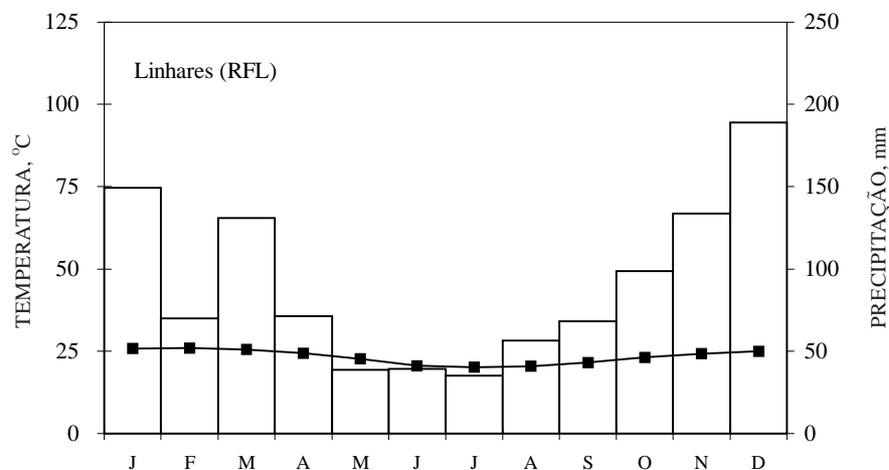
### Caracterização das áreas de estudo

A Mata Atlântica de Tabuleiros estende-se de Pernambuco até o estado do Rio de Janeiro e situa-se sobre uma seqüência de colinas tabulares, daí o nome Mata de Tabuleiros. Os tabuleiros atingem de 20 a 200 m de altitude e foram depositados durante o período Terciário - Formação Barreiras (Meis, 1976; Rizzini, 1997). De acordo com Peixoto & Gentry

(1990), a Mata de Tabuleiros é classificada como Ombrófila Semidecídua. O clima local, com base na classificação de Köppen, corresponde ao grupo Aw com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação anual é de 1.100 mm, enquanto a temperatura média anual é de 23°C (Figura 1) e a umidade relativa do ar de 83%.

A Mata de Tabuleiros em estudo encontra-se dentro da Reserva Florestal de Linhares (RFL), no norte do estado do Espírito Santo, e é conhecida localmente por Mata Alta (MA) (Jesus, 1987). Foram estudadas três distintas situações desta mata. A primeira área constitui um representante da MA sem qualquer histórico de perturbação. Rizzini et al. (1997), ao realizarem um estudo da composição florística e da estrutura da cobertura arbórea da MA, encontraram: Leguminosae, Myrtaceae e Sapotaceae como as famílias mais representativas em número de espécies; 1.147 indivíduos por hectare com diâmetro à altura do peito (dap) maior que 6,3 cm; e diâmetro e altura máximos de 121 cm e 40 m, respectivamente.

A segunda área analisada corresponde a MA, quando esta se encontra ao longo das margens de cursos d'água e, por isso, chamada de Mata de Córrego (MC). A MC está localizada na margem do córrego João Pedro em um terreno levemente inclinado, não sofrendo inundações em qualquer período do ano. Neste sistema, foram encontrados 1.019 indivíduos por hectare e Myrtaceae, Sapotaceae e Leguminosae foram as famílias mais representativas em número de espécies (Rizzini et al., 1997). Grande número de indivíduos de Moraceae e Arecaceae (palmeiras) foi encontrado, dadas as condições favoráveis de alta luminosidade na proximidade à área aberta por onde passa o córrego. O indivíduo mais alto mediu 30 m e o de maior dap 150 cm.



**Figura 1. Diagrama ombrotérmico para a Mata de Tabuleiros na região da RFL no período de dez anos (1984-1993).**

A terceira área de estudo é resultante do corte e da queima total da MA para o posterior plantio de café, tendo sido a cultura abandonada pelos antigos proprietários (anteriores à aquisição das terras para a formação da reserva). Ela é rodeada pela floresta primária e tem aproximadamente 40 anos. Neste sistema perturbado, denominado Capoeira Queimada (CQ), o número de indivíduos por hectare foi de 995, sendo Leguminosa, Moraceae, e Sapotaceae e Flacourtiaceae as famílias mais representativas em número de espécies (Rizzini et al., 1997). Os indivíduos atingiram um dap de, no máximo, 68 cm e houve uma quase ausência de indivíduos com altura maior que 24 m.

Em todas as áreas de estudo, os solos são classificados como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 1999; Santos, no prelo). Este solo apresenta um horizonte A moderado e um B textural, sendo bem drenado. A capacidade de troca catiônica e a soma de bases são baixas e refletem a natureza caulínica da fração argila dos solos. No entanto, segundo Santos (com. pess.)<sup>(4)</sup>, existe uma diferença entre os solos da MA e CQ e os da MC. Enquanto nos primeiros o relevo é plano, no segundo é suave ondulado por causa da encosta de elevação, existente junto ao córrego, razão por que, nessa mata, a erosão do solo é mais acentuada.

### Amostragem

Foram demarcadas três parcelas de 25 x 50 m em cada área. Doze e dezesseis amostras foram feitas no verão e no inverno, respectivamente, na MA e na MC, enquanto na CQ foram feitas somente dez amostras no inverno. Cada amostra consistiu na coleta dos horizontes holorgânicos e hemiorgânicos do solo. Para os horizontes holorgânicos, camadas L, F e H, utilizou-se um quadrado de 50 x 50 cm. A coleta dos horizontes hemiorgânicos fez-se por meio de um quadrado de 25 cm de lado para o subhorizonte A<sub>11</sub> e um cilindro com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura para o subhorizonte A<sub>12</sub> (Malagon et al., 1989).

### Tratamento dos horizontes holorgânicos

A separação dos horizontes holorgânicos foi feita de acordo com as características macromorfológicas (Babel, 1975; Malagon et al., 1989; Garay & Silva, 1995; Garay et al., 1995a,b), sendo tais horizontes distinguidos da seguinte forma: camada L<sub>1</sub>, as folhas são recém-caídas, não fragmentadas e não apresentam sinais visíveis de alteração ou descoloração; camada L<sub>2</sub>, o folhicho não está fragmentado, mas levemente alterado, o que é evidenciado pela sua completa ou parcial descoloração; camada F<sub>1</sub>, o folhicho é composto de fragmentos de fácil identificação, apresentando

pequenas quantidades de material orgânico fino menor que 2 mm; camada F<sub>2</sub>, composta de quantidades iguais de folhicho mais ou menos fragmentado e matéria orgânica fina menor que 2 mm; camada H, composta, na sua maior parte, por material mineral e matéria orgânica fina menor que 2 mm entremeadada por raízes finas, e, em menor parte, por folhicho fragmentado. Estes materiais, juntamente com os galhos, o material reprodutivo e as raízes, foram secos a 60°C e pesados. A percentagem de matéria orgânica dos horizontes holorgânicos foi estimada, queimando-se em mufla a 550°C por quatro horas de 0,2 a 0,4 g de material moído. O teor de nitrogênio da camada L foi obtido por meio do método Kjeldahl (EMBRAPA, 1979).

### Tratamento dos horizontes hemiorgânicos

As amostras dos subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub> foram secas e peneiradas no laboratório. O subhorizonte A<sub>11</sub> corresponde aos dois centímetros superficiais do horizonte A<sub>1</sub> em contato com as folhas (0 a -2), sendo nitidamente colorido pela matéria orgânica e apresentando uma estrutura mais ou menos compactada. O subhorizonte A<sub>12</sub> corresponde à parte inferior do horizonte A<sub>1</sub> (-2 a -12), moderada ou parcialmente colorida pela matéria orgânica, apresentando uma estrutura mais compacta que a anterior. A fração que fica retida na peneira é constituída de agregados que variam de 2 a 10 mm, raízes e material orgânico (restos de galhos e folhas). As frações inferiores a 2 mm (fração fina) e a fração agregada foram enviadas para o Centro Nacional de Pesquisas de Solos (EMBRAPA-CNPS, Jardim Botânico, RJ.), onde foram realizadas as análises químicas de carbono, nitrogênio e fertilidade, bem como as físicas de granulometria. As análises físicas foram feitas somente na amostragem de verão. Para a fração agregada foram feitas amostras compostas, misturando-se de três a quatro amostras.

### Classificação das formas de húmus

Adotou-se a classificação morfofuncional das formas de húmus, apresentada por Berthelin et al. (1994), como se segue:

*MULL* - Caracterizado por um desaparecimento rápido das folhas, criando-se uma descontinuidade entre as folhas inteiras e o horizonte A<sub>1</sub> (seqüência OL/A<sub>1</sub> ou OL + OF/A<sub>1</sub>). O horizonte A<sub>1</sub> apresenta complexos argilo-húmicos, evidenciados pela presença de agregados. O mull é biologicamente muito ativo.

*Mull mesotrófico* - O horizonte A<sub>1</sub> apresenta um pH (H<sub>2</sub>O) próximo a 5, um valor V(%) entre 20 e 70%, presença de alguns agregados de origem biológica e relação C/N entre 12 e 15.

<sup>(4)</sup> Raphael David dos Santos. EMBRAPA-CNPS, Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, 22460-000, Rio de Janeiro.

*Mull oligotrófico* - O horizonte A<sub>1</sub> apresenta um pH (H<sub>2</sub>O) da ordem de 4,5, um valor V(%) inferior a 20%, pouca estrutura e relação C/N entre 15 e 20.

*MODER* - Caracterizado por uma passagem progressiva entre os horizontes holorgânicos e o horizonte A<sub>1</sub> (seqüência OL + OF + OH/A<sub>1</sub>); com a ausência de um verdadeiro complexo argilo-húmico, existe, no caso, justaposição da partícula orgânica e mineral. O moder é biologicamente menos ativo que o mull.

*Eumoder* - Camada H pouco desenvolvida (< 1 cm) e horizonte A<sub>1</sub> com pH (H<sub>2</sub>O) entre 4 e 5, V(%) inferior a 20% e relação C/N próximo a 20.

*Dysmoder* - Camada H mais desenvolvida (> 1 cm) e horizonte A<sub>1</sub> com pH (H<sub>2</sub>O) entre 3,5 e 4,5, um valor V(%) inferior a 20%, pouca estrutura e relação C/N da ordem de 25.

### Análise estatística

Para testar a significância entre as duas estações de coleta (verão e inverno), assim como para comparar os diferentes sítios estudados (MA vs. MC e MA vs. CQ), utilizou-se o teste t de Student após normalização dos dados pela transformação " $x = \sqrt{x}$ ". Quando o "n" amostral era pequeno, como no caso dos agregados, fazia-se o uso do teste não-paramétrico de Mann-Whitney (ou teste U). A correlação de

Pearson (r) para CTC e C (n = 132) e CTC e argila (n = 65) foi calculada com base nos dados (subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub>) das três áreas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos horizontes holorgânicos

Os estoques holorgânicos totais permaneceram estáveis entre as duas estações do ano: eles somaram, em média, 4,0 t ha<sup>-1</sup> na MA e 6,0 t ha<sup>-1</sup> na MC (Quadro 1). Já a comparação entre as áreas revelou que os estoques totais na MC foram 50% superiores aos da MA, resultantes das maiores quantidades de folhas da camada L, principalmente L<sub>2</sub>, como também da presença da camada H na MC, que aparece de modo representativo somente no inverno, somando sozinha 1,80 t ha<sup>-1</sup> em fragmentos foliares e material orgânico fino (Quadro 1).

Nem todos os pontos amostrados apresentaram a camada H, observada em apenas uma amostra na MA (inverno) e em uma e onze amostras, no verão e inverno, respectivamente, na MC. Estes pontos mostraram como a estrutura do perfil húmico refletia a variabilidade ambiental (da vegetação e do solo). Na CQ, verificou-se, igualmente, um acúmulo em relação a MA, 50% maior, considerando

**Quadro 1. Estoques de matéria orgânica nos horizontes holorgânicos**

	Mata alta		Mata de córrego		Capoeira queimada i (n = 10)	MA vs MC <sup>(2)</sup>		MA vs CQ
	v (n = 12)	i (n = 16)	v (n = 12)	i (n = 16)		v	i	
	t ha <sup>-1</sup>							
Camada L <sub>1</sub>	0,20(0,03) <sup>(1)</sup>	0,30 (0,04)	0,26 (0,07)	0,46 (0,08)	0,46 (0,09)	o	o	o
Camada L <sub>2</sub>	0,42 (0,07)	0,55 (0,09)	1,30 (0,17)	1,03 (0,08)	0,83 (0,09)	***	***	**
Total L	0,62 (0,09)	0,84 (0,12)	1,56 (0,21)	1,49 (0,15)	1,29 (0,13)	***	***	**
F <sub>1</sub> resíduos	2,24 (0,21)	1,70(0,14)*	2,42 (0,17)	2,59 (0,19)	2,39 (0,27)	o	***	*
F <sub>1</sub> fração fina	1,14 (0,11)	1,16 (0,16)	0,90 (0,16)	0,62 (0,10)	1,11 (0,24)	o	**	o
Total F <sub>1</sub>	3,38 (0,27)	2,86 (0,27)	3,32 (0,29)	3,21 (0,27)	3,50 (0,37)	o	o	o
F <sub>2</sub> resíduos					1,21 (0,60)			
F <sub>2</sub> fração fina					0,31 (0,20)			
Total F <sub>2</sub>					1,52 (0,64)			
Total F	3,38 (0,27)	2,86 (0,27)	3,32 (0,29)	3,21 (0,27)	5,02 (0,69)	o	o	**
H resíduos		0,02	0,17	0,75 (0,27)				
H fração fina		0,10	0,97	1,05 (0,32)				
Total H		0,12	1,14	1,80 (0,50)				
Total acumulado	4,00 (0,29)	3,83 (0,33)	6,02 (1,26)	6,50 (0,63)	6,32 (0,68)	o	***	***

<sup>(1)</sup> Os números correspondem à média ± erro padrão (s/√n). <sup>(2)</sup> Significância pelo teste t de Student para MA vs MC no verão (v) e no inverno (i) e para MA vs CQ no inverno. Quando existe diferença significativa pelo teste t entre as estações dentro da mesma área, o teste aparece na coluna referente ao inverno. o: não-significativo e o: α > 0,05; \*: α = 0,05; \*\*: α = 0,01 e \*\*\*: α = 0,001.

o total acumulado (Quadro 1). Desta vez, porém, a diferença deveu-se à presença, no sistema interferido da camada L<sub>2</sub> e da camada F<sub>2</sub>, esta chegando a somar 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Na CQ, a camada F<sub>2</sub> mostrou-se presente em seis das dez amostras coletadas. Destaca-se que o que diferiu a camada F<sub>2</sub> da H foi a maior quantidade de material fino nesta última: enquanto, na camada F<sub>2</sub>, o estoque dos fragmentos foliares foi quase quatro vezes maior que o de material fino, na camada H, a quantidade de fração fina foi 40% superior à de fragmentos de folhas.

A acumulação orgânica deu-se de duas formas na MC e na CQ. Primeiramente, existe maior estoque total de matéria orgânica. Em segundo, verifica-se maior diferenciação em relação à estrutura das camadas húmicas: presença no perfil, durante o inverno, da camada F<sub>2</sub> ou H. Uma maior diferenciação dos horizontes holorgânicos em camadas morfológicamente distintas, isto é, com diferentes estádios de decomposição, é resultante de uma velocidade de decomposição mais lenta (Babel, 1975; Toutain, 1981; Green et al., 1993; Berthelin et al., 1994; Brethes et al., 1995).

A contribuição do aporte orgânico ao solo auxilia muito na interpretação dos resultados apresentados, já que o acúmulo sobre o solo ( $X$ ) é decorrente da diferença entre o *input* anual ( $I$ ) e a perda pela decomposição (Swift et al., 1979). Sendo assim, o quadro 2 apresenta dados de aporte foliar das três áreas analisadas (Louzada, dados não publicados<sup>(5)</sup>). Esses dados possibilitam o cálculo do coeficiente de decomposição  $K$ , que é uma estimativa da proporção da decomposição, já que  $K = I/X$  (Olson, 1963; Anderson et al., 1983). Esse índice foi maior na MA, (1,28 ano<sup>-1</sup>), intermediário na CQ (0,72 ano<sup>-1</sup>) e inferior na MC (0,63 ano<sup>-1</sup>). A velocidade de decomposição na MC e na CQ foi baixa, porque, apesar de o aporte ter sido de apenas 3,9 e de 4,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, observou-se um acúmulo em comparação com a MA, que, dentre os

sistemas analisados, foi o que apresentou o maior *input* foliar, de 5,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Kindel et al. (1999) encontraram em outra capoeira da Mata de Tabuleiros, situada também na RFL, porém submetida ao extrativismo seletivo de espécies arbóreas de importância econômica (Capoeira de Extração, CE), coeficientes de decomposição dentro do limite dos observados no presente trabalho: 0,92 e 0,67 ano<sup>-1</sup>, no verão e inverno, respectivamente (média = 0,78 ano<sup>-1</sup>). Os resultados corroboram os encontrados para a CQ, indicando que a intervenção sofrida pelos sistemas está refletida na velocidade de decomposição dos horizontes holorgânicos. No caso da CE, pode-se perceber ainda a variação estacional que ocorre no processo de decomposição, o inverno acumulou 2 t ha<sup>-1</sup> a mais de matéria orgânica nos horizontes holorgânicos que o verão.

Em dois ecossistemas de Mata Atlântica, Floresta Semidecídua e Floresta Semidecídua de Altitude (São Paulo), o  $K$  foi de 1,6 e 1,3 ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Morellato, 1992). Esse autor, no entanto, não descartou os frutos e os pequenos galhos ( $\leq 2$  cm de diâmetro) de seus cálculos. Já em um ecossistema da Restinga de Maricá (Rio de Janeiro), o  $K$  foi de apenas 0,14, pois o aporte foliar limitou-se a 3,7 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ramos & Pellens, 1994), enquanto o total das camadas holorgânicas acumuladas (camada L + F + H) somou 26 t ha<sup>-1</sup> (Garay et al., 1995c; Garay & Kindel, 2001). Anderson et al. (1983), em Florestas Pluviais da Malásia, encontraram coeficientes de decomposição, para as folhas e para os fragmentos foliares, variando de 1,4 a 1,7 ano<sup>-1</sup>; e Wesemael & Veer (1992) estimaram valores entre 0,07 e 0,26 ano<sup>-1</sup> para florestas mediterrânicas. Esses últimos autores também levaram em conta todas as camadas holorgânicas (L, F e H). A comparação destes coeficientes foi dificultada pela inclusão ou não das diferentes frações do aporte (material reprodutivo, galhos e material orgânico fino) e das camadas holorgânicas (camada L, F e H) em seu cálculo.

**Quadro 2. Índices de decomposição em Mata Atlântica de Tabuleiros**

	Mata alta	Mata de córrego	Capoeira queimada
Aporte foliar I (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	5,0	3,94	4,53
Total acumulado X (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	3,92	6,23	6,32
K = I/X (ano <sup>-1</sup> )	1,28	0,63	0,72

<sup>(1)</sup> Dados cedidos por M.A.P. Louzada. <sup>(2)</sup> Média do Total Acumulado (Quadro 1) quando há dados para duas estações.

<sup>(5)</sup> Louzada, M.A.P., aluno de Doutorado do Departamento de Ecologia, UFRJ. Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, CCS, UFRJ, Ilha do Fundão, 21941-590, Rio de Janeiro. A estimativa do aporte foliar foi feita por meio de coletas quinzenais realizadas ao longo de um ano. Para isso, em cada sítio de estudo, MA, MC e CQ, foram armados 15 coletores de 1 m<sup>2</sup> (5 em cada parcela). Louzada trabalhou nas mesmas parcelas do presente estudo.

**Análise dos horizontes hemiórgânicos**

**Análise física** - A fração fina em todas as áreas de estudo revelou entre 75 (no A<sub>11</sub>, MA) e 88 dag kg<sup>-1</sup> (no A<sub>12</sub>, MA) de areia e entre 7 (no A<sub>12</sub>, MA) e 14 dag kg<sup>-1</sup> (no A<sub>12</sub>, CQ) de argila (Quadro 3). Estas quantidades de argila chegaram a ser significativamente maiores em MC e CQ que em MA (teste t: a = 0,01), porém, os valores foram, de modo geral, muito baixos em todas as áreas. Estes resultados estão de acordo com o tipo de solo encontrado, um Argissolo Amarelo, de textura arenosa no horizonte A. Já a fração agregada, ao contrário da fração fina, chegou a apresentar 30 dag kg<sup>-1</sup> de argila. Os agregados constituíram de 10 a 35% do total do peso da amostra, demonstrando a sua importância para a estruturação do solo.

O predomínio de insetos sociais na comunidade de macroartrópodos edáficos da MA (térmitas + formigas: 2.420 indivíduos m<sup>-2</sup>, total: 4.340 indivíduos m<sup>-2</sup>; Pellens & Garay, 1999) pode estar relacionado com a formação dos agregados (Kiehl, 1979). Pois, como foi demonstrado por Lepage (1983), para ecossistemas de savanas herbáceas, os térmitas substituem os oligoquetos como agentes principais da estruturação do solo, quando há o decréscimo das precipitações anuais (a estação seca é bem marcada, ver figura 1).

**Análise química** - Como descrito por Garay et al. (1995a,b) e Kindel et al. (1999), os horizontes hemiórgânicos da Mata de Tabuleiros apresentaram um gradiente vertical: o subhorizonte A<sub>11</sub> concentrou maiores teores de carbono (C), nitrogênio (N) e soma de bases (SB) que o subhorizonte A<sub>12</sub>. Isto significa que o subhorizonte A<sub>11</sub> pode ser considerado como um horizonte de interface entre as camadas holórgânicas e o solo mineral. Essa característica foi também encontrada nos solos da MC e CQ (Quadro 4).

Na MA, como observado para os horizontes holórgânicos, verificou-se que os atributos químicos dos horizontes hemiórgânicos permaneceram estáveis entre o verão e o inverno (Quadro 4). Tais resultados concordam com a afirmativa de Duchaufour & Toutain (1985), segundo os quais as formas de húmus são estáveis em sistemas não perturbados. No entanto, no subhorizonte A<sub>11</sub> da MC, observou-se, para a amostragem de inverno, um acúmulo de C, bem como um aumento da quantidade de nutrientes, em torno de 60%. Já o fósforo (P) aumentou em até duas vezes sua concentração, alcançando quase 27 mg g<sup>-1</sup> no inverno (Quadro 4). As diferenças sazonais verificadas, ou não foram mantidas no subhorizonte A<sub>12</sub>, ou se atenuaram: somente o P e o potássio (K) mantiveram uma diferença altamente significativa entre o verão e o inverno, enquanto o C foi somente 20% maior no inverno.

Nos solos da Mata de Tabuleiros (MA, MC e CQ), verificou-se importante correlação entre o C e a capacidade de troca catiônica (CTC) (r = 0,90), enquanto a relação da CTC com a argila foi bem menor (r = 0,21). A riqueza do solo, portanto, parece ser extremamente dependente da presença da matéria orgânica. Isto significa que qualquer técnica de recuperação e manejo nestas áreas deve levar em conta esta característica, de modo a preservar os horizontes de superfície.

Comparando as duas matas primárias, nota-se que as concentrações de Ca<sup>2+</sup> foram de duas a quatro vezes maiores no subhorizonte A<sub>11</sub> da MA que na MC (p. ex.: 8,84 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> vs. 2,43 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, no verão). No subhorizonte A<sub>12</sub>, esta diferença foi ainda mais acentuada. As percentagens de saturação por bases (V%) da MA podem ser consideradas médias, pois têm seus valores situados entre 50-70%. Já a baixa fertilidade observada na MC, tanto no subhorizonte

**Quadro 3. Características físicas dos horizontes hemiórgânicos (subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub>)**

	Mata alta		Mata de córrego		Capoeira queimada	
	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>
dag kg <sup>-1</sup>						
<b>Fração fina</b>						
Areia grossa	73,2 (2,6) <sup>(1)</sup>	79,8 (1,0)	61,6 (2,1)	67,0 (1,4)	74,4 (1,5)	73,7 (2,9)
Areia fina	6,67 (0,64)	8,67 (0,58)	14,2 (1,1)	17,6 (0,8)	8,13 (0,72)	9,90 (1,07)
Silte	12,0 (1,4)	4,42 (0,38)	12,6 (1,2)	5,17 (0,39)	6,88 (0,7)	2,40 (0,60)
Argila	8,17 (0,59)	7,17 (0,39)	11,7 (1,3)	10,2 (0,5)	10,6 (0,9)	14,0 (1,7)
<b>Fração agregada</b>						
Areia grossa	25,3 (6,9)	62,2 (1,1)	24,6 (2,0)	38,0 (1,4)	27,5 (10,5)	44,0 (1,2)
Areia fina	14,3 (0,4)	14,5 (1,1)	28,3 (0,41)	26,5 (0,7)	22,5 (4,5)	18,3 (0,8)
Silte	34,3 (4,9)	5,75 (0,00)	16,3 (1,63)	11,2 (0,4)	20,0 (5,0)	8,33 (0,41)
Argila	26,0 (2,4)	17,5 (0,0)	30,6 (0,82)	24,2 (1,06)	30,0 (1,0)	29,3 (0,8)

<sup>(1)</sup> Os números correspondem à média ± erro padrão (s/√n). Fração fina (n = 12); Fração agregada (MA e MC: n = 4; CQ: n = 3).

**Quadro 4. Características químicas da fração fina dos horizontes hemiorgânicos (subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub>)**

	Mata alta		Mata de córrego		Capoeira queimada	MC <sup>(2)</sup>		CQ
	v (n = 12)	i (n = 16)	v (n = 12)	i (n = 16)	i (n = 10)	v	i	i
<b>Subhorizonte A<sub>11</sub></b>								
C (dag kg <sup>-1</sup> )	2,94(0,46) <sup>(1)</sup>	3,71 (0,48)	3,42 (0,24)	5,71 (0,68) <sup>***</sup>	4,06 (0,83)	o	*	o
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0,28 (0,04)	0,31 (0,04)	0,23 (0,02)	0,35 (0,04) <sup>**</sup>	0,31 (0,05)	o	o	o
P (mg kg <sup>-1</sup> )	9,83 (1,01)	14,31 (1,63) <sup>*</sup>	12,83 (0,76)	26,6 (2,72) <sup>***</sup>	11,20 (2,14)	*	***	o
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	8,84 (1,46)	8,64 (1,23)	2,43 (0,39)	3,99 (0,53) <sup>*</sup>	4,81 (0,30)	***	***	**
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,58 (0,24)	2,06 (0,28)	1,68 (0,21)	2,68 (0,25) <sup>**</sup>	1,72 (0,21)	o	o	o
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,09 (0,02)	0,13 (0,02)	0,19 (0,01)	0,28 (0,04) <sup>*</sup>	0,13 (0,04)	***	***	o
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,23 (0,03)	0,26 (0,03)	0,23 (0,02)	0,36 (0,03) <sup>***</sup>	0,23 (0,08)	o	*	o
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	10,7 (1,7)	11,1 (1,5)	4,5 (0,6)	7,3 (0,8) <sup>**</sup>	6,9 (0,4)	***	*	*
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	14,0 (1,6)	15,9 (1,8)	14,3 (1,0)	21,0 (1,9) <sup>***</sup>	12,4 (0,6)	o	*	o
V (%)	72,8 (4,3)	68,0 (2,1)	32,1 (4,0)	35,1 (2,7)	56,4 (3,4)	***	***	**
C/N	10,7 (0,5)	12,0 (0,2) <sup>*</sup>	14,9 (0,39)	14,8 (0,48)	13,0 (0,7)	***	***	o
pH (H <sub>2</sub> O)	6,3 (0,2)	5,9 (0,1) <sup>*</sup>	4,8 (0,1)	4,6 (0,1)	5,7 (0,2)	***	***	o
<b>Subhorizonte A<sub>12</sub></b>								
C (dag kg <sup>-1</sup> )	0,75 (0,09)	0,71 (0,07)	1,08 (0,07)	1,31 (0,08) <sup>*</sup>	0,92 (0,12)	***	***	o
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0,09 (0,01)	0,08 (0,01)	0,09 (0,00)	0,09 (0,01)	0,11 (0,01)	o	*	***
P (mg kg <sup>-1</sup> )	2,25 (0,18)	2,50 (0,27)	3,92 (0,36)	6,88 (0,46) <sup>***</sup>	3,30 (0,33)	***	***	o
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,13 (0,41)	1,55 (0,27)	0,29 (0,04)	0,31 (0,05)	1,48 (0,40)	***	***	o
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,53 (0,04)	0,46 (0,06)	0,43 (0,04)	0,46 (0,03)	0,76 (0,24)	o	o	o
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,04 (0,00)	0,04 (0,00)	0,07 (0,00)	0,07 (0,01)	0,06 (0,02)	***	***	o
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,07 (0,00)	0,06 (0,00)	0,06 (0,00)	0,08 (0,00) <sup>***</sup>	0,06 (0,02)	o	***	o
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,8 (0,4)	2,1 (0,3)	0,8 (0,1)	0,9 (0,1)	1,9 (0,6)	***	***	o
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,5 (0,4)	3,8 (0,4)	6,1 (0,3)	6,6 (0,3)	5,5 (0,6)	***	***	**
V (%)	58,8 (5,2)	53,5 (2,8)	14,0 (1,5)	14,6 (1,5)	31,6 (7,0)	***	***	*
C/N	8,27 (0,45)	9,41 (0,47)	11,9 (0,48)	13,9 (0,44) <sup>***</sup>	7,92 (0,38)	***	***	*
pH (H <sub>2</sub> O)	5,9 (0,2)	5,7 (0,1)	4,5 (0,1)	4,4 (0,1)	5,2 (0,2)	***	***	**

<sup>(1)</sup> Os números correspondem à média ± erro padrão (s/√n). <sup>(2)</sup> Significância pelo teste t de Student para MA vs MC no verão (v) e no inverno (i) e para MA vs CQ no inverno. Quando existe diferença significativa pelo teste t entre as estações dentro da mesma área, o teste aparece na coluna referente ao inverno. SB: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: percentagem de saturação em bases. o: α > 0,05; \*: α = 0,05; \*\*: α = 0,01 e \*\*\*: α = 0,001.

A<sub>11</sub> (em torno de 35%) como no subhorizonte A<sub>12</sub> (em torno de 14%), resulta das pequenas quantidades de Ca<sup>2+</sup> e do alto teor de C, que, como demonstrado anteriormente, eleva a CTC do solo. O solo mais ácido observado na MC deve-se, provavelmente, às mesmas razões: acúmulo de matéria orgânica e localização da mata em um terreno suave ondulado, onde a erosão das bases é mais acentuada que na mata situada em terreno plano.

Os valores da relação C/N do solo em torno de 15 na MC, comparados aos valores da MA (11 no verão e 12 no inverno), evidenciam uma matéria orgânica menos evoluída, já que existe uma relação direta entre os valores da relação C/N, a velocidade de decomposição dos aportes foliares e o grau de humificação da matéria orgânica do horizonte A<sub>1</sub> (Garay & Silva, 1995). Como as concentrações de N são equivalentes nas duas matas, pode-se sugerir que a mineralização do C seja mais lenta na MC.

Quanto a CQ, algumas diferenças puderam ser observadas em relação a MA: o valor médio do teor de Ca<sup>2+</sup> foi quase o dobro na MA (8,64 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> vs. 4,81 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), o que explica os maiores valores de V(%) medidos nesta mata primária. Eles foram 20 e 70% superiores no subhorizonte A<sub>11</sub> (68% vs. 56%) e subhorizonte A<sub>12</sub> (53% vs. 32%), respectivamente. Percebeu-se, então, que este tipo de uso da terra, que implica a utilização do corte e da queima da vegetação, provocava redução na fertilidade do solo (Quadro 4), de modo que, passados 40 anos, ela não tenha sido restabelecida.

Tanto na MA como na MC não se verificaram variações sazonais nos valores de C e de nutrientes da fração agregada (Quadro 5), repetindo-se o padrão observado para a fração fina da MA (Quadro 4). Novamente, o Ca<sup>2+</sup> e o Mg<sup>2+</sup> foram os cátions mais representativos na SB, contribuindo com quantidades de até 80%; porém, os valores de SB

foram tão baixos na MC que a V% chegava a valer apenas 15% no subhorizonte A<sub>12</sub> (Quadro 5). O oligotrofismo dos horizontes hemiórgânicos na MC afetou, assim, o conjunto de seus componentes, a fração fina e a fração agregada. Na MA a SB dos agregados chegou a ser quatro vezes maior que na MC, porque naquele sistema os teores de Ca<sup>2+</sup> foram bem altos (p.ex.: 18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> vs. 3,03 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, no verão). Outras diferenças constatadas foram menos relevantes, considerando as baixas concentrações dos demais cátions (Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>). Quanto aos teores de C e N, notou-se que eles foram relativamente semelhantes nas duas matas. Na comparação com a CQ, observou-se que esta mata apresentou os menores teores de C e de nutrientes, sendo, em geral, de pelo menos a metade dos estimados para a MA. No entanto, essa diferença restringiu-se ao subhorizonte A<sub>11</sub>.

Garay et al. (1995a,b), em trabalho também realizado na Mata Alta da RFL, encontraram que a fração agregada apresentava maiores teores de C e

de nutrientes que a fração fina. No presente estudo, o mesmo foi observado para a MA (Quadro 5). Todavia, na MC e na CQ, de modo geral, não se observaram diferenças entre a fração fina e os agregados do subhorizonte A<sub>11</sub> com relação à concentração da SB. Somente os resultados referentes à amostragem estival na MC mostraram maior quantidade de C, N e P nos agregados e, na CQ, o Ca<sup>2+</sup>. Já no subhorizonte A<sub>12</sub>, constatou-se, novamente, que a fração agregada concentrava tanto C e N como SB em relação à fração fina. Os resultados referentes aos horizontes hemiórgânicos da capoeira submetida ao extrativismo seletivo estudada por Kindel et al. (1999) indicaram o mesmo padrão observado na MC e na CQ: os agregados tiveram maiores concentrações de nutrientes e C que a fração fina somente no subhorizonte A<sub>12</sub>.

**Formas de húmus**

O que diferencia basicamente uma forma de húmus da outra é a velocidade de decomposição,

**Quadro 5. Características químicas da fração agregada dos horizontes hemiórgânicos (subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub>)**

	Mata alta		Mata de córrego		Capoeira queimada	MC <sup>(2)</sup>		CQ
	v (n = 4)	i (n = 3)	v (n = 4)	i (n = 4)	i (n = 3)	v	i	i
<b>Subhorizonte A<sub>11</sub></b>								
C (dag kg <sup>-1</sup> )	6,98 (1,22) <sup>(1)</sup>	8,28 (0,62)	5,58 (0,47)	5,29 (0,19)	3,94 (0,18)	o	*	*
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0,61 (0,12)	0,63 (0,03)	0,41 (0,04)	0,39 (0,01)	0,32 (0,02)	o	*	*
P (mg kg <sup>-1</sup> )	22,00 (1,73)	19,00 (1,53)	18,25 (2,81)	17,00 (2,04)	9,00 (1,15)	o	o	*
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	18,00 (3,25)	17,50 (2,16)	3,03 (0,86)	2,70 (0,31)	5,87 (0,41)	**	*	*
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,40 (0,58)	5,17 (0,98)	2,55 (0,52)	2,45 (0,16)	2,43 (0,32)	o	*	*
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,19 (0,05)	0,23 (0,03)	0,23 (0,04)	0,23 (0,02)	0,13 (0,04)	o	o	o
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,51 (0,07)	0,46 (0,01)	0,30 (0,04)	0,32 (0,02)	0,22 (0,04)	o	*	*
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	23,1 (3,9)	23,4 (3,1)	6,1 (1,4)	5,7 (0,5)	8,6 (0,7)	**	*	*
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	29,4 (4,2)	34,2 (4,1)	21,4 (1,6)	22,6 (0,7)	17,3 (0,8)	o	*	*
V (%)	77,5 (3,3)	68,1 (1,0)	28,3 (6,2)	25,4 (2,9)	49,9 (2,3)	**	*	*
C/N	11,6 (0,4)	13,1 (0,5)	13,7 (0,3)	13,5 (0,3)	12,2 (0,6)	**	o	o
pH (H <sub>2</sub> O)	6,3 (0,2)	5,8* (0,0)	4,6 (0,2)	4,5 (0,1)	5,4 (0,1)	**	*	*
<b>Subhorizonte A<sub>12</sub></b>								
C (dag kg <sup>-1</sup> )	1,49 (0,29)	1,79 (0,25)	2,49 (0,21)	2,79 (0,48)	1,84 (0,18)	o	o	o
N (dag kg <sup>-1</sup> )	0,17 (0,03)	0,20 (0,02)	0,21 (0,01)	0,20 (0,01)	0,17 (0,02)	o	o	o
P (mg kg <sup>-1</sup> )	5,50 (0,87)	3,75 (0,25)	9,50 (0,96)	9,00 (1,22)	5,00 (0,58)	*	**	o
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,40 (1,35)	3,53 (0,39)	0,56 (0,15)	0,45 (0,05)	2,20 (0,49)	**	**	o
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,78 (0,12)	0,93 (0,09)	0,83 (0,05)	0,73 (0,06)	1,10 (0,23)	o	o	o
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,06 (0,01)	0,06 (0,00)	0,10 (0,01)	0,12 (0,02)	0,08 (0,02)	*	**	o
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,16 (0,03)	0,13 (0,00)	0,13 (0,01)	0,12 (0,02)	0,10 (0,02)	o	o	o
SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,4 (1,4)	4,6 (0,5)	1,6 (0,4)	1,4 (0,1)	3,5 (0,8)	*	**	o
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7,8 (1,6)	8,2 (0,5)	11,2 (0,7)	12,5 (0,4)	9,3 (0,5)	o	**	o
V (%)	65,7 (5,5)	56,2 (3,0)	14,3 (4,0)	11,3 (1,0)	36,9 (6,6)	**	**	*
C/N	8,94 (0,20)	9,07 (0,33)	11,8 (0,4)	13,5 (1,4)	11,3 (2,2)	**	**	o
pH (H <sub>2</sub> O)	6,2 (0,2)	5,8 (0,1)	4,4 (0,1)	4,4 (0,1)	5,1 (0,2)	**	**	*

<sup>(1)</sup> Os números correspondem à média ± erro padrão (s/√n). <sup>(2)</sup> Significância pelo teste U de Mann-Whitney para MA vs MC no verão (v) e no inverno (i) e para MA vs CQ no inverno. Quando existe diferença significativa pelo teste U entre as estações dentro da mesma área, o teste aparece na coluna referente ao inverno. SB: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: percentagem de saturação em bases. o: α > 0,05; \*: α = 0,05 e \*\*: α = 0,01.

maior no mull e menor no moder. A maior velocidade de decomposição no mull é percebida por meio da descontinuidade entre a serapilheira e o horizonte  $A_1$ . Já no moder, porque a incorporação da matéria orgânica ao solo mineral é mais lenta, são encontradas mais camadas em distintos estádios de decomposição (Toutain, 1981; Duchaufour, 1991; Green et al., 1993; Berthelin et al., 1994; Garay & Silva, 1995). A forma de húmus do tipo mull é considerada biologicamente mais ativa que um moder.

Com relação ao horizonte  $A_1$  é o valor da relação C/N, entre outras características (presença de complexos argilo-húmicos, presença de fauna específica, pH, V%), que caracteriza a forma de húmus: este valor é mais alto em um moder e mais baixo em um mull. De acordo com Berthelin et al. (1994), uma relação C/N de 20 seria o limite entre estas duas formas de húmus. No entanto, Garay et al. (1995a,b) encontraram uma relação C/N de 17 no horizonte  $A_1$  da Mata de Mussununga, um ecossistema da região da Mata de Tabuleiros, que apresenta um eumoder.

Os resultados indicam também a presença do subhorizonte  $A_{11}$ , não apresentado na literatura de classificação das formas de húmus existente (Green et al., 1993; Berthelin et al., 1994; Brethes et al., 1995), porém, igualmente, evidenciado por Furch & Klinge (1989) para a Floresta Amazônica de terra firme. Isto significa que a caracterização das formas de húmus em ecossistemas tropicais deve considerar as características particulares destes sistemas.

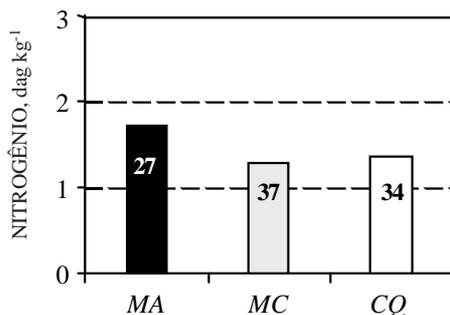
Sendo assim, com base nos dados apresentados, a forma de húmus da MA pode ser considerada um mull mesotrófico tropical. Mull, porque foram observadas uma débil acumulação orgânica superficial e uma descontinuidade foliar entre a serapilheira e o solo mineral (Quadro 1). Mesotrófico, porque a análise química do horizonte  $A_1$ , subhorizonte  $A_{11}$  e subhorizonte  $A_{12}$ , mostrou um solo relativamente fértil, com, em média, respectivamente,

de 70 e 56% de percentagem de saturação por bases e uma relação C/N entre 8 e 12, indicando uma matéria orgânica bem evoluída (Quadro 4). Tropical, pois deve incluir em sua classificação a presença do subhorizonte  $A_{11}$ , que acumula nutrientes, e por apresentar um horizonte  $A_1$  de estrutura particular, pois apenas de 10 a 30% da matriz do solo é constituída por agregados. Já o tipo de mull mais freqüente da região temperada apresenta uma estrutura granular, pois os agregados (formados pelo complexos argilo-húmicos) são dominantes (Green et al., 1993; Berthelin et al., 1994; Brethes et al., 1995).

O estudo da MC teve como objetivo verificar se a proximidade da Mata de Tabuleiros a um curso d'água produziria alterações em seu processo de decomposição. A presença da camada H na coleta de inverno não chega a caracterizar um moder, pois é muito pouco desenvolvida, mas mostra que, neste sistema, a decomposição é mais lenta que na MA. A relação C/N do horizonte hemiorgânico é baixa (< 15), indicando igualmente um mull. Verificaram-se, na MC, um pH de 4,5 e uma baixa fertilidade: a percentagem de saturação por bases está entre 14 e 33% (Quadro 4). Sendo assim, a forma de húmus na MC foi classificada como sendo um mull oligotrófico tropical. Destes dados, deduz-se que há uma alteração no processo de decomposição da floresta primária, quando esta se instala sobre o terreno levemente inclinado da beira do córrego, sendo influenciada tanto pela pobreza nutricional do solo mineral como pela alta relação C/N da camada L (Figura 2).

A forma de húmus na CQ pode, igualmente, ser classificada como mull mesotrófico tropical. O que deve ficar claro para este sistema interferido é que o seu perfil húmico pode sofrer uma diferenciação ao longo do tempo, na medida em que a floresta progride no processo de sucessão. Como exemplo de evolução das formas de húmus, pode-se citar um experimento realizado por Toutain et al. (1987) com *Fagus silvatica*: sobre um solo com deficiência em nutrientes, verificou-se uma mudança na forma de húmus, que passou de um moder a um mull, após dez anos da adição de NPKCa.

Um exemplo de moder pode ser encontrado na Restinga de Maricá, onde a camada H corresponde a 11 das 26 t ha<sup>-1</sup> do total do estoque holorgânico. Isso adicionado a uma relação C/N do horizonte  $A_1$  de 22, a um pH de 4,6 e a um valor V(%) próximo a 20, levaram Garay et al. (1995c) e Garay & Kindel (2001) a considerarem a forma de húmus desse ecossistema como um dysmoder. Neste caso, os fatores limitantes seriam a baixa concentração de N da camada L (0,79 dag kg<sup>-1</sup>, C/N: 60), bem como a pobreza em partículas finas (> 90% de areia). Wesemael & Veer (1992) descreveram as formas de húmus de diferentes ecossistemas mediterrânicos, incluindo algumas florestas esclerófilas, como



**Figura 2.** Teor de nitrogênio na camada L. MA: Mata Alta, MC: Mata de Córrego e CQ: Capoeira Queimada. O valor dentro da barra corresponde à relação C/N.

pertencentes às do grupo moder: os estoques dos horizontes holorgânicos variaram entre 20 e 45 t ha<sup>-1</sup>. Segundo estes autores, as concentrações de N da serapilheira, entre 0,57 e 0,93 dag kg<sup>-1</sup>, desempenharam papel decisivo na decomposição, pois maiores concentrações de N na serapilheira correspondia a horizontes holorgânicos menos desenvolvidos.

O processo de decomposição é regulado por diversos fatores, tais como: as condições climáticas gerais, em uma escala geográfica maior, e a qualidade do folhicho, dentre outros fatores locais, em uma escala geográfica menor (Meentmeyer, 1978; Melillo et al., 1982; Aerts, 1997). Por exemplo, a concentração de nitrogênio da camada L na MA é de 1,74 dag kg<sup>-1</sup>, enquanto na MC e na CQ esse valor é reduzido para 1,29 e 1,37 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente (teste t: MA vs MC,  $\alpha = 0,001$  e MA vs CQ,  $\alpha = 0,001$ ) (Figura 2). Fica, portanto, demonstrado, que, em nossas áreas de estudo, o processo de decomposição é igualmente influenciado pelas características qualitativas das folhas recém-caídas. A maior relação C/N (Figura 2) observada na MC e na CQ explica o maior acúmulo verificado nos horizontes holorgânicos (Quadro 1).

### Distribuição de raízes no perfil húmico

Em todas as áreas observa-se um gradiente vertical de raízes, onde as menores percentagens correspondem às encontradas nas camadas foliares e as maiores àquelas concentradas no subhorizonte A<sub>12</sub>, sempre com mais de 80% das raízes (Figura 3). Na MA, o estoque total de raízes é de 5,6 e de 4,2 t ha<sup>-1</sup> no verão e no inverno, respectivamente. Verifica-se na MC uma redistribuição da biomassa das raízes, associada à variação das camadas húmicas: quando a camada H é encontrada de modo significativo (14 amostras no inverno e apenas uma no verão), a quantidade de raízes diminui em A<sub>11</sub> (10% no verão vs. 2,5% no inverno) e aumenta em H (2,5% no verão vs. 4,5% no inverno). O estoque de

raízes na CQ é de apenas 3,9 t ha<sup>-1</sup>. Outra característica distintiva entre a camada F<sub>2</sub> e a H, além da percentagem de material fino, é que, nesta última, a quantidade de raízes é sempre maior (Figura 3).

### Húmus como elemento diagnóstico

A comparação das formas de húmus entre a capoeira (CQ) e a mata primária (MA) permitiu ressaltar as diferenças no perfil húmico de ambas, como a presença da camada F<sub>2</sub> no horizonte holorgânico da CQ, resultando em um estoque total de matéria orgânica 2 t ha<sup>-1</sup> maior que na MA. Com relação ao horizonte hemiórgânico, observaram-se concentrações de nutrientes menores que na MA, indicando que estas não foram restabelecidas, apesar de passados 40 anos.

Kindel et al. (1999) encontraram resultados semelhantes na Capoeira de Extração (CE) da RFL, verificando-se em relação a MA o mesmo acúmulo de matéria orgânica, proveniente da camada F<sub>2</sub>. Neste caso, no entanto, houve um aumento da quantidade de C e da fertilidade no horizonte hemiórgânico. Ambas as capoeiras, apesar de passados quase 40 anos da data da intervenção, apresentaram seus perfis húmicos alterados de alguma forma quando comparados aos da MA. A alteração da vegetação por meio do corte e da queima (CQ) e da extração (CE) explicam estas diferenças, já que o tipo de solo destas áreas é o mesmo e as condições climáticas também. A baixa concentração de N na camada L da CQ corrobora esta hipótese. A acumulação nos horizontes holorgânicos foi, da mesma forma, observada por Grubb et al. (1994) em uma floresta interferida em Singapura. Os autores acreditam que os baixos teores de N e P da vegetação dominante (*Adinandra dumosa*) sejam os responsáveis pela baixa velocidade de decomposição.

Os resultados evidenciam que as diferenças das formas de húmus entre as áreas interferidas e a floresta primária podem ser usadas como um indicador da perturbação sofrida pelo ecossistema, lembrando-se que determinadas variáveis comportam-se de modo diferente, dependendo da intervenção: na CQ, o solo é mais pobre que na MA e, na CE, mais rico.

### CONCLUSÕES

1. O acúmulo de matéria orgânica nos horizontes holorgânicos e os menores valores de *K* indicaram que a velocidade de decomposição na MC e na CQ foi inferior à velocidade de decomposição na MA.

2. O húmus da MA e CQ foi classificado como mull mesotrófico tropical e como mull oligotrófico tropical na MC.

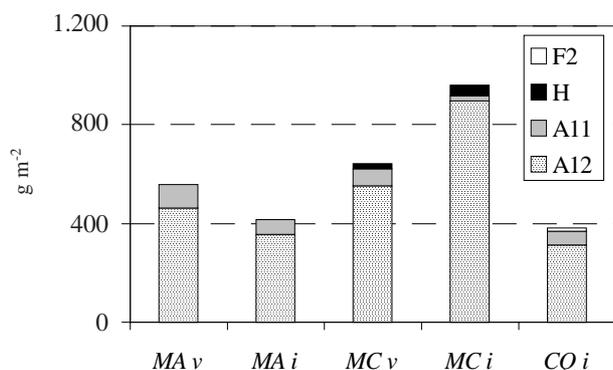


Figura 3. Distribuição de raízes finas no perfil húmico. MA: Mata Alta, MC: Mata de Córrego e CQ: Capoeira Queimada. v: verão e i: inverno.

3. Apesar de passados quase 40 anos, a fertilidade do solo da CQ ainda não foi restabelecido pois os teores de nutrientes do horizonte hemiórgânico foram menores que na MA.

4. O acúmulo de matéria orgânica, evidenciado principalmente pela presença da camada F<sub>2</sub> e a menor fertilidade do solo, no caso da CQ, podem ser vistos como indicadores de sistemas perturbados em Mata Atlântica de Tabuleiros.

### AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Renato Moraes de Jesus, diretor da Reserva Florestal de Linhares (de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce), pelo apoio inestimável e por ceder os dados meteorológicos. Aos seus funcionários Gilson e Agostinho (*in memoriam*), pela ajuda de campo. À EMBRAPA-CNPS, nas pessoas de Daniel Vidal Pérez, pela análise das amostras de solo, e de Raphael Davi dos Santos, pelos dados e explicações de tipos de solos da RFL. À Patrícia Barbosa, pelo auxílio no tratamento das amostras. Aos revisores que muito contribuíram para uma melhor compreensão do trabalho.

### LITERATURA CITADA

- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79:439-449, 1997.
- 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, Springer-Verlag, 1975. p.369-473.
- BARROS, M.E.O.; KINDEL, A. & GARAY, I. Comparação dos horizontes húmicos em dois ecossistemas de Floresta Atlântica: Mata de Tabuleiros e Mata de Encosta. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, São Paulo. Anais. São Paulo, Academia de Ciencia. 1994. p.100-113.
- 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 Constitutans et propriétés du sol. Paris, Masson, 1994. p.143-211.
- BRETHES, A.; BRUN, J.J.; JABIOL, B.; PONGE, J. & TOUTAIN, F. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Ann. Sci. For.*, 52:535-546, 1995.
- CERRI, C.C.; ANDREUX, F. & EDUARDO, B.P. O Ciclo do Carbono no Solo. In: CARDOSO, E., TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P., eds. *Microbiologia do Solo*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.73-90.
- DUCHAUFOR, P. & TOUTAIN, F. Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. *Bull. Ecol.*, 17:1-9, 1985.
- DUCHAUFOR, P. *Pédologie. Sol, végétation, environnement*. Paris, Masson, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979. 255p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FURCH, K. & KLINGE, H. Chemical relationships between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. In: PROCTOR, J., ed. *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1989. p.189-204.
- GARAY, I. & KINDEL, A. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica. Valor indicador das formas de húmus florestais. In: GARAY, I. & DIAS, B., org. *Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Petrópolis, Editora Vozes, 2001. p.350-368.
- GARAY, I. & SILVA, B.A.O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. In: ESTEVES, F., ed. *Oecologia Brasiliensis: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas*. Rio de Janeiro, 1995. p.19-46.
- GARAY, I.; BARROS, M.E.O. & KINDEL, A. Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems. I. The Shrubby-Arboreal 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. & 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.; 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. *Oecologia Brasiliensis: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas*. Rio de Janeiro, 1995a. p.1-18.
- GREEN, R.N.; TROWBRIDGE, R.L. & KLINKA, K. Towards a taxonomic classification of humus forms. *For. Sci. Monogr.*, 29:1-48, 1993.
- 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. Anais. Rio de Janeiro, 1987. p.35-71.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. Relações solo-planta. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1979.
- KINDEL, A.; BARBOSA, P.M.S.; PÉREZ, D.V. & GARAY, I. Efeito do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na matéria orgânica e outros atributos do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 23:465-474, 1999.

- LEPAGE, M. Structure et dynamique des peuplements de térmites tropicaux. *Acta Oecol.*, 1: 65-87, 1983.
- MALAGON, D.; SEVINK, J. & GARAY, I. Methods for soil analysis. In: VAN DER HAMMEN, T.; MÜELLER-DOMBOIS, D. & LITTLE, M.A, eds. *Manual of Methods for Mountain Transect Studies. Comparative Studies of Tropical Mountain Ecosystems.* Paris, IUBS, 1989. p.29-40.
- MEENTMEYER, V. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, 59: 465-472, 1978.
- MEIS, M.R.M. Contribuição ao estudo do Terciário Superior e Quaternário da baixada da Guanabara. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, UFRJ, 1976.
- MELILLO, J.M.; ABER, J.D. & MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63: 621-626, 1982.
- MORELLATO, L.P. Nutrient cycling in two south-east Brazilian forests. I Litterfall and litter standing crop. *J. Trop. Ecol.*, 8:205-215, 1992.
- OLSON, J. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44:321-331, 1963.
- PEIXOTO, A.L. & GENTRY, A. Diversidade e composição florística da Mata de Tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). *R. Bras. Bot.*, 13:19-25, 1990.
- PELLENS, R. & GARAY, I. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* Wild (Leguminosae) in Brazil. *Eur. J. Soil Biol.*, 35:77-89, 1999.
- RAMOS, M.C.L. & PELLENS, R. Produção de serapilheira em ecossistemas de restinga em Maricá, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, São Paulo. Anais. São Paulo, Academia de Ciência, 1994. p.89-98.
- 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.
- SANTOS, R.D. Levantamento expedito dos solos das reservas florestais de Linhares e Sooretama no Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, (no prelo).
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1979. 372p.
- TOUTAIN, F. Les humus forestiers. Structures et modes de fonctionnement. *R. Forest. Française*, 33:449-477, 1981.
- TOUTAIN, F.; DIAGNE, A. & LE TACON, F. Effets d'apports d'éléments minéraux sur le fonctionnement d'un écosystème forestier de l'Est de la France. *R. Écol. Biol. Sol*, 24:283-300, 1987.
- WESEMAEL, B. & VEER, A.C. Soil organic matter accumulation, litter decomposition and humus forms under Mediterranean-type forests in southern Tuscany, Italy. *J. Soil Sci.*, 43:133-144, 1992.

