

**Relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  nos horizontes húmiferos superficiais e nos horizontes escuros profundos dos solos de campo e mata da região de Campos do Jordão, São Paulo, Brasil**  
MODENESI, M. C.<sup>1</sup>; MATSUI, E.<sup>2</sup>; VOLKOFF, B.<sup>3</sup>

RESUMO

Nos solos do planalto de Campos do Jordão ocorrem, com frequência, sob vegetação natural de campo ou de mata, horizontes escuros húmiferos profundos, muitas vezes interpretados como níveis orgânicos enterrados por cobertura coluvial.

O objetivo deste trabalho é verificar se, através do estudo da composição isotópica do carbono da matéria orgânica dos horizontes superficiais e dos horizontes escuros profundos, pode-se chegar a definir a tendência de expansão da vegetação no planalto. A concentração em isótopos  $^{13}\text{C}$  nos horizontes superficiais varia com a cobertura vegetal e é diferente sob campo e sob mata. Nos horizontes escuros profundos, esta concentração apresenta valores intermediários, próximos daqueles do húmus da floresta. Isto pode ser explicado de dois modos. O carbono dos horizontes húmiferos profundos proviria de uma vegetação mista (campo com algumas espécies da mata), semelhante a encontrada

atualmente em certas partes das vertentes atingidas por movimentos de massa. Esta vegetação, caracterizada por composição isotópica intermediária, teria sido recoberta por colúvio; ou ainda o carbono poderia provir de um húmus formado a partir de produtos orgânicos liberados pelos horizontes superficiais de solos situados à montante. Neste caso, a composição isotópica das substâncias húmicas móveis precipitadas não mais refletiria nitidamente a natureza da vegetação superficial.

Os resultados obtidos são ainda insuficientes para permitir conclusões sobre a origem do carbono dos horizontes profundos dos solos e portanto sobre a evolução e expansão da vegetação no planalto, mas indicam uma via a ser explorada em trabalhos futuros.

INTRODUÇÃO

A relação  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  não é a mesma em todas as substâncias vegetais, varia de acordo com o ciclo fotossintético utilizado pelas plantas. Plantas de ciclo  $\text{C}_4$ , como as gramíneas, tem valo-

mentaire ORSTOM  
1598 Ex: 1

vez que este resulta diretamente da transformação dos resíduos vegetais. Sob este aspecto, o humus dos solos recobertos por campo, principalmente por gramíneas, deveria diferenciar-se nitidamente do humus de solos de mata.

No planalto de Campos do Jordão, a vegetação distribui-se em mosaico característico. Campos de altitude predominam no topo dos morros e no setor mamelonizado das vertentes. Matas recobrem os anfiteatros de erosão e as áreas das vertentes onde os solos, e principalmente o regolito, apresentam uma relativa reserva de minerais primários (2). Relações encontradas entre morfogênese, grau de intemperismo e distribuição das formações vegetais contrastadas de campo e mata (2) sugerem uma dinâmica relacionada aos processos geomórficos atuantes nas vertentes. A tendência à expansão das florestas sobre os campos, apontada por Azevedo (3) em áreas onde a proteção à floresta é mais eficiente, parece estar condicionada à dinâmica morfogenética. O avanço da floresta sobre os campos far-se-ia progressivamente, acompanhando a dissecação das encostas. O limite entre campo e mata é sempre nítido, sem apresentar transição entre os dois tipos de vegetação (3) mas, nas partes das vertentes atingidas por movimentos de massa relativamente recentes, pode ocorrer recobrimento vegetal misto (campo com elementos da floresta).

Os solos da região de Campos do Jordão apresentam com frequência, sob vegetação de campo ou de mata, horizontes húmiferos sub-superficiais, mais ou menos escuros, situados a profundidades de 1 a 2m (2). Tais horizontes podem ser interpretados como antigos horizontes superficiais húmiferos, enterrados por colúvios, em determinado momento da evolução das vertentes.

Os horizontes escuros profundos poderiam também ser interpretados como horizontes de acumulação do humus transportado pelas águas de drenagem, que circulam preferencialmente na zona

de contato entre os materiais "in situ" e o colúvio. Efetivamente, como demonstram pesquisas anteriores (4), o humus destes horizontes apresenta todas as características de um humus de precipitação e é bastante diferente daquele de horizontes superficiais.

O estudo da composição isotópica do carbono da matéria orgânica dos horizontes escuros profundos e a comparação com a composição do carbono das matérias orgânicas dos horizontes superficiais, sob cobertura de mata ou de campo, deverá fornecer esclarecimentos sobre a origem do carbono encontrado em profundidade. Os resultados assim obtidos poderiam contribuir para o conhecimento da evolução e expansão da vegetação de campo e mata no planalto.

O planalto de Campos do Jordão situa-se na porção oriental do Planalto Atlântico. Em seus topos, subniveados a altitudes de 1950 a 2050m, podem ser reconhecidos indícios da superfície dos "altos campos" (5) ou do Japí (6): A deformação da antiga superfície, acentuada no Plioceno (7), resultou em marcante individualidade climática quaternária que caracteriza o planalto como um enclave de altitude no "domínio morfoclimático dos mares de morros" (8). Movimentos de massa e recobrimento coluvial nas vertentes, horizontes de solo escuros, superficiais e profundos, são elementos de um sistema de paisagem específico de montanha tropical.

O clima do planalto é caracterizado por temperaturas médias anuais em torno de 14,5°C, com mínimas de inverno inferiores a -3°C e frequente ocorrência de geadas. A pluviosidade varia muito, com totais anuais entre 1200 e 2300mm.

Os solos foram descritos por Oliveira et alii (9) no Parque Estadual de Campos do Jordão.

#### MATERIAL E MÉTODOS

SOLOS - Foram selecionados três perfis de solo sob vegetação de

campo, quatro sob mata e um perfil sob vegetação mista de campo e mata. Um dos perfis analisados sob vegetação de campo (MCM 11), no topo de um morro de 1820m de altitude, é um solo raso, pouco evoluído. Apresenta horizonte  $A_{11}$  de 15cm de espessura, horizonte de transição  $A_3$  (15-35cm) e horizonte BC constituído por mistura de rocha alterada e material terroso de cor amarelo-avermelhada. Os outros dois solos de campo (MCM 31 e MCM 33) apresentam um horizonte escuro profundo. São cambissolos, situados em vertentes de inclinação relativamente forte (139). Seus perfis mostram horizonte  $A_{11}$  (0-10cm) bruno, argiloso, com estrutura grumosa, horizonte  $A_{12}$  (10-30cm) da mesma cor que o superior mas com estrutura maior, de tendência prismática, horizonte de transição  $A_3$  (30-60cm) mais claro, argiloso, com estrutura prismática e horizonte B. Este, com espessura aproximada de 1m, argiloso, bruno-claro a amarelo, com estrutura muito grande, torna-se, na base, progressivamente avermelhado, mais finamente estruturado, com zonas onde ainda se reconhece a estrutura da rocha subjacente. Entre a parte amarela e a parte avermelhada ocorre frequentemente uma linha de seixos e blocos de quartzo. O horizonte escuro profundo desenvolve-se no material amarelo: no perfil MCM 31 encontra-se a 70-80cm de profundidade e no perfil MCM 33 a 150cm.

Sob floresta foi coletado, na base de um anfiteatro de erosão, um perfil de solo hidromórfico (MCM 21) constituído por horizonte superficial de 15cm de espessura, preto, muito húmifero, recobrendo material argiloso cinza amarelado. Os dois outros perfis são solos "podzólico-latossólico húmicos". O primeiro (MCM 12) está a alguns metros do limite da mata com o campo e o segundo (MCM 13) a aproximadamente 50cm. do mesmo. Ambos tem horizontes A espessos, pretos, muito húmiferos, subdivididos em  $A_{11}$  (0-30cm) rico em raízes finas, com estrutura grumosa fina e  $A_{12}$  (30-40cm) igualmente preto, com menor número de raízes e estrutura grumosa muito fina. O horizonte A passa a um horizon-

te  $B_2$  vermelho-amarelado com estrutura mal definida, mais ou menos contínuo; o nível da rocha alterada é atingido a aproximadamente 2m de profundidade. O quarto perfil sob mata é um latossolo. Localiza-se na parte lateral de um grande anfiteatro de erosão (MCM 32). Apresenta horizonte A (0-40cm) de cor bruna muito escura, horizonte B amarelo, de estrutura maciça friável, com mais de 1m de espessura e horizonte preto (Ch), húmifero, com estrutura maciça, entre 150 e 200cm de profundidade, acima da rocha alterada de cor clara.

Sob vegetação mista de campo e mata (MCM 22), foi coletado o horizonte superficial bruno (0-20cm) de um solo desenvolvido em depósito de vertente, num pequeno patamar a montante de anfiteatro de erosão.

MEDIDAS DE  $\delta^{13}C$  -  $0. \delta^{13}C$  foi medido no  $CO_2$  obtido por combustão completa da matéria orgânica do solo. Uma amostra de 5 a 30mg, suficiente para se obter cerca de 0,1 milimol de  $CO_2$ , foi colocada num tubo de pyrex com 1,0g de  $CuO$ . O tubo foi evacuado até  $10^{-3}$  torr., selado e levado ao forno por 16 horas. Após o resfriamento, o  $CO_2$  foi purificado utilizando banhos de gelo seco e nitrogênio líquido. O  $CO_2$  assim preparado foi medido no espectrômetro de massa modelo MM602E da VG MICROMASS e os valores de  $\delta^{13}C$  com relação ao padrão PDB foram determinados:

$$\delta^{13}C = \left( \frac{^{13}C/^{12}C \text{ amostra}}{^{13}C/^{12}C \text{ padrão}} - 1 \right) \cdot 1000$$

Os desvios absolutos máximos são de 0,1%.

#### RESULTADOS

No horizonte A dos solos de floresta, os valores  $\delta^{13}C$  estão compreendidos entre -26 e -27‰ (tabela 1). Valores semelhantes foram encontrados tanto para os solos perfeitamente drenados em superfície (MCM 12, 13, 32), como para o solo mal drenado (MCM 21). A distância do limite com o campo também parece

não modificar a relação. Os subhorizontes A<sub>11</sub> e A<sub>12</sub> apresentam pequena diferença; A<sub>12</sub> parece sistematicamente um pouco mais rico em <sup>13</sup>C. Em toda a espessura do horizonte A dos solos de floresta <sup>13</sup>C passa de -26, -27% a -25, -26%, a variação é portanto pequena. O <sup>13</sup>C do horizonte escuro profundo do perfil MCM 32 é -24,5% valor que, comparado ao dos horizontes A superficiais, caracteriza-o como relativamente mais rico em <sup>13</sup>C.

Os valores <sup>13</sup>C dos horizontes A<sub>11</sub> dos solos de campo (-13,9 e -15,2%) são sensivelmente diferentes daqueles dos solos de floresta. O <sup>13</sup>C dos horizontes escuros profundos é -22%. Há portanto uma diferença nítida entre a composição isotópica do carbono superficial e aquela dos horizontes escuros. A composição isotópica do carbono de profundidade aproxima-se da-

quela do carbono dos horizontes profundos dos solos de floresta.

Sob vegetação mista, o <sup>13</sup>C do horizonte A<sub>11</sub> é -18%, valor intermediário entre aqueles encontrados nos horizontes A<sub>11</sub> de floresta (-27%) e de campo (-14 e -15%), mas consideravelmente superior ao dos horizontes escuros (-25 e -22%).

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O <sup>13</sup>C dos horizontes superficiais reflete perfeitamente as diferentes origens do carbono dos solos. A cada tipo de vegetação corresponde um tipo de húmus diferente. O húmus formado a partir da matéria vegetal fornecida pela vegetação de campo é bem mais rico em <sup>13</sup>C do que o húmus produzido pela floresta. A vegetação mista, encontrada sobre certos depósitos de vertente, cor-

TABELA 1 - MEDIDAS DE <sup>13</sup>C E TEORES EM CARBONO DE AMOSTRAS DE HORIZONTES HUMÍFEROS SUPERFICIAIS E PROFUNDOS DE SOLOS DE CAMPO E DE MATA

| PERFIL | Nº AMOSTRA | HORIZONTE CORRESPONDENTE | C % | PROF. DA CAMADA AMOSTRADA (cm) | <sup>13</sup> C ‰ |
|--------|------------|--------------------------|-----|--------------------------------|-------------------|
|--------|------------|--------------------------|-----|--------------------------------|-------------------|

responde uma composição isotópica intermediária.

Nos horizontes A muito espessos dos solos de floresta,  $\delta^{13}\text{C}$  aumenta ligeiramente com a profundidade mas nunca ultrapassa -24%. Estes resultados concordam plenamente com outros obtidos anteriormente (10,11). O horizonte húmifero profundo dos solos de floresta analisados apresenta características isotópicas de um humus de floresta.

Os horizontes escuros dos solos de campo não tem, aparentemente, nenhuma relação com as características dos horizontes superficiais dos campos. Este fato permite afirmar que os horizontes escuros dos solos de campo não são, em caso algum, horizontes húmiferos superficiais de solos de campo enterrados. Nestas condições o seu humus resultaria da transformação da matéria vegetal fornecida por uma vegetação mista (campo com algumas espécies da mata). Esta hipótese não pode ser plenamente aceita por ainda não se poder afirmar, com certeza, que a matéria orgânica da vegetação de campo seja incapaz de produzir substância húmica com valores  $\delta^{13}\text{C}$  próximos a -22%. Com efeito, nos solos sob floresta o carbono dos horizontes superficiais tem características isotópicas próximas do material vegetal fornecido pela floresta, enquanto o carbono dos horizontes húmiferos subsuperficiais, isto é, o carbono associado às substâncias húmicas móveis é mais rico em  $^{13}\text{C}$ . Há portanto um fracionamento isotópico do carbono dentro do solo. Em relação ao humus dos campos, não se sabe se tal fracionamento ocorre e se há perda ou ganho de  $^{13}\text{C}$ . Estudos nesse sentido deveriam ser aprofundados.

A hipótese inicial admitia uma invasão do campo pela mata. Haveria colonização por espécies de mata das áreas mais instáveis das vertentes, atingidas por movimentos de massa e colúvionamentos sucessivos. Nestas áreas uma cobertura vegetal mista antecederia a mata. Isto não pode ser confirmado porque características isotópicas de material ve

getal proveniente da vegetação mista foram encontradas apenas no humus dos horizontes escuros profundos dos solos de campo. Seria portanto necessária uma amostragem mais ampla procurando detectar sob a mata, em subsuperfície, valores  $\delta^{13}\text{C}$  correlacionáveis a uma vegetação mista ou de campo. Estudos futuros deverão ser orientados nesse sentido, além de aprofundar as indagações anteriormente formuladas sobre o humus dos solos dos campos.

#### ABSTRACT

At the Campos do Jordão Plateau, both forest and grassland soils frequently present black humic deep horizons which might be interpreted as surficial and buried by colluvia.

The isotopic concentration of  $^{13}\text{C}$  in the surficial horizons is a function of plant cover, being different under forest or grasslands. Deep, black humic horizons show intermediate concentrations equivalent to those of forest humus. This could have two explanations. Carbon from deep horizons could result from a mixed vegetal cover (grassland with some forest species) similar to that of some slope areas affected by mass movement; characterized by intermediate isotopic composition this vegetation has possibly been covered by colluvium. Carbon from deep horizons could also be associated with the vertical accretion of organic matter from upslope surficial horizons. In this case, the isotopic composition of precipitated humic substances will not reflect the nature of previous vegetation.

The purpose of this research has been to study the Carbon isotopic composition of both surficial and deep humic horizons in order to define the expansion trend of grasslands and forest on the Campos do Jordão Plateau. Analytical results are as yet insufficient to allow conclusions on the origin of the Carbon of deep horizons and thus on the vegetation evolution. However, they suggest the path for future research.

## BIBLIOGRAFIA

1. LERMAN, J.C. e THROUGHTON, J.H. - 1975 - Carbon Isotope Discrimination by Photosynthesis: implications for the Bio and Geosciences. In Proceed. 2nd Intern. Conf. Stable Isotope. Klein, Er; Klein, P.D. (Edit.) (Argonne Nat. Lab., III, USA) 1975, p.630-644.
2. MODENESI, M.C. - 1980 - Intemperismo e Morfogênese no Planalto de Campos do Jordão (SP). Rev. Bras. Geoc. 10(4):213-225.
3. AZEVEDO, L.G.de - 1965 - Contribuição à delimitação dos tipos de vegetação do Estado de São Paulo: região de Campos do Jordão. Arqu.Bot.Est.SP. 4(1):11-21.
4. VOLKOFF, B; CERRI, C.C. e MELFI, A.J. - 1982 - Humus e Mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. Rev.Bras.Ciën.Solo.(no prelo)
5. DE MARTONNE, E. - 1940 - Problèmes morphologiques du Brésil Tropical Atlantique. Ann.Géogr. 49 (277) 1-27 e (278-279): 106-129. Tradução Rev.Bras.Geogr. 5(4): 523-550 e 6 (2):155-178, 1943/1944.
6. ALMEIDA, F.F.M.de - 1964 - Os fundamentos geológicos do relevo paulista. In "Geologia do Estado de São Paulo". Secr.Agric. Est.SP, Inst.Geogr., Bol. (41): 167-263.
7. ALMEIDA, F.F.M.de - 1976 - The system of Continental Rifts bordering the Santos Basin, Brazil. In Continental Margins of Atlantic Type. Proceed. Intern. Symp. Contin. Margins Atl. Type, S. Paulo, 1975. Anais Acad. Bras. Ciên. 48(Supl.): 15-26.
8. AB'SABER, A.N. - 1966 - O domínio morfoclimático dos mares de morros no Brasil. IGEOG USP, Geomorfologia (2), 9p.
9. OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. e ROTTA, C.C. - 1975 - Solos do Parque Estadual de Campos do Jordão. Silvicultura em São Paulo, Rev. Inst. Flor. Est. SP, Coord. Pesqu. Rec. Nat. 9:125-155.
10. FLEXOR, J.M. e VOLKOFF, B. - 1977 - Distribution de l'isotope stable  $^{13}\text{C}$  dans la matière organique d'un sol ferrallitique de l'Etat de Bahia (Brésil). C.R. Ac. Sc. Paris t. 286. Série D - 1655-1657.
11. VOLKOFF, B.; FLEXOR, J.M.; SANTA ISABEL, L. e SANTA ISABEL, M. - 1978 - Natureza do humus nos latossolos distróficos da Bahia. Rev. Bras. Ciën. Solo 2: 59-63.