

**MONITORAMENTO GEOQUÍMICO EM COBERTURAS PEDOLÓGICAS:
APLICAÇÃO AO ESTUDO DE SOLOS DA AMAZÔNIA**

G.C. Rocha¹, C.C. Cerri²

1. Departamento de Geociências, Universidade de Londrina, PR

2. Seção de Química do Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, SP

ABSTRACT

The methods of the test mineral and the exchange cations resin were used to monitor the geochemical dynamics of a soil mantle over basic rocks in the region of Altamira, Pará state, Brazilian Amazon. A macroscopic vermiculite was used as test mineral, and the Dowex 50wx-8 was the synthetic resin. These materials, considered as "geochemical traps", were separately put in small nylon bags and inserted into the soil horizons. After one year of permanency in the soils, the bags were extracted and the materials analysed with chemical (CEC) and mineralogical (X rays diffractometry) methods. The chemical results showed diminution of the CEC of the test mineral, as well as high mobilization of bases in the geochemical environment. The structural modifications observed with X rays in the test mineral appointed to a "chloritization" of the initial vermiculite, with formation of interlayer brucite. The interpretation of the results defined as acid and complexant geochemical environment, favoring the podzolization of the soils of the studied area. The utilization of the methods has a potential application in the studied of pedogenesis and soil pollution.

RESUMO

Utilizou-se o método dos minerais-teste e o método das resinas trocadoras de íons para se monitorar a dinâmica geoquímica, ao longo de um ano, em um toposequência de solos sobre rochas básicas da região de Altamira, no Pará. Como mineral-teste, utilizou-se vermiculita macroscópica, e como resina sintética, a de marca comercial Dowex, catiônica (50wx-8), materiais que foram separadamente acondicionados em saquinhos de nylon de malha 33 microns e inseridos em galerias ao longo do perfil dos solos. As amostras foram submetidas à análises químicas como a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e mineralógicas (difratometria de raios X). Os resultados químicos mostraram diminuição da CTC do mineral-teste utilizado, assim como alta mobilização de bases no ambiente geoquímico. As modificações estruturais observadas nos minerais-teste aos raios X apontaram para uma "cloritização" da vermiculita inicial, com formação de camadas brucíticas interlamelares. A interpretação dos resultados definiu para a cobertura pedológica estudada um ambiente geoquímico ácido e complexante, favorecendo a podzolização dos solos da área. A utilização dos métodos em conjunto apresenta potencial para estudos de pedogênese e poluição de solos.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento ambiental dos vários ecossistemas terrestres necessita de ferramentas adequadas para atingir plenamente seus objetivos.

Em países de clima tropical e subtropical como o Brasil, as espessas coberturas pedológicas são sede de importantes processos biogeoquímicos que possuem estreita relação com a vida no planeta.

O monitoramento destes processos torna-se de fundamental importância, não só para se compreender o ciclo geoquímico dos elementos naturais, assim como para se estudar os mecanismos da poluição dos solos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para o monitoramento ambiental de coberturas pedológicas, a qual faz uso de resinas sintéticas trocadoras de íons e dos chamados minerais-teste.

METODOLOGIA

Método da vermiculita microscópica como mineral teste

De modo a se estudar a dinâmica atual dos solos, utilizou-se o método dos minerais-teste, adaptado de Ranger & Robert (1985), Hatton et al. (1987) e Ranger et al. (1986), o qual é descrito a seguir: partiu-se de cristais centimétricos do mineral vermiculita, obtido na região de Catalão, Goiás, o qual foi moído e peneirado até se obter material no diâmetro compreendido entre 0,149 e 0,250 mm. Pesou-se 5 gramas, que foram colocadas em saquinho de nylon (Mono-Ti, UGB, Panissières, França), com dimensões de 7 por 3 cm e malha de 33 microns. Cada saquinho, devidamente lacrado, foi inserido em galeria de aproximadamente 5 cm de diâmetro por 100 cm de profundidade, perfurada nas paredes das trincheiras abertas para o estudo dos solos; uma etiqueta numerada, de placa de alumínio.

nio, foi amarrada ao saquinho por fio de nylon, ficando, desse modo, de fora da galeria (Fig. 1). As galerias foram perfuradas seguindo-se a morfologia dos perfis, e em cada uma delas foram colocados dois saquinhos com vermiculita (2 repetições), fechando-se em seguida as galerias para se tentar manter as condições naturais do solo. Trabalhou-se em uma toposequência de solos desenvolvidos sobre rochas básicas da região de Altamira, Pará, a qual foi estudada em detalhe por Rocha (1990).

As amostras foram inseridas em julho de 1987 e retiradas dos solos em maio de 1988 (correspondendo às estações seca e chuvosa, alternadas). A amostra de vermiculita-testemunho (mineral original) e as amostras que permaneceram no solo foram submetidas às seguintes caracterizações analíticas: pH em água, usando-se a relação 1:25 entre a vermiculita e água destilada, com leitura em peagâmetro após agitação; Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ , usando-se extrator HCl 0,05N e fazendo-se leitura em espectrofotômetro de absorção atômica; H^{++} e Al^{3+} , usando-se extrator HCl 1N para H + Al e titulação com NaOH 0,025N e fenolftaleína 1%; adição de fluoreto de sódio 4% e titulação com HCl 0,025N para Al^{3+} , determinando-se H^+ por diferença; Capacidade de Troca de Cátions (CTC), feita por cálculo, somando-se os cátions trocáveis com H+Al; C-total, usando-se 1 grama do mineral-teste na granulometria de trabalho, com leitura em aparelho LECO CHN 600; Difractometria de raios X, para amostras saturadas com potássio, magnésio, glicoladas e aquecidas; Fe^{3+} , Al^{3+} e Si^{4+} , analisados somente para o mineral-testemunho, usando-se os extratores citrato-bicarbonato-ditionito (Mehra & Jackson, 1960) e o tricitrato de sódio (Tamura, 1957).

Método da resina trocadora de íons

Como ferramenta auxiliar para o monitoramento da dinâmica atual dos solos, adaptou-se a técnica das resinas trocadoras de íons utilizada por Binkley & Matson (1983), Binkley (1984) e Binkley & Hart (1985). Trabalhou-se com a resina Dowex 50W X8, catiônica, com diâmetro de 29 a 50 mesh e CTC (a seco) de 5,1 meq/g, preparada do modo seguinte: lavagem com água destilada e soda 4N; secagem ao ar, ficando saturada com íons Na^+ . Pesou-se 15 gramas desse material, o qual foi colocado em saquinho de nylon e inserido no solo, como feito para o mineral-teste.

As resinas foram inseridas nos solos e amostradas nas mesmas épocas dos minerais-teste, seguindo a mesma disposição mostrada na Figura 1.

Para a região estudada, os elementos ferro, manganês, alumínio, cálcio e potássio foram extraídos das resinas através de percolação em coluna e lavagens sucessivas com HCl 1N, fazendo-se a dosagem em epectrômetro de emissão atômica com plasma induzido, com metodologia do INRA/CNRF (1988). Para essas amostras, determinou-se também o pH em 15 cc de água destilada, após agitação.

RESULTADOS

Minerais-teste

Caracterização química

Na Tabela 1 estão os resultados das análises químicas para a vermiculita instalada como mineral-teste na região Norte, após um ano no solo. O mineral original (vermiculita-testemunho) apresenta as se-

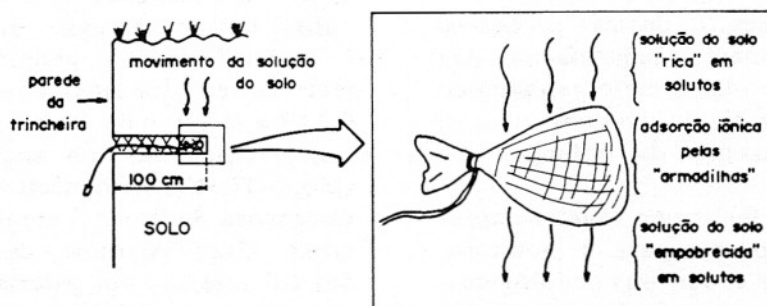


Figura 1 - Esquema de colocação e funcionamento das "armadilhas" de vermiculita e resina nos solos estudados.

Tabela 1 – Resultados das análises químicas dos minerais-teste instalados na região Amazônica, após um ano no solo.

Hor.	Prof. Instal.	Complexo Sortivo								C	N
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC			
cm		----- eqmg/100 g material -----								-- % --	
Terra Roxa Estruturada Latossólica (perfil AN)											
Bt	20	7,3	1,63	6,79	0,69	0,05	0,25	0,02	9,43	0,17	0,03
Bw	75	7,2	3,54	6,66	0,78	0,12	0,23	0,06	11,39	0,36	0,12
Bw	140	7,4	2,03	6,85	0,74	0,12	0,24	0,07	10,05	0,32	0,14
Terra Roxa Estruturada (perfil BN)											
Bt1	17	7,7	3,95	7,03	0,65	0,12	0,30	0,03	12,08	0,19	0,06
Bt2	75	7,6	2,56	6,07	0,74	0,10	0,25	0,02	9,74	0,14	0,04
Bt3	160	7,2	2,05	6,35	0,74	0,12	0,35	0,04	9,65	0,16	0,10
Terra Roxa Estruturada (perfil CN)											
A3	20	7,4	3,09	4,91	0,69	0,23	0,33	0,06	9,31	0,17	0,09
Bt2	100	7,7	2,08	6,09	1,22	0,15	0,20	0,02	9,76	0,18	0,06
Bt3	160	7,5	2,87	7,44	1,00	0,10	0,40	0,03	11,84	0,19	0,05
Testemunho		7,3	1,97	44,33	0,12	0,05	0,21	0,03	46,71	0,11	0,03
(mineral inicial)											

Hor.: horizonte de instalação do mineral-teste

Prof. Instal.: profundidade de instalação

CTC: capacidade de troca de cátions

guintes características químicas: Fe, Al e Si, dosados pelo método CBD, apresentam respectivamente os seguintes percentuais: 0,74; 0,50 e 0,20. Esses mesmos elementos, determinados pelo método do tricitrato, apresentam percentuais de 0,30; 0,14 e 0,64.

Comparando-se os resultados experimentais obtidos para os três solos da sequência estudada, com o mineral inicial, Figura 2, observa-se, principalmente, que houve diminuição significativa dos teores de magnésio e da CTC do mineral-teste após permanência no solo, assim como aumento relativo nos teores de sódio e cálcio adsorvidos nas vermiculitas para os três solos.

Partindo-se do teor de magnésio de 44,33 eqmg da vermiculita-testemunho, nota-se uma diminuição no teor desse elemento de modo semelhante para as vermiculitas instaladas nos três solos da região Norte, nas quais restou um teor médio de 6 a 7 eqmg de Mg, retidos nos sítios de troca do mineral-teste. A CTC da vermiculita

macroscópica, inicialmente com um valor de 46,71 eqmg/100 g, também variou de maneira semelhante nos três solos da sequência para valores médios de 9 a 12 eqmg, ou seja, houve diminuição por um fator, aproximadamente de quatro vezes.

O sódio, com um teor inicial de 0,12 eqmg adsorvido, aumentou por um fator mínimo de seis para as vermiculitas instaladas nos três solos.

O cálcio mostrou enriquecimento relativo principalmente nos horizontes menos profundos dos solos da encosta, passando de 1,97 eqmg, no testemunho, para 3,95 eqmg/100 g, no horizonte Bt1 da Terra Roxa Estruturada da meia encosta; e para 3,09 eqmg, no horizonte A3 da Terra Roxa do sopé da encosta. Para o solo do topo da vertente, o enriquecimento em cálcio deuse, ao contrário, em horizonte de profundidade (B óxico), onde a vermiculita adsorveu 3,54 eqmg Ca/100 g material.

Para os demais elementos (K⁺, H⁺, Al³⁺), as variações dos teores, quando comparados com o mineral-testemunho, não

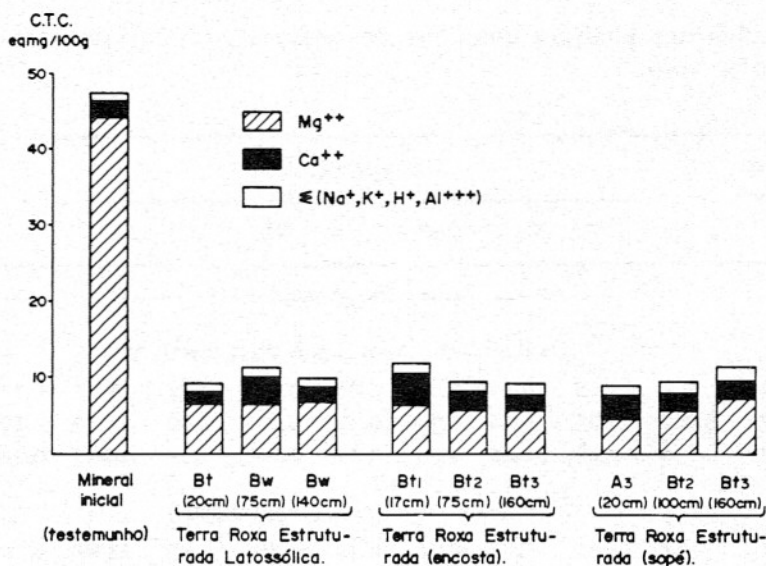


Figura 2 - Variação da CTC e dos principais cátions adsorvidos nos minerais-teste instalados na região amazônica, em relação ao testemunho.

foram marcantes.

Quanto ao carbono total, notou-se, em geral, aumento do percentual desse elemento em relação à amostra-testemunho, sendo que, nos horizontes inferiores do solo de topo da encosta da região Norte, esse incremento foi mais significativo, passando de 0,11%, no testemunho, para valores em torno de 0,30%, nos horizontes B daquele solo. Para os demais solos da encosta, o aumento foi, em média, em torno de 50%, atestando, entretanto, razoável "circulação" de carbono no ambiente pedogenético.

A variação do pH em água não foi significativa.

Caracterização mineralógica

Para se estudar as transformações mineralógicas ocorridas no mineral-teste após sua permanência no solo (modificações estruturais e químicas) foi empregada a difratometria de raios-X.

Na Figura 3, tem-se os difratogramas obtidos para o mineral-testemunho (vermiculita original), assim como para as amostras instaladas nos solos da região Norte, após pré-tratamentos empregados. Trabalhou-se somente com a difração de maior intensidade do mineral (001).

Inicialmente, nota-se que o mineral-testemunho saturado com K^+ à temperatura ambiente mostra dois picos, um compo-

nente mais representativo a 1,38 nm e um outro a 1,26 nm; é interessante colocar que a amostra-testemunho natural, sem pré-tratamento, também mostrou picos nessas mesmas posições.

A saturação com Mg^{++} , assim como a glicolação, unificou os picos, deslocando-os praticamente para a mesma região, ou seja, próximo a 1,5 nm.

Os aquecimentos também mantiveram os picos unificados, deslocando-os igualmente para 1,1 nm.

Assim, o mineral-testemunho se caracteriza, na saturação com K^+ , por um espaçamento predominante de praticamente 1,4 nm entre suas lâminas, sendo que algumas se fecham a 1,2 nm; a glicolação com Mg^{++} expande uniformemente o espaçamento a 1,5 nm, sendo que os aquecimentos aproximam igualmente as lâminas a 1,1 nm. O esquema da Figura 4 procura ilustrar o comportamento estrutural das lâminas do mineral testemunho, após os tratamentos empregados.

Não se conseguiu o fechamento das lâminas da vermiculita-testemunho a 1,0 nm, mesmo empregando-se tratamentos a quente na saturação com K^+ . Nos trabalhos consultados na literatura, tal fato se verifica, Ranger et al. (1986), Ranger & Robert (1985).

Pela Figura 3, pode-se observar que, para o horizonte B latossólico da Terra Roxa Estruturada Latossólica, o mineral-

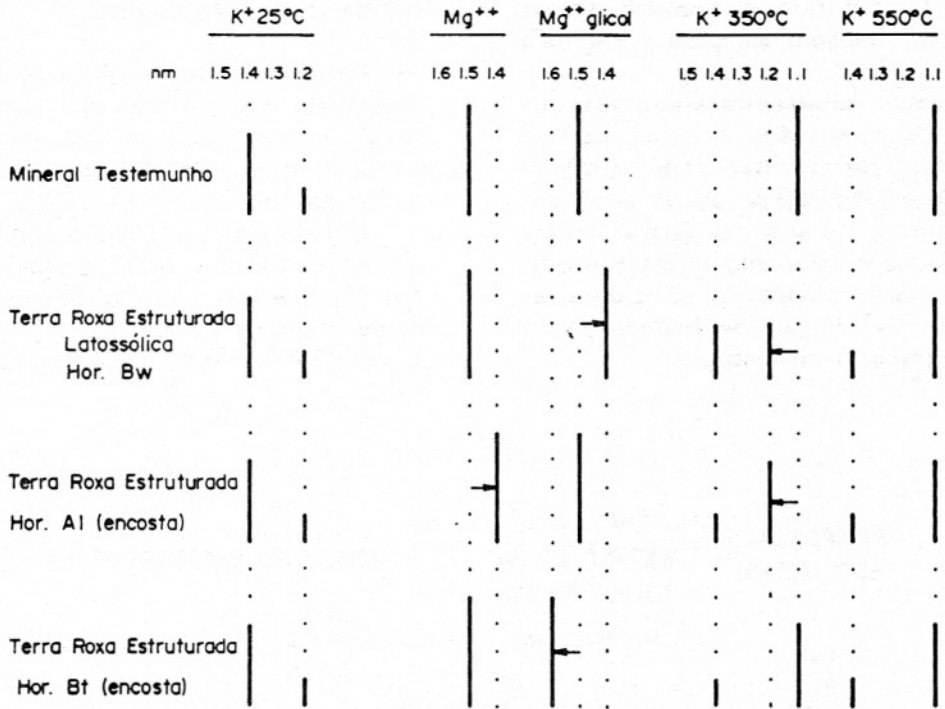


Figura 3 - Difractometria de raios X das vermiculitas instaladas na Amazônia, em comparação ao mineral-teste inicial.

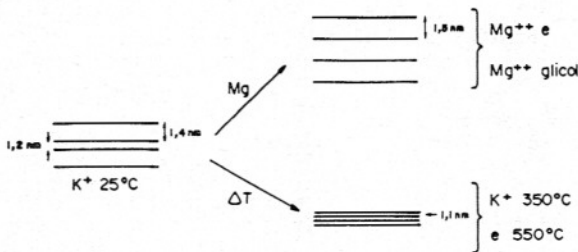


Figura 4 - Comportamento do mineral-teste face aos tratamentos empregados.

teste instalado e saturado com K⁺ a 25°C não mostrou variação significativa em relação ao testemunho, mantendo picos a 1,4 nm e 1,2 nm. Na saturação com Mg⁺⁺ e na glicolação, notou-se alguma modificação na posição dos picos em comparação ao testemunho, o pico do Mg⁺⁺ indo a 1,47 nm e o da glicolação, a 1,38 nm. A variação marcante, entretanto, verificou-se nos aquecimentos, onde a 350°C a maior parte das lâminas se fechou a 1,2 nm, sendo que algumas permaneceram a 1,4 nm; a 550°C, apesar de ter sido mantido o pico a 1,1 nm, notou-se um pequeno pico a 1,4 nm, indicando, provavelmente, bloqueio ao fecha-

mento total das lâminas a 1,1 nm, como verificado para o testemunho aquecido.

Para a Terra Roxa Estruturada na encosta, monitorada nos horizontes A1 e Bt22, nota-se que, para o tratamento com K⁺ a 25°C, não se evidenciaram diferenças em superfície nem em profundidade, na comparação com o testemunho. Na saturação com Mg⁺⁺, somente no horizonte A1 verificou-se um deslocamento do pico a 1,38 nm em comparação a 1,52 nm do testemunho; na saturação com Mg⁺⁺ e glicolação, o horizonte Bt22 é que imprimiu variação na posição do pico, o qual se deslocou para 1,57 nm em comparação a 1,47 nm do mineral inicial no mesmo tratamento.

Foram os aquecimentos que, também para esse solo, mostraram as variações mais significativas em relação ao mineral testemunho. Para o horizonte de superfície da Terra Roxa Estruturada, nota-se que a 350°C coexistem dois espaçamentos, 1,44 nm e 1,24 nm; e mesmo a 550°C mantém-se o pico a 1,42 nm, apesar de grande parte das lâminas se fecharem a 1,13 nm.

Comportamento praticamente semelhante se observa nos aquecimentos para o horizonte de profundidade desse solo: a 350°C vêem-se dois picos, 1,42 nm e 1,16 nm, enquanto a 550°C predomina o espa-

çamento de 1,1 nm entre as lâminas, apesar de permanecer também um pico a 1,47 nm nesse tratamento.

Em resumo, de maneira a se tentar esquematizar os resultados obtidos para o comportamento do mineral-teste instalado nos solos da região Norte, fez-se o esquema da Figura 5, no qual as barras representam os picos e suas intensidades relativas nos diversos tratamentos utilizados; as setas horizontais indicam os deslocamentos relativos ao mineral-testemunho.

Resina trocadora de íons

Para as resinas catiônicas amostradas juntamente com os minerais teste após um ano de permanência no solo, os resultados químicos após extração com HCl 1N estão na Tabela 2.

Constata-se que cálcio e magnésio foram os elementos mais retidos pelas resinas, para os três solos estudados, com teores variando de 0,47 a 1,66 eqmg/100 g para o cálcio e de 0,41 a 1,43 eqmg/100 g pa-

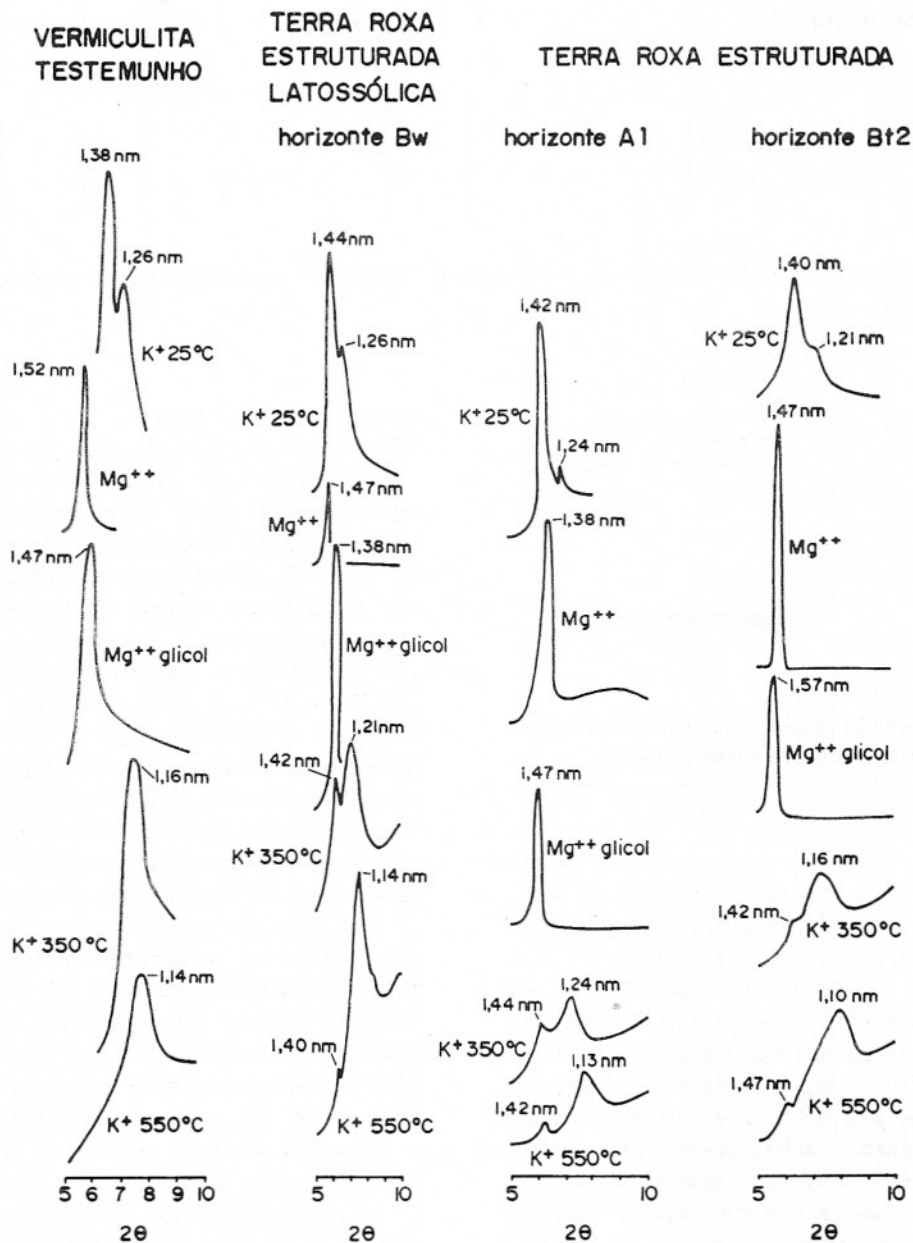


Figura 5 - Difratomogramas de raios-X dos minerais-teste instalados nos diversos horizontes dos solos da região amazônica.

Tabela 2 – Resultados das dosagens químicas para as resinas catiônicas instaladas na região Amazônica, após um ano no solo.

Horiz.	Prof.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Mn ⁺⁺
	cm	----- eqmg/100 g material -----					
Terra Roxa Estruturada Latossólica (AN)							
Bt	20	0,79	0,41	0,07	0,05	0,00	0,04
Bw	140	0,47	0,42	0,08	0,03	0,00	0,02
Terra Roxa Estruturada (BN)							
Bt1	17	1,66	1,43	0,02	0,03	0,00	0,02
Bt2	75	0,71	0,51	0,07	0,03	0,00	0,03
Terra Roxa Estruturada (CN)							
Bt2	100	1,24	0,97	0,03	0,04	0,00	0,02

ra o magnésio.

Nota-se que os horizontes superficiais de topo e meia encosta apresentaram os maiores teores de cálcio.

O HCl 1N não extraiu ferro das resinas, o qual, ou não foi retido por não estar em solução, ou se encontra adsorvido sob outras formas não retiráveis pelo extrator usado.

Alumínio, manganês e potássio extraídos mostraram baixos teores, em torno de centésimo de miliequivalente, o que indica uma solução do solo pobre nesses elementos.

DISCUSSÃO

A utilização dos métodos do mineral-teste e da resina trocadora de íons mostrou as tendências do funcionamento geoquímico atual do sistema pedológico da região Amazônica.

O mineral utilizado trata-se de uma vermiculita macroscópica hidróxi-alumínica, Barnhisel (1982), já que a amostra-testemunho, além de não se fechar a 1,0 nm mesmo no aquecimento a 550°C, apresentou teor de alumínio extraído pelo método CBD relativamente elevado, Hatton et al. (1987).

Esse bloqueio hidroxialumínico se reflete nas características químicas do mineral-testemunho, cuja CTC comparativamente baixa deve ser considerada como relativa para esse filossilicato, já que outras vermiculitas descritas na literatura apresentam CTC bem mais elevada, Felix (1987).

Os resultados químicos obtidos com as resinas iônicas revelou alta mobilização de cálcio e magnésio, principalmente no volume pedológico superficial (horizonte A), sugerindo um ambiente geoquímico alcalino a neutro.

As modificações estruturais do mineral-teste instalado e amostrado após um ano no solo foram relativamente semelhantes para todos os volumes pedológicos monitorados na região Amazônica.

Essas modificações se tornaram mais evidentes nas amostras aquecidas a 350°C e 550°C, revelando de maneira geral uma "cloritização" dos minerais, com o aparecimento de picos à 1,4 nm, que é o pico da clorita, Besoain (1985).

Esse processo pode ser explicado levando-se em conta a riqueza do meio em magnésio, íon que teria penetrado entre as lâminas de vermiculita, estabilizando-se como uma camada brucítica, a qual não foi extraída mesmo à temperaturas elevadas.

O bloqueio da vermiculita pelo alumínio, aliado à estabilização desse mineral pelas pontes de magnésio da camada brucítica, Barnhisel (1982), são fatores que podem explicar a drástica redução da CTC do mineral-teste instalado no sistema estudado.

Verifica-se pela Figura 2 que o complexo sortivo do mineral-teste foi preenchido predominantemente pelos íons cálcio e magnésio, fato que confirma o ambiente geoquímico definido pelos resultados obtidos com as resinas catiônicas.

As bases para interpretação dos re-

sultados obtidos até agora com a utilização de minerais-teste, Ranger & Robert (1985), Hatton et al. (1987), Felix (1987) e Righi et al. (no prelo), têm se apoiado no trabalho experimental de Robert et al. (1979): em um meio ácido e complexante (podzolização), a vermiculita seria submetida a um processo de desestabilização, com sua CTC progressivamente saturada com magnésio por acumulação relativa. Em um meio ácido não complexante, o alumínio tenderia a se acumular entre as lâminas do mineral, formando vermiculita hidroxialuminosa.

A riqueza da solução do solo em magnésio e cálcio, aliada às características de saturação iônica do mineral teste instalado, e à desestabilização relativa da vermiculita, evidenciam, como sendo mais coerente, a hipótese de se estar frente a um meio ácido com maior tendência à complexação do que à uma acidólise simples, Robert et al. (1979), favorecendo processos pedogenéticos de podzolização.

Os teores relativamente elevados do carbono orgânico encontrados para as camadas superficiais dos solos da região reforçam essa hipótese, sendo que uma maior disponibilidade de compostos orgânicos favoreceria a formação de complexos organominerais, Harter (1982).

Os dois métodos empregados em conjunto mostraram-se úteis para o entendimento da dinâmica geoquímica ao longo da cobertura pedológica estudada. Este fato aponta para o alto potencial aplicativo destes métodos para estudos de poluição e fertilidade de solos.

CONCLUSÕES

O monitoramento geoquímico ao longo de um ano em uma cobertura pedológica sobre rochas básicas na Amazônia, feito com uso de minerais-teste e resina trocadora de íons, mostrou que existe mobilização predominante de cálcio e magnésio no sistema pedológico estudado, principalmente nos horizontes superficiais. O magnésio está presente não só na solução dos solos, assim como adsorvido às superfícies de troca e também na estrutura dos minerais. O ambiente geoquímico foi classificado como ácido e complexante, favorecendo processos pedológicos de podzolização. A utilização conjunta dos métodos apresenta um grande potencial para aplicação não só para o monitoramento geoquímico, assim como para estudos de poluição e fertilidade de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNHISEL, R.I. (1982) Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: Dixon, J.B. & Weed, S.B. (eds.), Mineral in Soil Environments, Madison, Soil Sc. Soc. America, Cap. 10, 331-350.
- BESOAIN, E. (1985) Mineralogia de arcillas de suelos. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1205p.
- BINKLEY, D. (1984) Ion exchange resin bags: factors affecting estimates of nitrogen availability. Soil Sc. Soc. Am. J., Madison, 48(5): 1181-1184.
- BINKLEY, D. & MATSON, P. (1983) Ion exchange resin bag method for assessing forest soil nitrogen availability. Soil Sc. Soc. Am. J., Baltimore, 47(5): 1050-1052.
- BINKLEY, D. & HART, S.C. (1985) Correlations among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. Plant and Soil, Netherlands, 85: 11-21.
- FELIX, C. (1987) Étude du fonctionnement géochimique comparé des sols acides - utilisation des vermiculites test in situ pour l'étude du fonctionnement saisonnier et actuel de podzols et sols bruns. Nancy, 82p., (D.E.A. - Université Nancy I).
- HARTER, R.D. (1982) Reactions of minerals with organic compounds in the soil. In: Dixon, J.B. & Weed, S.B. (Eds.), Minerals in Soil Environments, Madison, SSSA, 948p.
- HATTON, A.; RANGER, J.; ROBERT, M.; NYS, C.; BONNAUD, P. (1987) Weathering of a mica introduced into four acidic forest soils. Journal of Soil Science, London, 38(2): 179-190.
- INRA/CNRF (1988) Protocoles analytiques concernant l'approche expérimentale du fonctionnement des sols forestiers - les minéraux tests et les résines. Nancy, Centre National de Recherches Forestiers, Laboratoire Sol et Nutrition, 18p.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960) Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals, Bloomington, 7: 317-327.

- RANGER, J. & ROBERT, M. (1985) Caractérisation du fonctionnement physico-chimique des sols forestiers par une approche expérimentale utilisant l'évolution de minéraux primaires. *Agronomie, Paris*, **5**(2): 157-168.
- RANGER, J.; ROBERT, M.; BERTHELIN, J.; NYS, C. (1986) Utilisation de la méthode des minéraux tests pour la connaissance du fonctionnement actuel des sols forestiers. *Science du Sol, Plaisir*, **2**: 183-199.
- RIGHI, D.; BRAVARD, S.; CHAUVEL, A.; RANGER, J.; ROBERT, M. (no prelo) In situ study of podzolization in an oxisol-spodisol sequence of Amazônia (Brazil).
- ROBERT, M.; RAZZAGHI, M.K.; VICENTE, M.A.; VENEAU, G. (1979) Rôle du facteur biochimique dans l'altération des minéraux silicatés. *Science du Sol*, **2/3**: 153-174, Versailles, Association Française pour l'Étude du Sol.
- ROCHA, G.C. (1990) Características e dinâmica de coberturas pedológicas sobre rochas básicas nas regiões Norte e Sul do Brasil. Tese de doutoramento, ESALQ/USP, 246p.
- TAMURA, T. (1957) Identification of the 14 A component. *Am. Min.*, **42**: 107-110.