

COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS DE PERCOLAÇÃO DE SOLOS DO ESTADO DE RONDÔNIA

J.C. Leprun¹, R.D. Santos², C.C. Cerri³

1. EMBRAPA/SNLCS e ORSTOM, França

2. EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. 22460, Rio de Janeiro, RJ

3. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Av. Centenário, 303. 13400, Piracicaba, SP

ABSTRACT

The chemical composition of eleven samples of water percolation from seven different classes of soils of Rondonia, known and analysed, makes clear: that the composition and the mobility order of elements are quite different according to the class of soil, but are quite similar in the same kind of soil; that there are correlations highly significant among cation values of waters and soils; that the more mineralized waters come from Brunizens, Terras Roxas and Dark Red Podzolics, and the less mineralized from Red-Yellow Podzolics and Latossols. The water compositions from Brunizens and Dark Red Podzolics are in equilibrium with montmorillonite, while the waters from the other soils are in equilibrium with kaolinite. The relation $RE = SiO_2/Al_2O_3$ of the waters is discordant with the same K_i relation in the soils. All this proves that the soil is the main source of the elements dissolved in water and not the precipitation, that in Rondonia, where the samples were collected, comes from recycling of evaporation without aerosols of marine origin. Calculation of nutrient losses by water percolation permits to estimate the soil washing, according to soil class and forest management.

RESUMO

A composição química de onze amostras de água de percolação provenientes de sete tipos diferentes de solo do Estado de Rondônia, conhecidos e analisados, permite evidenciar: que a composição e a ordem de mobilidade dos elementos são bem diferentes segundo a classe de solo, mas bem semelhantes em função da mesma classe de solo; que há correlações altamente significativas entre os valores dos cátions das águas e dos solos; que as águas mais mineralizadas provêm dos solos Brunizens, Terras Roxas e Podzólicos Vermelho escuros, e as menos mineralizadas dos Podzólicos Vermelho amarelos e dos Latossolos. As composições das águas dos Brunizens e dos solos Podzólicos Vermelho escuros estão em equilíbrio com a montmorilonita. A relação $RE = SiO_2/Al_2O_3$ das águas está em discordância com a mesma relação K_i nos solos. Tudo isto prova ser o solo a fonte principal dos elementos dissolvidos nas águas e não a chuva, que, em Rondônia, onde foram coletadas as amostras, provém da reciclagem da evaporação sem aerossóis de origem marinha. Cálculos das perdas de nutrientes pelas águas de percolação permitem estimar a lixiviação segundo a classe de solo e o manejo da floresta.

INTRODUÇÃO

Apesar da abundância relativa da literatura existente sobre a composição química das águas da rede hidrológica do rio Amazonas (Oltman, 1968; Gibbs, 1967, 1972; Furch, 1976, 1978; Kempe, 1982) e de sua comparação com a média dos rios do mundo (Clarke, 1924; Bowen, 1966; Meybeck, 1977, 1979; Holland, 1978), bem poucos trabalhos relatam sobre a composição das águas de escoamento relacionada ao fator edáfico. Pode-se apenas citar as relações estabelecidas entre a qualidade das águas, de certos solos como os Podzóis ou a natureza geológica das bacias (Sioli, 1950, 1951, 1968, 1975; Klinge, 1967, 1976). São consideradas aqui como águas de percolação as águas de chuvas que se infiltram, atravessam uma parte ou a totalidade do perfil do solo, escoam superficialmente, depois esse trajeto subterrâneo, reaparecem na superfície sob forma de fontes e nascentes ou ficam sob forma de lençol para alimentar os riachos, igarapés e rios principais, para, finalmente, se juntando com as águas de escoamento superficial, formar os 5.500 bilhões de metros cúbicos por ano da descarga anual total do rio Amazonas, que representa cerca de 15 a 20% do total mundial das águas continentais que chegam ao mar (Oltman, 1968). Isto significa que se conhece bastante bem a composição das águas dos rios correspondentes (águas a jusante) e, em particular, a do rio Madeira, considerado como um dos afluentes do rio Amazonas que mais contri-

bui com descargas sólida e líquida bem como mineralização; não se sabe praticamente nada a respeito das águas de drenagem dos solos e das vertentes (águas a montante). Portanto, são estas últimas que permitem uma estimativa da lixiviação e uma abordagem da pedogênese atual dos solos amazônicos, objetos do presente trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Aproveitando uma viagem no final do levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos do Estado de Rondônia, que está concluído e em fase de publicação, foram coletadas, nas proximidades de perfis de solos descritos e analisados, onze amostras de águas de percolação procedentes de solos diferentes em diversos lugares do Estado (Figs. 1 e 2). As duas primeiras pertencem à bacia do rio Guaporé, as quatro seguintes à bacia do rio Ji-paraná e as cinco finais à bacia do rio Jamari.

O clima, tropical chuvoso, apresenta os tipos Am e Aw de Kappen, e é caracterizado por total pluviométrico elevado, período de estiagem pouco marcado, e temperaturas médias oscilando entre 24 e 26°C. Os postos meteorológicos de Porto Velho e de Vilhena, entre os quais estão localizados os pontos de amostragem, possuem características suficientemente próximas (pluviometria e evaporação, respectivamente, de 2268 e 1987 e de 1501 e 1283 mm) para que se pos-

sa considerar, neste estudo, a pluviometria média anual da ordem de 2000 mm e os parâmetros do balanço hídrico considerando o armazenamento de água no solo de 100 mm segundo Thorntwaite (1948) representado pelos dados do posto de Vilhena (Fig. 3). Assim, as zonas de amostragem apresentavam excedentes hídricos oscilando entre 800 e 1050 mm por ano e, portanto, bastante representativos dos postos amazônicos.



Figura 1 — Localização dos pontos de amostragem das águas estudadas.

As características do meio físico dos pontos de amostragem são as seguintes:

1. Água de percolação coletada a 130 cm num Brunizem (B) de textura média/argilosa; fase pedregosa III, fase floresta equatorial subcaducifólia, relevo forte ondulado. Material originário: gnaisses e migmatitos. Relevo local ondulado, 12-25% de declividade. Localização: estrada Colorado-Cerejeiras, a 9 km de Cerejeiras; coordenadas: 12°30'S e 60°45'W. Uso atual: culturas de feijão, milho e café.

2. Água de escoamento superficial ocorrido durante uma chuva de forte intensidade. Solo: Terra Roxa (TR) Estrutura Eutrófica A moderado textura argilosa, fase pedregosa III, floresta equatorial subcaducifólia, relevo ondulado, associado ao Brunizem precedente. Material originário: rochas básicas e ultrabásicas. Relevo local: ondulado, declividade de 12 a 15%. Localização: 16 a 3 km de Colorado d'Oeste; coordenadas: 13°11'S e 60°35'W. Uso atual: culturas de feijão, milho e pastagem.

3. Água de percolação coletada a 1 m num solo Areia Quartzosa (AQ) A moderado, fase floresta equatorial subcaducifólia, relevo ondulado. Material originário: sedimentos arenosos do Carbonífero-Permiano. Relevo local: ondulado com declividade de 8 a 10%. Localização: perfil 217, a cerca de 46 km de Pimenta Bueno; coordenadas: 11°58'S e 60°58'W. Uso atual: mata explorada.

4. Água de percolação coletada a 80 cm num Planossolo (PL) Eutrófico Ta gleizado A moderado, textura argilosa muito cascalhenta/muito argilosa, fase pedregosa I, cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado. Material originário: sedimentos areno-argiloso-siltosos cambrianos. Relevo local: 3% de

declive. Localização: perfil 31, a 12 km de Pimenta Bueno, na estrada para Vilhena; coordenadas: 11°46'S e 61°04'W. Uso atual: capoeira de cerrado.

5. Água de percolação profunda (nascente) coletada a 1,5 m, alimentando um riacho numa microbacia constituída de solo Podzólico Vermelho escuro (PE) Distrófico Tb A moderado, textura média argilosa, base floresta equatorial subperenifólia/subcaducifólia, relevo suave ondulado. Localização: perfil 31, a 12 km de Pimenta Bueno, na estrada para Vilhena; coordenadas: 11°46'S e 61°04'W. Uso atual: capoeira de cerrado.

6. Água de percolação profunda (nascente), coletada a 3 m no horizonte C do mesmo solo PE precedente, mas localizado a 800 m da primeira amostragem, num paredão da estrada. Mesmo material, declividade de 4%, zona de floresta e pastagem.

7. Água de percolação profunda (nascente) coletada a 1,5 m, alimentando a cabeceira de um riacho numa microbacia constituída de solo Podzólico Vermelho amarelo (PVa) Álico Tb A moderado, textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta, fase rochosa, floresta equatorial subperenifólia com babaçu, relevo suave ondulado. Material originário: granitos precambrianos. Relevo local: suave ondulado, 10% de declive. Localização: a 13 km de Ariquemes em direção a Porto Velho, no campo experimental da Embrapa; coordenadas: 9°47'S e 63°05'W. Uso atual: floresta.

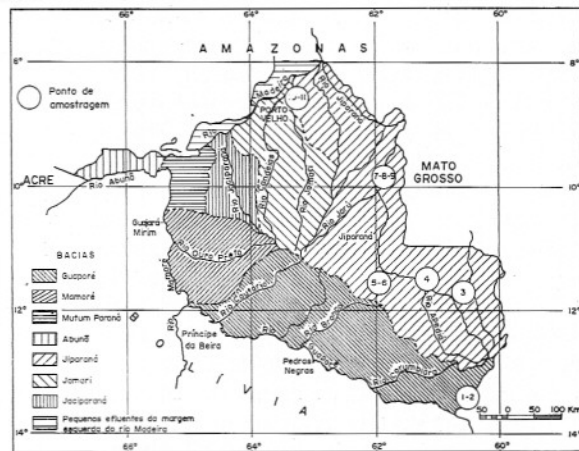


Figura 2 — Rede hidrográfica do Estado de Rondônia e localização dos pontos de amostragem das águas (Fonte — Atlas de Rondônia, IBGE).

8. Água de percolação coletada a 1,2 m num perfil do solo precedente (PVa) a 500 m da primeira amostragem, nas mesmas condições, mas numa área desmatada.

9. Água coletada no poço do campo experimental a 300 m da primeira amostragem, no mesmo solo (PVa), relevo plano, zona desmatada e nua.

10. Água de percolação profunda coletada num poço numa área de Podzólico Vermelho

amarelo (PVa) Alico Tb A moderado, textura média com cascalho/argilosa, fase floresta equatorial subperenifólia com babaçu, relevo ondulado. Material originário: gnaisses e migmatitos do Complexo Xingu. Relevo local: suave com 5% de declividade. Localização: a 14 km do entroncamento para Cachoeira do Samuel, em direção a Ariquemes; coordenadas: 8° 57' S e 63° 19' W. Uso atual: floresta.

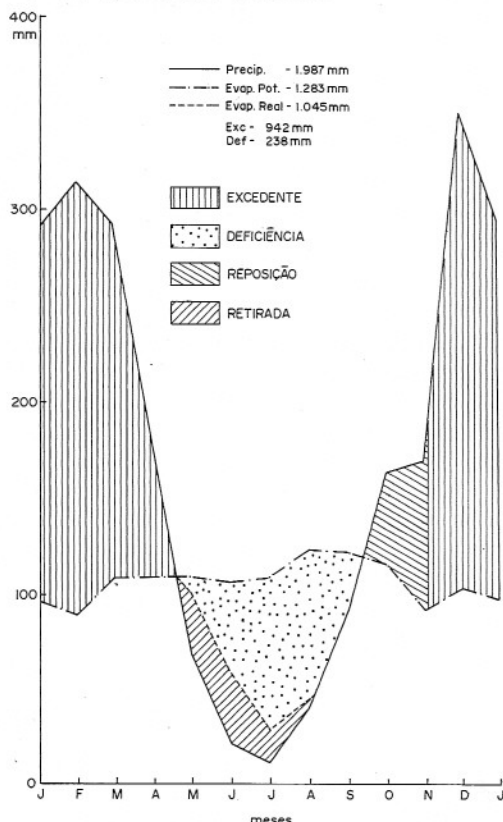


Figura 3 — Balanço hídrico segundo Thornthwaite (1948) para a localidade de Porto Velho. Período 1943-1975.

11. Água de percolação profunda coletada num poço em área de Latossolo Amarelo (LA) Alico A moderado, textura argilosa, fase floresta equatorial perenifólia com babaçu, relevo plano ondulado. Material originário: sedimentos argilo-arenosos terciários da Formação Solimões. Relevo local: plano. Localização: a 14 km do rio Candeias, na BR-364, em direção a Porto Velho; coordenadas: 8° 46' S e 63° 33' W. Uso atual: mata explorada.

Melhores detalhes concernentes aos solos constam do levantamento mencionado anteriormente. Os métodos de análises de solos estão contidos no Manual de Métodos de Análise do Solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979), sendo as determinações feitas na terra fina seca ao ar nos laboratórios do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos da EMBRAPA no Rio de Janeiro.

Os elementos químicos analisados nas águas foram determinados no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, em Piracicaba, pela metodologia adotada pelo "Standard Methods for the

Examination of Water and Waste Water" (1975). Os metais, fósforo total e sílica foram dosados em espectrômetro de emissão com plasma induzido em argônio Jarrel Ash, modelo 975. Os demais elementos químicos foram determinados através do acoplamento de sistemas de injeção em fluxo-FIA (Ruzicka & Hansen, 1981).

As relações moleculares, $L = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$ e $\text{RE} = 6 \text{K}_2\text{O} + 8 \text{Na}_2\text{O} + 2 \text{CaO} - \text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$, nas águas que podem estimar a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nos produtos de intemperismo de rochas graníticas e dos solos derivados, e portanto dos processos da alteração atual, foram calculadas segundo os métodos de Pedro (1964, 1966) para L e de Tardy (1969) para RE.

Os testes estatísticos usados para avaliar o grau de correlação entre as médias das análises de solo e das análises das águas de percolação foram o coeficiente de correlação de *ranke rs* de Spearman e o teste U de Mann-Whitney. São testes não paramétricos, com os dados não dependendo da distribuição da frequência, o que impede o uso do teste paramétrico clássico *t*.

Resumindo, pode-se considerar que este estudo envolve onze águas de três origens: percolação superficial (< 1 m), escoamento superficial (0-10 cm) e percolação profunda ou nascente (> 1 m), que podem se agrupar em apenas duas, escoamento superficial (ponto de amostragem 2) e percolação (os demais pontos); coletadas em oito lugares diferentes; referentes a sete classes de solos diferentes (B, TR, AQ, PL, PE, PVa, LA) desenvolvidos sobre três grupos de rochas: sedimentares (pontos 3,4 e 11), graníticas s.l. (pontos 1,5,6,7,8,9,10) e magmáticas básicas (ponto 2), e sob dois tipos de cobertura vegetal: cultivada (pontos 1,2 e 9) e arbórea nativa (floresta, mata explorada e capoeira, nos demais pontos de amostragem).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das águas estão apresentadas na Tabela 1 e as análises comparadas dos solos correspondentes nas Tabelas 2 e 3.

O exame da Tabela 1 revela:

1. Que a composição das águas é bem diferente segundo a classe de solo percolado. Se forem comparadas as somas dos cátions $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$ das águas provenientes dos diferentes tipos de solos, pode-se estabelecer a seguinte ordem de mobilidade relativa dos elementos:

$$B > PE > AQ > PVa > LA$$

e verificar o valor elevado do coeficiente de variação (média, 6,33; desvio padrão, 6,15; C.V., 97,15%). Este valor médio da soma $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$, comparado com os dados fornecidos por Klinge *et al.* (1981), situa as águas de percolação dos solos de Rondônia um pouco mais abaixo do que as águas do rio Solimões, mas bem mais acima do que as outras águas correntes dos

Tabela 1 — Composição química das águas de percolação dos solos de Rondônia.

Água	Solo	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻ mg ^l -1	NO ₃ ⁻	NH ₄	P	SiO ₂	Al	Fe	Mn
01	B	7,05	7,64	4,32	2,34	3,26	0,10	<2,00	0,12	<0,10	<0,10	15,58	0,06	0,13	<0,01
02	TR	7,35	0,28	0,21	<0,10	0,82	<0,10	<2,00	0,13	3,86	0,11	2,59	0,61	0,21	<0,01
03	AQ	6,70	0,39	0,16	0,86	1,72	<0,10	<2,00	0,13	<0,10	<0,10	7,64	0,35	0,38	<0,01
04	PL	6,95	0,21	1,80	4,22	1,18	<0,10	<2,00	<0,01	<0,10	<0,10	16,97	0,07	<0,02	<0,01
05	PE	7,10	3,67	1,39	3,30	3,03	0,10	<2,00	0,12	<0,10	<0,10	30,22	0,12	0,28	<0,01
06	PE	6,70	4,32	3,42	2,61	0,64	<0,10	<2,00	1,11	<0,10	<0,10	28,63	<0,05	<0,02	<0,01
07	PVa	6,60	0,26	0,06	0,91	1,36	<0,10	<2,00	0,13	<0,10	<0,10	7,23	0,06	<0,02	<0,01
08	PVa	6,55	0,31	<0,05	1,16	1,66	<0,10	<2,00	0,12	<0,10	<0,10	10,06	0,17	0,22	<0,01
09	PVa	6,75	0,14	0,06	0,71	0,88	<0,10	<2,00	0,11	<0,10	<0,10	4,84	0,08	<0,02	<0,01
10	PVa	3,75	<0,05	<0,05	0,76	0,51	<0,10	<2,00	0,31	<0,10	<0,10	1,67	0,05	<0,02	<0,01
11	LA	6,20	<0,05	<0,05	0,56	0,51	<0,10	<2,00	0,31	0,30	<0,10	1,93	0,08	<0,02	<0,01

rios Amazonas e Negro. A média 6,33 é bem inferior à média das águas dos rios do mundo (Levingstone, 1963, com 27,7 mg^l-1), mas comparável à das águas do meio morfoclimático tropical muito úmido (Meybeck, 1979) com 6,53. No que diz respeito à sílica, a sua mobilização relativa, de acordo com os dados da Tabela 2, segue a ordem seguinte:

PE > AQ > B > PVa > PL > LA

A média de 11,12 mg^l-1 das águas estudadas é também semelhante àquela (11,4) das regiões tropicais muito úmidas do mesmo autor.

2. Que a composição das águas de percolação do estudo é, em compensação, muito próxima, no mesmo tipo de solo: soma Ca + Mg + K + Na igual a 11,39 e 10,99, respectivamente, nas águas 5 e 6 dos solos PE; igual a 2,59, 3,18 e 1,79 nas águas dos solos PVa apesar da diferente profundidade de amostragem; ordem de mobilidade relativa dos cátions K > Na > Ca > Mg idêntica no caso das três águas 7,8 e 9 provenientes do mesmo tipo de solo PVa.

3. Que através de testes estatísticos não paramétricos, não foram encontradas correlações significativas entre os teores de sílica e os de Mg⁺⁺, Na⁺ e K⁺ (*rs*, respectivamente, de

0,75**, 0,90** e 0,61*), e tampouco entre cada um dos seguintes elementos: SiO₂, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ e Cl⁻.

Isto prova ser o solo a fonte principal desses elementos e não a chuva, como foi estabelecido por vários autores em outros lugares da Amazônia (Gibbs, 1967, 1972; Brinkmann & Santos, 1973; Furch, 1976). Várias publicações tratam da composição das águas de chuva na bacia amazônica (Ungemach, 1969; Nortcliff & Thornes, 1978, e sobretudo Stallard & Edmond, 1981). Está estabelecido que a química das precipitações amazônicas provém de dois componentes, a marinha e a terrestre. A marinha, que carrega os elementos dos aerosóis do mar, é rica em Cl⁻, Na⁺, SO₄⁻⁻ e, em menor proporção, em K (Stallard & Edmond, 1981). Os fracos teores em Cl⁻ e Na⁺ na água 02, água de escoamento superficial procedente diretamente da chuva e, portanto, sem contato profundo com o solo TR quimicamente rico, e a fraqueza e a permanência de teor de Cl⁻ nas águas de percolação de todos os solos, colocam em evidência que as chuvas de Rondônia são chuvas de reciclagem da água de evaporação no local (Salati *et al.*, 1979; Dall'olio *et al.*, 1975), e não chuvas provenientes da condensação da evaporação da

Tabela 2 — Algumas determinações químicas das águas de percolação e dos solos correspondentes (*, valor médio).

Água	01	03	04	05-06	07-08-09	10	11
Soma cátions (mg ^l -1)	17,56	3,13	7,41	11,20*	2,52*	1,37	1,17
SiO ₂ (mg ^l -1)	15,58	7,64	16,97	29,42*	7,38*	1,67	1,93
Solo	B	AQ	PL	PE	PVa	PVa	LA
Número perfil	30	65	23	102	22	19	6
Soma cátions meq 100 g ⁻¹ (média)	17,26	0,15	9,66	1,70	1,30	0,25	0,20
SiO ₂ (ataque sulfúrico) % (média)	21,84	1,85	23,12	10,30	20,31	15,70	18,74

água do mar, como é no caso das partes centrais e orientais da bacia amazônica (Stallard & Edmond, 1981).

O componente terrestre pode ser constituído da poeira do solo e dos produtos de combustão antrópica da vegetação. A falta de savanas desnudas de onde poderia provir a poeira e a fraca precipitação do SO_4 na composição das águas, reduz consideravelmente a contribuição possível desses produtos terrestres.

Estes fatos importantes permitem considerar a composição das águas de percolação estudadas como sendo provenientes, em maior parte, dos produtos de dissolução do solo, isto é, é pouco poluída pela atmosfera.

Tabela 3 — Valores de índices geoquímicos comparados nas águas e nos solos.

Água	L	RE	Ki	Solo
01	0,53	3,28	2,27	B
05	1,44	3,22	2,18	PE
06	1,47	2,19		
07	1,19	4,19		
08	1,63	4,03	2,03	PVa
09	1,36	4,33		
10	0,56	5,30	1,93	PVa

O exame da Tabela 2, que contém as análises das águas e a média das análises do perfil de solo correspondente, permite comparar o grau de interligação entre a água e o solo. Como há apenas um solo analisado para cada local de água coletada, foram escolhidas as águas 05 e 08 como representativas das águas provenientes, respectivamente, dos solos PE e PVa. Encontra-se uma correlação altamente significativa entre a soma dos cátions da água e a mesma do solo correspondente (r_s , 0,82*; U , 39*), mas nenhuma correlação (r_s , 0,14; U , 15) entre os teores de SiO_2 na água e os de SiO_2 liberados pelo ataque sulfúrico H_2SO_4 1:1 nos solos correspondentes. Isto significa que são os solos com complexo sortivo bem dotado, isto é, os mais ricos quimicamente, que liberam mais facilmente os cátions na água segundo a ordem de mobilidade anotada acima. Mas isto significa também que não são os solos mais ricos em SiO_2 liberada pelo ataque sulfúrico que liberam mais a sílica na água. Assim, os solos PE e B menos alterados desenvolvidos sobre as rochas gnáissicas ou migmáticas, e que contêm mais silicatos primários, liberam dez vezes mais SiO_2 do que os solos PVa e LA mais intemperizados desenvolvidos sobre granitos mais ácidos ou rochas sedimentares. Este fato está em oposição com a opinião formada por Gibbs (1972) e Stallard (1980) de como é a parte inferior da bacia do rio Amazonas, onde ocorrem formações sedimentares e La-

tossolos, que seriam responsáveis pela liberação elevada do SiO_2 e a sua regularidade ao longo do ano. Segundo os dados aqui apresentados, são os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os menos intemperizados e os menos silicosos que vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, como também a maior quantidade de cátions Ca^+ , Mg^+ , K^+ , Na^+ .

Pode-se considerar as rochas originárias das amostras 01, 05, 08 e 10 como sendo graníticas s.l. e, assim, tentar caracterizar os meios de alteração meteórica dos solos pela composição química das águas. Dois métodos de cálculo podem ser utilizados: o de Pedro (1964, 1966) e o de Tardy (1969). Os dois índices L e RE foram calculados, mas somente o RE será interpretado. A relação molecular RE é equivalente ao índice $Ki = SiO_2/Al_2O_3$ de Harrassowitz (1926), muito empregado para julgar o grau de alteração nos solos tropicais. Lembra-se que:

- se $RE < 0$, a sílica e as bases são eliminadas, há formação de gibbsita, é a *alitização*;
- se $2 > RE > 0$, as bases são eliminadas, a sílica é pouco eliminada, há formação de caulinita, é a *monosialitização*;
- se $RE > 2$, a sílica e as bases são pouco eliminadas, há formação de argilas 2/1, é a *bisialitização*.

A Tabela 3 apresenta os valores calculados de L e do RE das águas provenientes dos solos desenvolvidos sobre granitos s.l. e os valores médios de Ki desses solos.

Pode-se constatar que enquanto os valores de Ki indicam um intemperismo crescendo do Brunizem ao PVa, mas ficando sempre próximo a 2, o que significa uma fraca bisialitização no Brunizem, uma caulinitização nos solos PE e PVa e uma tendência à alitização no PVa álico 09; os valores de KE das águas discordam bastante e refletem mais condições de bisialitização do que de monosialitização.

Para investigar melhor esta aparente anomalia, as relações $\log Ca^{++}/[H^+]^2$ e $\log [H_4SiO_4]$ das diferentes águas foram calculadas e colocadas no diagrama de equilíbrio anortita-montmorilonita-caulinita-gibbsita da Figura 4.

Pode-se verificar que as águas 01, 05 e 06 provenientes dos solos B e PE estão no domínio do equilíbrio da montmorilonita, enquanto que as águas procedentes dos solos PVa e LA estão em equilíbrio com a caulinita. Parece então confirmado, através da composição das águas de percolação, as condições de formação de argilas 2/1 nos Brunizens e PE do Estado de Rondônia. A singularidade deste fato não vem da natureza dos solos, os solos B e PE brasileiros apresentando comumente argilas de atividade alta, com Ki bem superior a 2,0 (Jacomine, 1979), mas vem mais da ocorrência possível de minerais 2/1 nas condições pedo-climáticas amazônicas atuais mais favoráveis à caulinitização. Se sabe, por exemplo, que os valores de RE encon-

trados nas águas provenientes dos solos e rochas granito-gnáissicas da floresta da Tijuca no Rio de Janeiro, com uma pluviometria média anual de 2200 mm, situados entre 0 e 1, refletem condições favoráveis à caulinizacão (Ovalle *et al.*, 1984). As determinações difratométricas das argilas dos horizontes dos solos investigados estão sendo feitas no momento. Como foi visto mais acima, pode-se considerar as chuvas de Rondônia como pouco poluídas. Se for examinada a mineralização da água de escoamento subsuperficial 01 coletada durante uma chuva forte, pode-se avaliar o teor em Ca + Mg + K da água das chuvas. Com efeito, as estimativas bibliográficas das taxas de poluição atmosféricas de Stallard & Edmond (1981) indicam que Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺, devido às entradas atmosféricas, representam, respectivamente, 43,5, 22 e 40% dos valores desses elementos nas águas de pequenas bacias. Simples regras de três dão Ca + Mg + K igual a 0,10 mg.l⁻¹, o que é pouco, mas de acordo com o teor muito baixo do Na⁺ na água 02. Pode-se assim calcular a entrada, por hectare e por ano, da soma Ca + Mg + K pelas chuvas, considerando a pluviometria média anual igual a 2000 mm e a taxa de interceptação pela floresta igual a 18,7% da chuva (Leopoldo *et al.*, 1982). Obter-se-á 1,63 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Da mesma maneira pode-se calcular a saída desses nutrientes de uma bacia, considerando a mesma pluviometria anual, mas um escoamento superficial ou "run-off" de 19,3%, valor encontrado numa bacia hidrográfica de 1,3 km² sob floresta, perto de Manaus (Leopoldo *et al.*, 1982). Obter-se-ão os valores de saída da soma Ca + Mg + K na água multiplicada pela pluviometria e a seguir multiplicada pela taxa de escoamento 19,3% dá a perda em mg.m⁻².ano⁻¹, que se pode converter em kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Para obter as perdas por lixiviação basta subtrair dos valores obtidos o da

entrada atmosférica, 1,63, encontrada mais acima.

O cálculo dá os valores de lixiviação seguintes segundo o solo:

	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
— Brunizem, água 01	57,12
— Areia quartzosa, água 03	7,13
— Planossolo, água 04	10,68
— Podzólico V.E., médias das águas 05 e 06	30,18
— Podzólico V.A., médias das águas 07, 08 e 09	4,51
— Podzólico V.A., água 10	1,34
— Latossolo amarelo, água 11	0,38

Convém lembrar que esses valores de lixiviação, que podem parecer bastante altos, foram obtidos sob floresta, com um escoamento de 19,3%. Quando se desmata, a taxa de escoamento aumenta muito, e pode até duplicar. Assim a taxa de escoamento média do rio Madeira cuja bacia é bastante explorada, atinge, segundo os dados de Gibbs (1967), cerca de 46%. Este aumento de escoamento é atribuído às anulações da reciclagem por evapotranspiração e da interceptação pela floresta estimada, segundo os dados de Leopoldo *et al.* (1982), respectivamente, em 74,1 e 18,7% (Salati & Vose, 1984), como também pela diminuição da permeabilidade dos solos após desmatamento. O escoamento superficial e hipodérmico acentuado que resulta dessas transformações provocará a lixiviação preferencial dos horizontes superiores, os mais ricos do solo, e o seu empobrecimento acelerado. Isto pode explicar a forte mineralização das águas do rio Madeira, cujo total de sólidos dissolvidos atinge 42,4 t.km⁻².ano⁻¹ (Gibbs, 1969), ou seja, a mais alta dos afluentes brasileiros do rio Amazonas.

CONCLUSÕES

O estudo da composição química de amostras de águas de percolação de diferentes solos do Estado de Rondônia e sua comparação com a geoquímica desses solos, colocam em evidência uma pedo-dependência e uma lito-dependência das águas, e revelam alguns aspectos da pedogênese diferenciada sob floresta amazônica. São os solos Brunizens e Podzólicos Vermelho escuros desenvolvidos sobre as rochas gnáissicas e magmáticas, quimicamente mais ricos, que liberam mais cátions e sílica. São também esses solos que, apesar do grau de intemperismo elevado das condições amazônicas, têm águas com composição em equilíbrio com a montmorilonita, e não com a caulinita como poder-se-ia pensar logicamente. Ao contrário, são os Latossolos e solos Podzólicos Vermelho amarelos, desenvolvidos sobre os granitos s.s. e rochas sedimentares mais ricas em quartzo, que liberam os valores mais baixos em cátions e sílica. A ordem de mobilidade relativa dos elementos liberados por lixi-

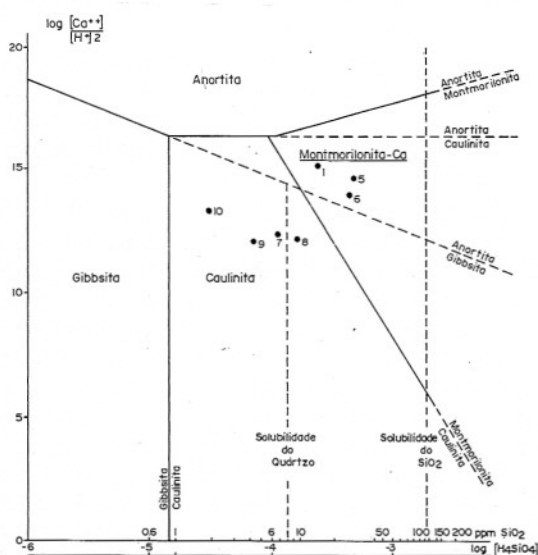


Figura 4 — Localização das águas estudadas no diagrama de equilíbrio anortita-montmorilonita-caulinita-gibbsita.

viação nas águas depende do tipo de solo. A lixiviação da soma dos nutrientes Ca + Mg + K que pode atingir valores elevados como 57 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ sob floresta, alerta sobre o risco de empobrecimento acelerado dos solos amazônicos no caso de desmatamento incontrolado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, H.J.M. (1966) Trace elements in biogeochemistry. London, Academic Press, 241p.
- BRINKMANN, W.L.F. & SANTOS, A. (1973) Natural waters in Amazonia. VI-Soluble calcium properties. *Acta Amaz.*, 3(2):33-40.
- CLARKE, F.W. (1924) Data of geochemistry. U.S. Geological Survey Bulletin, 770:841p.
- DALL'OLIO, A.; SALATI, E.; AZEVEDO, C.T.; MATSUI, E. (1979) Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia Amazônica: primeira aproximação. *Acta Amaz.*, 9(4):675-687.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979) Serviço Nacional de Levantamento e de Conservação de Solos, R.L.J. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, IV.
- FURCH, K. (1976) Haupt-und spurenmetallegehalte zentralamazonischer gewassertypen. *Biogeographica*, 7:27-43.
- FURCH, K. (1978) Limnochemische untersuchungen an amazonischen gewassern. *Verhand. Soc. Inter. Limnol.*, Karlsruhe, p. 20-21.
- GIBBS, R.J. (1967) The geochemistry of the Amazon river system: part I. The factors that control the salinity and the composition of the suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78(10):1203-1232.
- GIBBS, R.J. (1972) Water chemistry of the Amazon river. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36:1061-1066.
- HARRASSOWITZ, H. (1926) Laterit. *Forsch. Geol. Paleont.*, 4:253-565.
- HOLAND, H.D. (1978) The chemistry of the atmosphere and oceans. J. Wiley, 351p.
- JACOMINE, P.K.T. (1979) Conceituação sumária de classes de solos abrangidas na legenda preliminar de identificação dos solos do Estado do Rio de Janeiro. I Reunião de Classificação e Interpretação de Aptidão Agrícola de Solos, Rio de Janeiro, Anais, EMBRAPA-SNLCS/SBCS, p. 1-27.
- KEMPE, S. (1982) Long-term records on CO₂ pressure fluctuations in fresh waters. *Mitt. Geol. Paleont. Inst. niv. Hamburg*, 52(1):91-332.
- KLINGE, H. (1967) Podzol soils: a source of black-water rivers in Amazonia. *Simpósio sobre a Biota Amazônica*, Belém, 1966, Atas, 3, p. 117-125.
- KLINGE, H. (1976) Nährstoffe, wasser und durchwurzelung von podsolen und latosolen unter tropischem regenwald bei Manaus/Amazonien. *Biogeographica*, 7:45-58.
- KLINGE, H.; FURCH, K.; IRMLER, U.; JUNK, W. (1981) Fundamental ecological parameters in Amazonia, in relation to the potential development of the region. In: R. Lal & E.W. Russel (eds.) *Tropical agricultural hydrology; watershed management and land use*. J. Wiley, p. 19-36.
- LEVINGSTONE, D.A. (1963) Chemical composition of rivers and lakes. In: M. Fleischer (ed.) *Data of geochemistry*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 440-G.
- MEYBECK, M. (1977) Dissolved and suspended matter carried by rivers: composition, time and space variations, and world balance. In: H.L. Golterman (ed.) *Interaction between sediments and fresh waters*. Amsterdam, p. 25-32.
- MEYBECK, M. (1979) Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.*, 21(3):215-246.
- NORTCLIFF, F. & THORNES, J.B. (1978) Water and cation movement in a tropical rainforest environment. 1. Objectives, experimental design and preliminary results. *Acta Amaz.*, 8:245-258.
- OLTMAN, R.E. (1968) Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon river. s.l. U.S. Geological Survey Circular, 552:1-16.
- OVALE, A.R.C.; SILVA FILHO, E.V.; BROWN, I.F. (1984) Intemperismo e composição dos rios no parque nacional da Tijuca, Rio de Janeiro, XXXIII Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, Resumos, p. 273-274.
- PEDRO, G. (1964) Contribution à l'étude expérimentale de l'altération chimique des roches cristallines. *Th. Doct. Fac. Sci.*, Paris 344p.
- PEDRO, G. (1966) Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle aluminosilicique). *C.R. Acad. Sci.*, 262:1828-1831.
- RUZICKA, J. & HANSEN, E.H. (1981) Flow injection analyses. Wiley Interscience, 271p.
- SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J.R. (1979) Recycling of water in the Amazon Basin; an isotopic study. *Water Res.*, 15(5):1250-1258.
- SALATI, E. & VOSE, P.B. (1984) Amazon basin: a system in equilibrium. *Science*, 225(4658):129-138.
- SIOLI, H. (1950) Das wasser in Amazonasgebiet. *Naturwissenschaften*, 41(49):456-457.
- SIOLI, H. (1951) Estudo preliminar das relações entre a geologia e a limnologia da zona Bragantina (Pará). *IAN, Boletim Técnico*, 24:67-76.
- SIOLL, H. (1968) Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. *Amazoniana*, 1(3):267-277.
- SIOLI, H. (1975) Troical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: F.B. Golley & E. Medina (eds.) *Tropical ecological systems*. Springer-Verlag, p. 275-288.
- STALLARD, R.F. (1980) Major elements geochemistry of the Amazon river system. Ph Thesis. Massachusetts Institute of Tecnology, 367p.
- STALLARD, R.F. & EDMOND, J.M. (1981) Geochemistry of the Amazon. I. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. *J. Geoph. Res.*, 86(10): 9844-9858.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE MATER (1975) New York, APHA/AWWA/WPCE, 1193p.
- TARDY, Y. (1969) Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mém. Serv. Carte géol. Alsace Lorraine*, 31:199p.
- THORNTWAITE, C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 38:85-94.
- UNGEMACH, H. (1969) Chemical rain water studies in the Amazon region. *Simposio y Foro Biologia Tropical*, Bogotá, Colombia, p. 354-359.