

Os Solos e a Hidrologia das Encostas do Alto Rio Cachoeira, RJ - Estudo Preliminar*

ANA LUIZA COELHO NETTO **
ALEXANDRE A. DE MELLO SANTOS ***
MARIA REGINA MOUSINHO DE MEIS **

INTRODUÇÃO

ENCONTRA-SE em funcionamento desde 1976, nas cabeceiras do rio da Cachoeira (maciço da Tijuca, RJ), uma estação experimental cujo objetivo prende-se à detecção da resposta da subárea aos impulsos climáticos. Trata-se não apenas de reconhecer as variações no fluxo d'água em face das precipitações de volume e intensidade diversificados, mas, especialmente, quantificar a atividade erosiva desencadeada pelos eventos individualizados. A sub-bacia apresenta apenas 3,5 km² de área e desnivelamentos fortes, sendo totalmente recoberta por vegetação florestal (Parque Nacional da Tijuca). Pode ser considerada como uma região apta a fornecer ensinamentos a respeito da intensidade e da natureza dos fenômenos erosivos nas regiões montanhosas dos trópicos úmidos.

O estudo da erosão pelas águas superficiais representa uma tentativa de definição das condições sob as quais, a partir de determinado momento, a força do fluxo líquido excede a resistência ao cisalhamento das partículas do solo. Vários fatores são considerados como expressivos para a determinação do trabalho mecânico do escoamento superficial.

* Trabalho realizado sob os auspícios do CNPq e CEPG — UFRJ.

** IGEO — UFRJ.

*** PPGG/UFRJ.

Johnson (1961), Guy (1964) e vários outros autores procuraram identificar alguns deles, considerados como os mais significativos para o suprimento de detritos sólidos aos canais fluviais. O clima, entendido como o caráter, a quantidade e intensidade das precipitações, representaria o fator ativo para o desencadeamento do processo. Por outro lado, as características dos solos, a topografia, assim como a cobertura do solo (vegetal ou não), poderiam ser genericamente considerados como fatores passivos.

Considerando-se a elevada complexidade inerente aos sistemas ambientais, todos os autores são unânimes em salientar que um diagnóstico preciso do papel desempenhado por cada um destes fatores, quando isolados, é muito difícil de ser atingido. Com efeito, nos equacionamentos desta natureza cada elemento componente atua em interações múltiplas com os demais, gerando a elevação ou a redução das taxas de erosão e transporte das partículas sólidas.

O presente trabalho visa a uma avaliação preliminar das propriedades físicas dos solos da sub-bacia do rio da Cachoeira, indispensável para melhor compreensão da dinâmica das águas superficiais e subsuperficiais e, em última análise, dos processos geomorfológicos atuantes sobre as encostas. Sua finalidade consiste em estabelecer uma base descritiva para características físicas dos solos e, conseqüentemente, fornecer subsídios à hidrologia da bacia. Este reconhecimento preliminar tem caráter puramente qualitativo. A mensuração dos processos deverá ser o objetivo de estudos posteriores inseridos no cronograma de trabalho a ser desenvolvido dentro da estação experimental. Com efeito, acredita-se que uma visão qualitativa inicial torna-se indispensável para a definição racional das áreas mais representativas para uma amostragem capaz de levar à quantificação.

Pretende-se, outrossim, delinear algumas relações envolvendo as características físicas dos solos, a morfologia e o substrato geológico regional, tendo em vista uma primeira definição das principais áreas fornecedoras de sedimentos para o transporte nas calhas dos rios.

METODOLOGIA

O solo pode ser conceituado de diferentes maneiras. De acordo com a definição do American Geological Institute (1976), o solo corresponde aos materiais da crosta que foram modificados por agentes físicos, químicos e biológicos, tornando-se capazes de dar suporte às raízes das plantas. Ainda que a definição de solo possa se diferenciar dentro das visões geológicas e pedológicas, considera-se, no presente trabalho, que os solos representam toda a zona intemperizada — desde a superfície do terreno até a rocha sã (de acordo com Leopold *et alii*, 1964).

Considerando que as características físicas dos solos influenciam a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e tendo em vista os objetivos propostos pelo presente trabalho, procurou-se inicialmente subdividir a área em domínios que apresentassem propriedades de solos mais ou menos homogêneas. Como parâmetros passíveis de definir as condições físicas dos solos, foram analisadas as características texturais da cobertura superficial das encostas. Ressaltou-se, imediatamente, a existência de encostas nuas (pontões rochosos considerados como impermeáveis) e um domínio de solos permeáveis (rocha alterada

e depósitos). A zona permeável é representada pelo domínio dos regolitos. Sabendo-se, entretanto, que as porções mais superficiais dos solos exercem a influência dominante sobre os processos que regulam a distribuição das águas nas vertentes (Horton, 1933), procurou-se restringir a análise ao controle dos colúvios que campeiam as encostas.

As amostragens foram realizadas, de modo geral, nas camadas superiores do solo (primeiros 10 cm, ou *topsoil*) e em profundidade, utilizando-se para tanto o trado manual na ausência de secções expostas. Algumas trincheiras foram abertas visando a um levantamento mais detalhado das possíveis variações verticais.

A literatura ressalta que nas encostas íngremes os regolitos tendem a apresentar-se pouco espessos. Porém, sabendo-se que a espessura dos regolitos pode ter significado para a percolação da água em profundidade, procurou-se detectar as suas variações dentro da área estudada. Desenvolveu-se, para tanto, um mapeamento preliminar de espessuras dos regolitos, a partir de um levantamento expedito da bacia, tendo como base cartográfica fotografias aéreas (1:8.000 e 1:20.000) e carta topográfica (escala de 1:5.000). Complementando o estudo, procurou-se estabelecer algumas relações entre a morfologia das encostas e os solos; tal etapa levou à caracterização de subáreas dentro dos domínios previamente estabelecidos.

Visando a uma melhor definição das áreas-fontes dos depósitos de encosta, procurou-se efetuar a sua ligação com o substrato geológico regional. Levantou-se a concentração e a distribuição — por frequência de tamanho e litologia — dos blocos embutidos nos colúvios. Pelo mesmo motivo foram realizadas análises da composição mineralógica da matriz fina coluvial. O reconhecimento da petrografia dos blocos foi feito em escala macroscópica. Os resultados obtidos forneceram subsídios ao reconhecimento preliminar da origem dos materiais encontrados nos leitos fluviais. Para testar estas relações foram realizadas análises texturais e mineralógicas das areias encontradas nas calhas dos cursos d'água e petrográfica dos rudáceos.

A análise mineralógica deteve-se apenas às frações arenosas (0,50 e 0,125 mm) nas quais determinou-se os percentuais dos minerais leves constituintes e, em particular, a razão quartzo/feldspato. Os teores em feldspato são considerados na literatura como bons indicadores do estágio de desenvolvimento do intemperismo químico na área-fonte, podendo expressar, ainda, possíveis retrabalhamentos dentro do domínio dos colúvios.

A análise granulométrica das amostras seguiu as técnicas preconizadas por Folk (1968). A constituição mineralógica das frações arenosas foi avaliada qualitativa e quantitativamente empregando-se as técnicas descritas por Gabriel e Cox (1929) e Hayes e Klugman (1959).

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A área em estudo situa-se na vertente atlântica do maciço da Tijuca (fig. 1). Localizada dentro do perímetro urbano do Município do Rio de Janeiro, tem suas encostas recobertas por uma associação florestal densa, resultante de reflorestamento efetuado no final do século XIX.

ALTO RIO CACHOEIRA

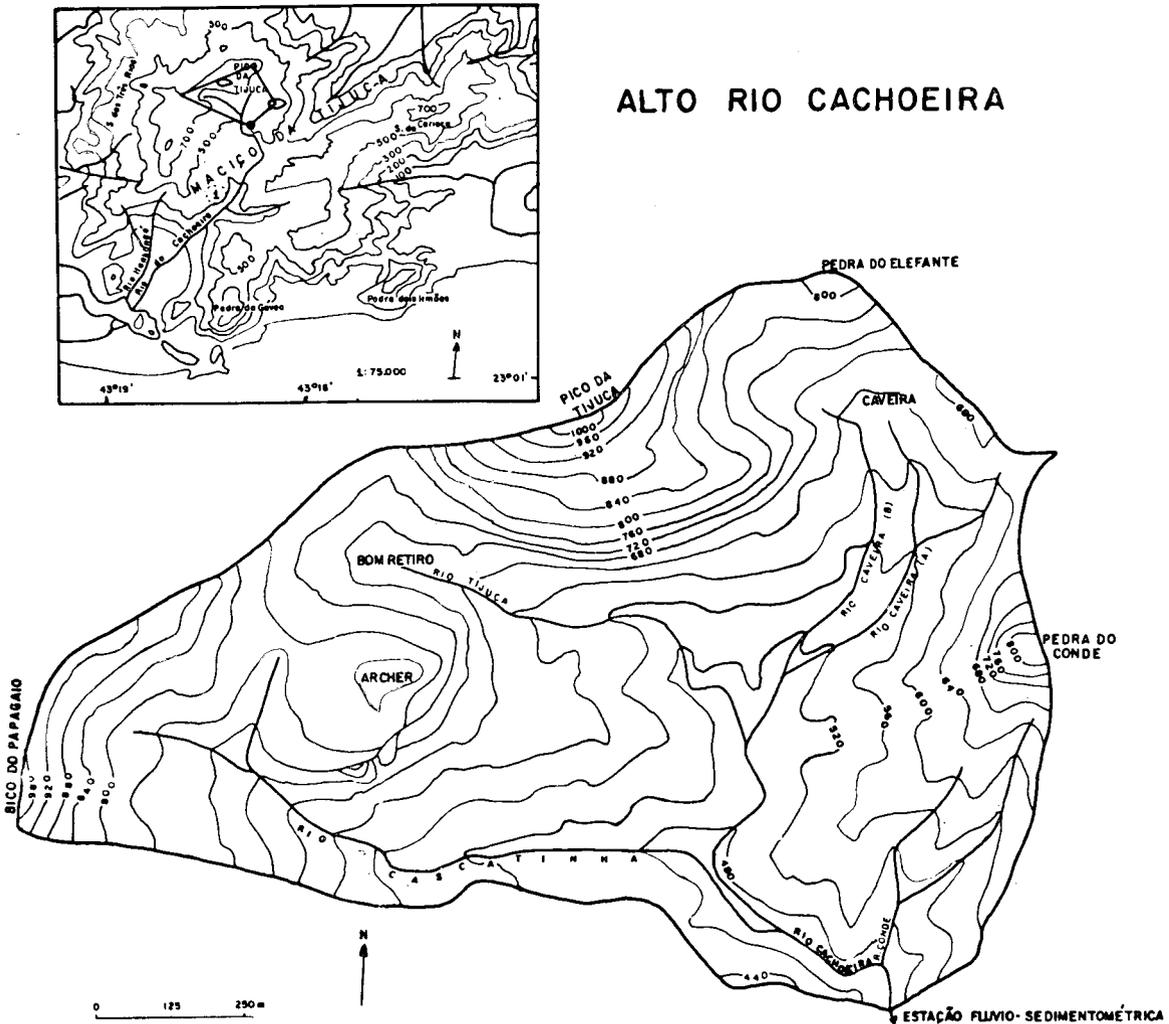


Fig. 1 — Mapa topográfico do alto rio Cachoeira e localização da área de estudo no maciço da Tijuca

O clima na região é definido com tropical de altitude ou Cf (Gallego, 1971), com precipitações médias anuais em torno de 2.500 mm. Silva e Santos (1979), analisando a frequência de distribuição das chuvas, verificaram que, embora o regime possa ser caracterizado pela ocorrência de precipitações durante todo o ano, as maiores concentrações tendem a ocorrer no primeiro trimestre do ano. Apesar dos volumes diários de menor magnitude ($< 5,0$ mm) serem os de maior frequência (44,1%), a contribuição mais efetiva da precipitação nos totais anuais é dada pelos eventos de frequência moderada (aproximadamente entre 10,0 e 70,0 mm); os impulsos isolados de alta intensidade podem ultrapassar 250 mm/dia.

A bacia de recepção do rio Cachoeira tem a forma semelhante a um triângulo. Os principais divisores são: o pico da Tijuca, 1.022 m;

o pico do Papagaio, 983 m; e a pedra do Conde, 821 m. O divisor meridional é mais rebaixado, com altitude em torno de 550 m. A estação fluviosedimentométrica encontra-se a 462 m, marcando, portanto, uma amplitude de relevo para a sub-bacia de cerca de 560 m.

As encostas se caracterizam por fortes declives, podendo-se observar segmentos com ângulos superiores a 58° . A maior frequência, entretanto, ocorre entre 12° e 22° , tornando-se pouco frequentes (6%) os declives superiores a 39° . Os ângulos inferiores a 6° também são pouco frequentes (2,5%) (fig. 2) (Coelho Netto, 1979).

CONVENÇÕES :

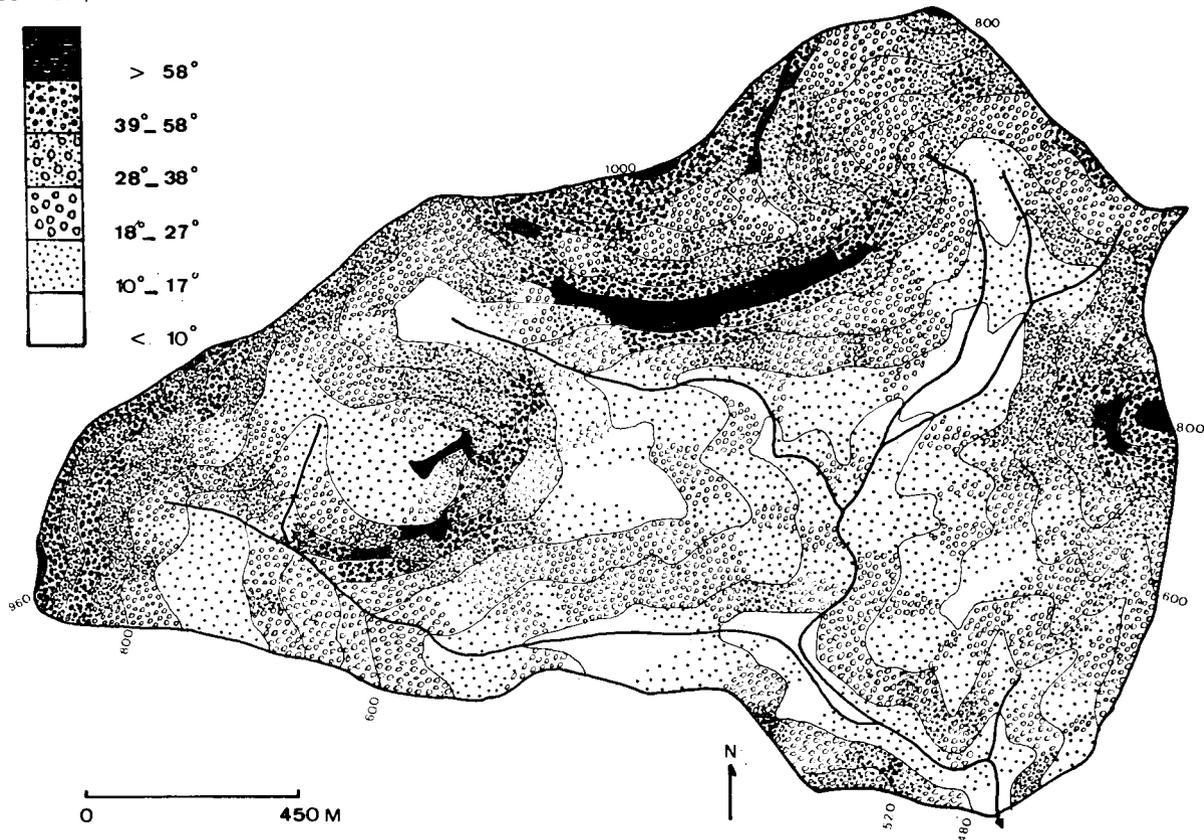


Fig. 2 — Esquema da distribuição, por diâmetro e frequência, dos blocos contidos na matriz coluvial

São três os principais formadores do rio Cachoeira: rio Caveira, rio Tijuca e rio Cascatinha. O primeiro inicia-se nas vertentes a leste do pico da Tijuca; o segundo, a oeste do pico da Tijuca e a leste da região do pico do Papagaio e o terceiro tem suas nascentes entre os picos do Papagaio e Cocanha (fig. 1).

No substrato de idade pré-cambriana predomina uma série de rochas gnáissicas (microclina-gnaïsse e biotita-gnaïsse). Estão presentes,

ainda, ocorrências localizadas de gnaisses-granitóides e granitos de textura fina. São freqüentes as faixas quartzíticas nos gnaisses (mapa geológico da Guanabara, DNPM, reproduzido na figura 3). As rochas pré-cambrianas em diferentes graus de alteração acham-se recobertas por depósitos coluviais que seguem as encostas até o fundo das depressões, apresentando espessuras variáveis.

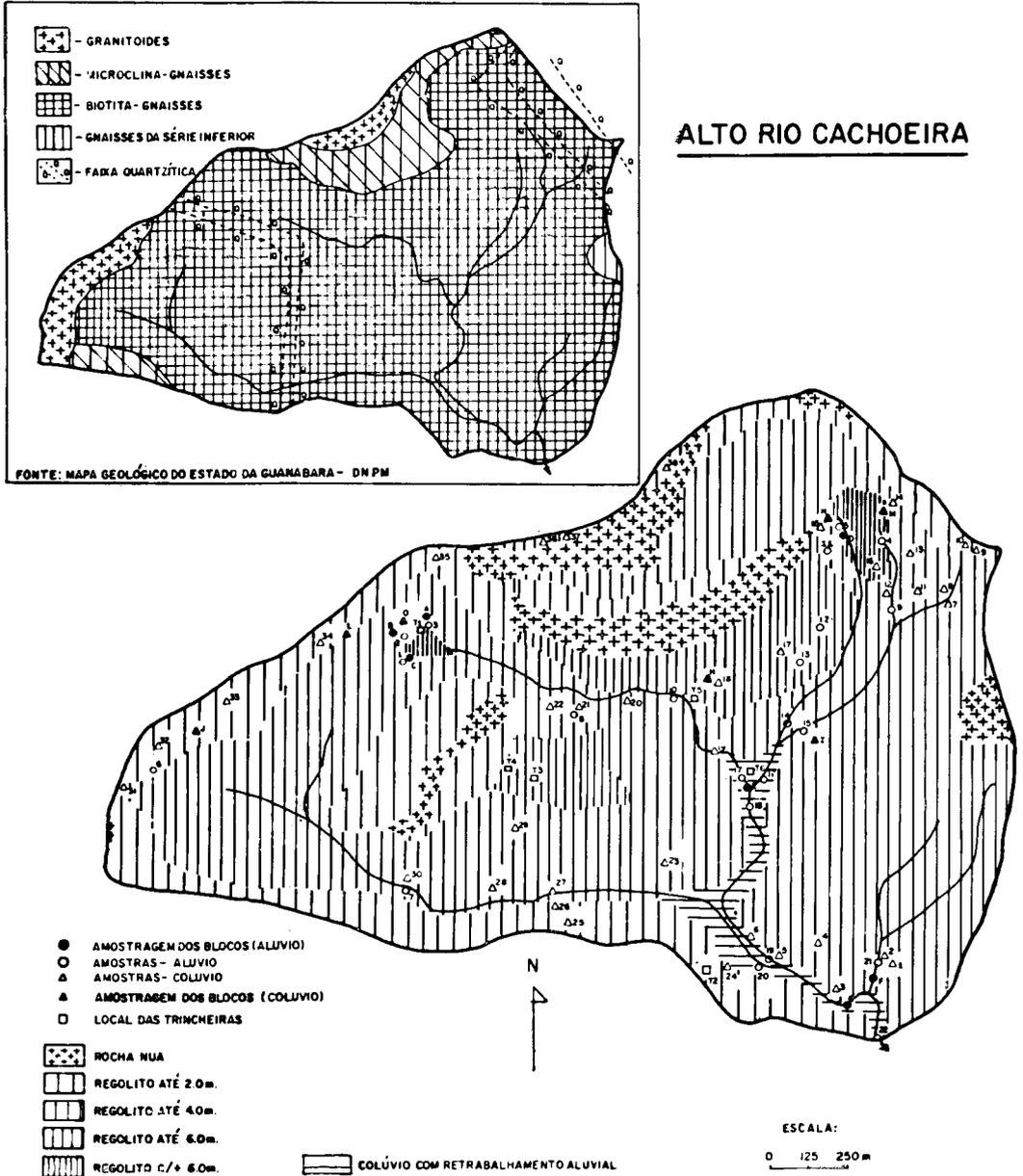


Fig. 3 — Esboço da espessura dos regolitos e localização dos pontos amostrados

RESULTADOS

1 — PROPRIEDADES (GERAIS) DOS REGOLITOS

Conforme foi mencionado anteriormente, os regolitos constituem o domínio permeável da área em estudo, resultando da superposição de elúvios (rocha alterada *in situ*) e depósitos de encosta (tálus e colúvios). Inclui-se nesse domínio a zona de preenchimento coluvial com retrabalhamento aluvial, com a rocha sã próxima à superfície. O domínio impermeável representa apenas uma pequena parcela da área total da bacia (1,46%) e corresponde às zonas de paredões rochosos com inclinações superiores a 55°. Nestes últimos, pequenas reduções no ângulo da encosta, geralmente associadas a condições estruturais, permitem o desenvolvimento incipiente de solos orgânicos (0,5 m de espessura). Estes são recobertos por uma vegetação rasteira cujo sistema de raízes muito finas adere à rocha sã, penetrando pelas diáclases (Fig. 4).



Fig. 4 — Solos orgânicos com cobertura vegetal rasteira nas áreas dos esporões rochosos (pico da Tijuca): a escala marca o limite com a rocha pouco alterada

Em geral os elúvios são pouco desenvolvidos, podendo ser mais expressivos nos esporões e, de modo geral, no domínio do substrato gnáissico. A semelhança de outras áreas tropicais (ver Bakker e Müller, 1957 e Pichler, 1957), na sub-bacia estudada a espessura dos elúvios tende a decrescer também com o aumento do ângulo das encostas. A espessura dos regolitos é variável e parece altamente relacionada com

as feições topográficas: espessam-se nos fundos das depressões (reen-trâncias) e tornam-se mais delgados nos esporões. A figura 3 mostra o esboço geral da variação de espessura das coberturas móveis dentro da bacia estudada. As subáreas identificadas representam a condição máxima de espessura que pôde ser observada, não sendo possível o estabelecimento de limites mais precisos para as classes assim estabelecidas. Tal fato se deve a ausência de situações contínuas no espaço, em função da própria irregularidade topográfica característica das regiões montanhosas.

Procura-se no presente texto dar ênfase ao estudo da cobertura coluvial, considerada importante para a regulagem da infiltração das águas e também como principal manancial dos sedimentos em transporte nos canais fluviais.

2 — COLÚVIOS

Nos colúvios, em geral, predominam sejam os materiais grosseiros com grandes concentrações de blocos embutidos em matriz fina quartzosa e mal selecionada, sejam os clásticos, arenosos com blocos esparsos ou mesmo ausentes.

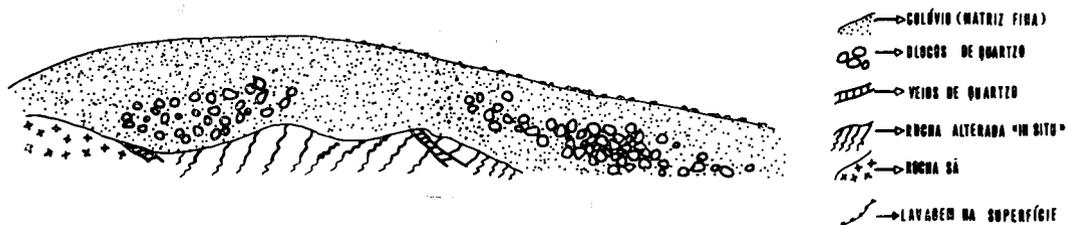


Fig. 5 — Perfil esquemático da estrutura do colúvio em ambiente de grande reativação erosiva e sob influências locais

As cabeceiras do rio da Cachoeira são marcadas pela presença de encostas com fortes declives, caracterizando superfícies de alta energia e espelhando, portanto, condições de elevado potencial de erosão e transporte de clásticos. Evidências de intensa reativação desnudacional podem ser constatadas pela estratigrafia dos depósitos coluviais; localmente, percebe-se uma multiplicidade de gerações de sedimentos. Como, por exemplo, a figura 5 mostra em esquema, uma secção localizada entre a pedra do Conde e a pedra do Elefante. Nesse local observa-se ora o predomínio de matriz fina (diâmetro médio inferior a $- 2\phi$) ora de concentrações de rudáceos (diâmetro superior a 0,10 m). Entretanto, ainda que diferentes corpos coluviais possam vir a ser individualizados no futuro, foge ao interesse do presente trabalho uma discussão sobre o tema.

A estrutura desses materiais sugere uma gênese ligada a processos de movimentos de massa dos regolitos alterados. Os depósitos grosseiros

observados nas encostas montanhosas do maciço apresentam características definidas na literatura com típicos de materiais oriundos de fluidos densos como corridas de lama ou avalanche de detritos (Brigarella *et alii*, 1965; Troll 1969 etc.). Um excesso de água acentuado parece ter possibilitado a ultrapassagem do limite de liquidez destes materiais durante o Quaternário. Do ponto de vista paleohidrológico eles testemunhariam, portanto, eventos de alta intensidade.

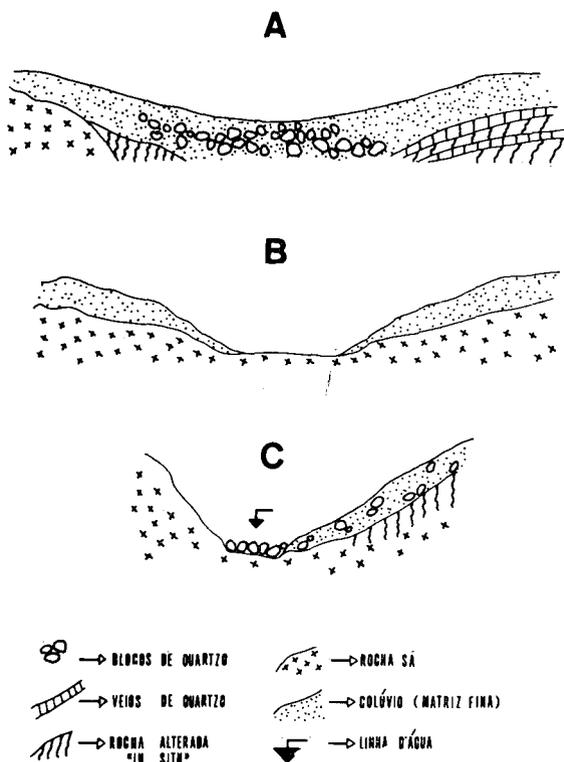


Fig. 6 — Reconstituição esquemática do fundo das depressões nas encostas: A — escoamento direto sobre a rocha sã, ambiente de alta energia; B — preenchimento do fundo das depressões a jusante de A, com concentração maior de blocos no vão central; C — remoção da matriz fina dos colúvios e concentração dos blocos no fundo das ravinas

Em face da importância destes movimentos de massa, pequenas bacias de recepção (anfiteatros) e reentrâncias podem apresentar sinais de deposição nas proximidades dos divisores de águas. Pela figura 6 observa-se, em esquema, o preenchimento das depressões; pode ocorrer elevada concentração de pequenos blocos, quando existe disponibilidade dos mesmos, nas encostas dos anfiteatros (caso A). Teoricamente, tais preenchimentos resultariam de um desequilíbrio entre a quantidade de detritos sólidos liberados pelas vertentes e a capacidade de transporte das águas correntes (Leopold e Müller, 1956). Algumas vezes, nos segmentos superiores destas depressões, onde o gradiente torna-se

mais acentuado, o escoamento das águas superficiais se processa diretamente sobre a rocha sã, refletindo a intensidade do retrabalhamento de detritos nestes setores (caso B). A água concentrada nas depressões apresenta um potencial de transporte superior ao escoamento difuso, provocando o retrabalhamento linear mais acentuado nessas ravinas. Os rios, geralmente, têm um leito recoberto por blocos, depósitos residuais (*lag deposits*), em face da remoção da matriz envolvente (areno-argilosa). Ainda nestes canais, pequenos seixos, grânulos e areias representam a carga em movimento ao longo das ravinas (caso C).

Em 1870 Hartt descreveu depósitos grosseiros nos vales secundários que drenam o maciço da Tijuca e interpretou-os como depósitos glaciais (*glacial drifts*) em analogia aos depósitos das latitudes médias. Ruellan (1944), na área da Guanabara, associou-os à ação vigorosa das torrentes de montanhas. Maack (1947), no Paraná, ligou a sua gênese à desagregação mecânica dos paredões rochosos durante as fases climáticas semi-áridas do Pleistoceno. Bigarella *et alii* (1965) consideram-nos como testemunhas de um período seco vigorante no Pleistoceno



Fig. 7 — Indícios de movimentos lentos nas encostas: troncos inclinados

superior (Winsconsin). As formas topográficas ligadas a estes depósitos correspondem às cabeceiras de rampas, descritas por Meis e Monteiro (1979).

Nos dias atuais os movimentos de massa tornam-se mais restritos aos efeitos de impulsos climáticos de alta intensidade nas encostas de fortes gradientes em face do relativo equilíbrio das vertentes com a



Fig. 8 — Indícios de movimentos lentos nas encostas: troncos retorcidos nas bases

cobertura florestal. É freqüente, no entanto, a observação de testemunhos de movimentos lentos (*creep* ou solifluxão) na área em estudo, tais como troncos inclinados e retorcidos na base (figs. 7 e 8).

Deve-se ressaltar que Schumm (1964), Dylik (1967) e outros autores enfatizam a importância desses processos em regiões úmidas e florestadas, onde podem atingir profundidades consideráveis em face das descontinuidades verticais nas propriedades mecânicas dos solos. Tais variações catalizam a saturação dos solos. De Ploey *et alii* (no prelo) ressaltam que a penetração radicular nos solos tende a acelerar o processo de infiltração. Observações de campo vêm mostrando, com efeito, que as variações verticais na densidade de raízes podem se constituir num fator importante a influenciar o zoneamento desses movimentos lentos no solo (fig. 9).

A desnudação das encostas pode ser intencificada nas áreas onde a ação antrópica promove alterações sensíveis ao ambiente natural. Com efeito, observa-se na área que a presença de caminhos em meio às encostas florestadas permitem o desenvolvimento acelerado de pequenas ravinas, assim como o solapamento dos barrancos (fig. 10).

Tendo em vista o reconhecimento inicial das possíveis tendências ligadas à hidrologia das vertentes, resolveu-se analisar a matriz fina dos colúvios. Posteriormente, procurou-se reconhecer a distribuição, por freqüência de tamanho e litologia, dos blocos embutidos nos mesmos.



Fig. 9 — Sistema radicular subaéreo: adensamento de raízes finas condicionando, aparentemente, o plano de deslizamentos lentos (solifluxão)



Fig. 10 — Desbarrancamentos na base dos cortes de estrada: observa-se maior solapamento abaixo das raízes

2.1 — A matriz fina dos colúvios

2.1.1 — TEXTURA

André e Anderson (1961) enfatizam que a erosibilidade dos solos é função da razão existente entre, de um lado, a proporção de partículas de areia fina e grãos maiores e, de outro, a quantidade e o tipo de agregação das partículas de silte e argila. A literatura ressalta, ainda, que os fatores que atuam na redução da agregação entre as partículas tendem a aumentar a erosibilidade. Em regolitos tropicais, De Ploey (1978) caracterizou experimentalmente que o ângulo de fricção interna dos regolitos se desloca em relação inversa ao índice de plasticidade e aos teores em siltes, argilas e ferro.

A fim de caracterizar a matriz coluvial quanto à sua composição textural, foram analisadas 52 amostras consideradas como representativas para o conjunto da sub-bacia (Fig. 3). Nos colúvios os teores em siltes e argilas são geralmente inferiores aos teores em cascalhos e areias. Considerando o valor médio amostral, as percentagens em finos apresentam-se em torno de 35,7%, com desvios, na maioria dos casos, pouco expressivos (variância ou $s = 11,78$; coeficiente de variação ou C.V. = 33,01% (figura 11). O empobrecimento mais acentuado em silte e argila está normalmente associado à proximidade dos veios de quartzo, os quais favorecem maior concentração dos clásticos grosseiros.

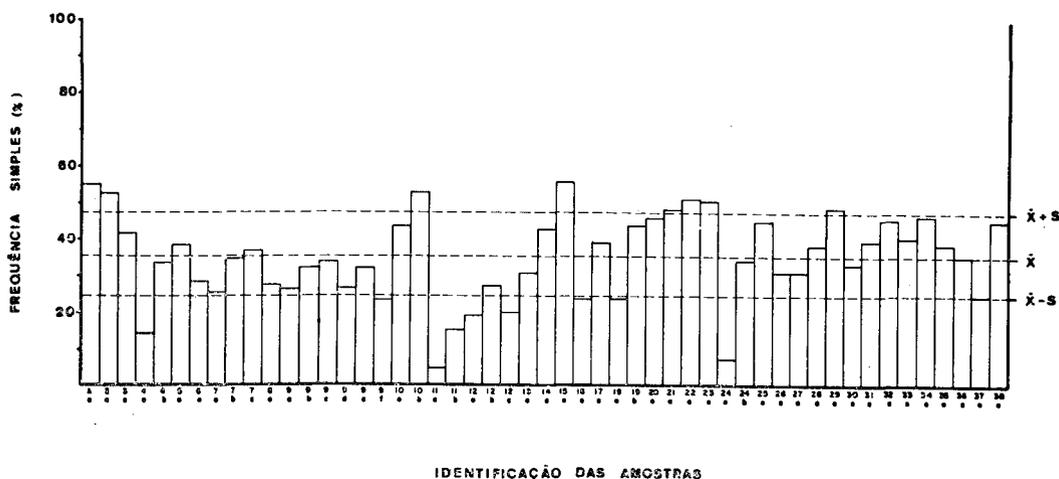


Fig. 11 — Teor em silte e argila nos depósitos coluviais $\bar{x} = 35,7\%$; variância (S) = 11,78

Partindo-se desta visão geral das características dos colúvios, procurou-se, a seguir, analisar as propriedades texturais apresentadas pela capa superficial dos mesmos (*topsoil*) e em profundidade. Esta individualização do *topsoil* justifica-se pelo importante papel por ele desempenhado na definição dos índices de permeabilidade do solo. Uma amostragem especial foi realizada em 26 locais, considerando-se como *topsoil*

a camada mais superior do colúvio, entre 0 e 10 cm de profundidade. Em termos médios, verificou-se que as partículas finas tornam-se ligeiramente menos expressivas no *topsoil* do que em profundidade (X topo = 32,46; X prof = 37,59). No entanto, os desvios observados em relação a estes valores médios apresentaram-se maiores no topo, obtendo-se os seguintes resultados: topo-S = 10,61 e C.V. = 28,24% e profundidades-S = 14,97 e C.V. = 46,10% (Fig. 12).

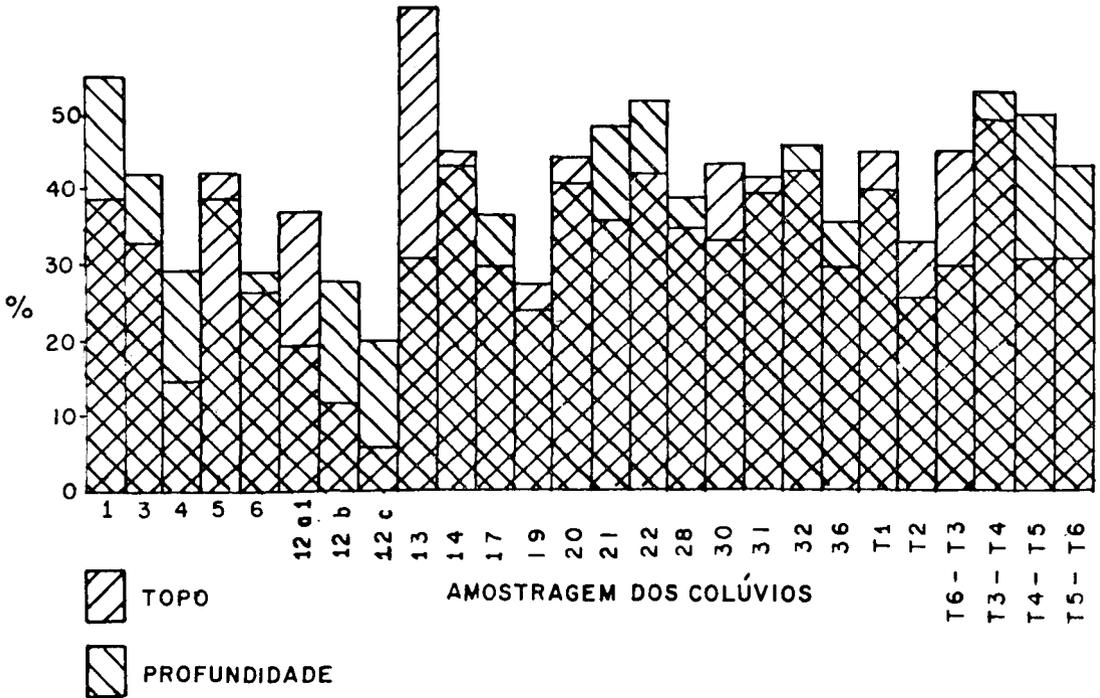


Fig. 12 — Variação do teor em silte e argila entre o topo dos depósitos colúviais e em profundidade

Tendo em vista melhor identificação das variações verticais observadas, procurou-se estabelecer um controle mais detalhado nos perfis do solo, em trincheiras localizadas sob diferentes condições topográficas (fig. 13). Nestes perfis observam-se tendências a uma distribuição granulométrica relativamente homogênea: pode-se, no entanto, verificar variações locais relacionadas à posição das secções dentro da topografia regional, e à rocha matriz dos sedimentos. A figura 14 mostra para os colúvios o predomínio de distribuições granulométricas bimodais, com a moda principal entre as frações -1ϕ e $+1\phi$. Nas áreas de menor gradiente a moda secundária (silte e argila) tende a aumentar em detrimento dos grãos mais grosseiros, principalmente na camada superior dos solos.

Pela amostragem realizada (fig. 15) observa-se que nos setores de gradientes mais baixos ocorre no *topsoil* um enriquecimento em partículas finas (em torno de 45%), enquanto nas encostas íngremes o teor

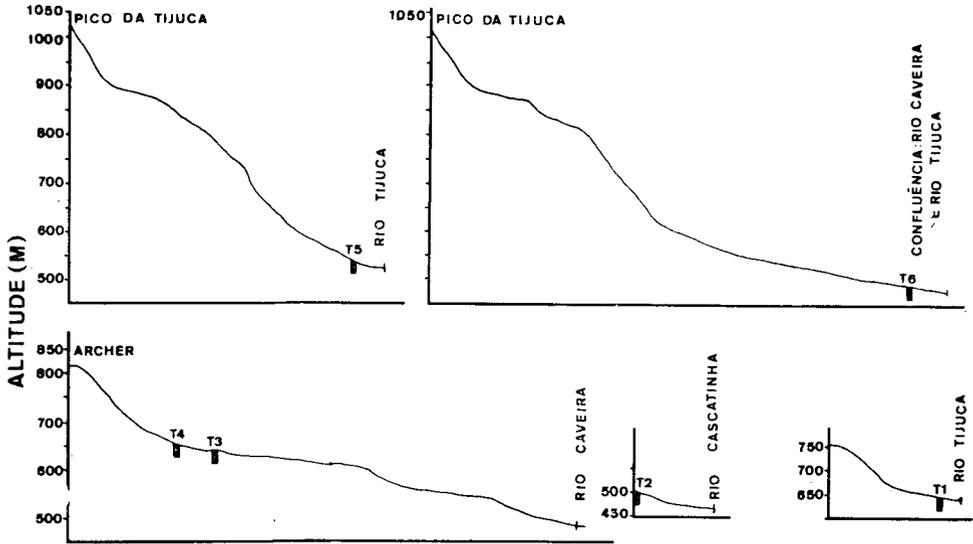


Fig. 13 — Perfis topográficos das encostas para localização das trincheiras

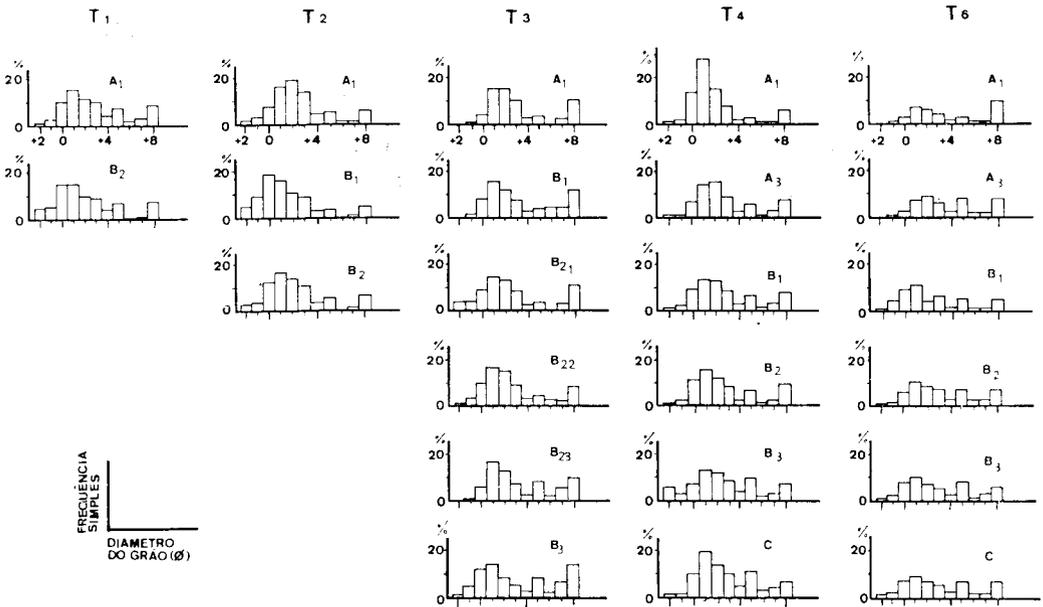


Fig. 14 — Comportamento textural nos perfis de solo: histogramas de frequência simples dos diferentes tamanhos de grãos

em finos tende a decrescer (em torno de 30%). As variações observadas confirmam a idéia de que, com a diminuição dos declives, as águas superficiais perdem gradativamente o seu potencial de transporte (Leo-

pold *et alii*, 1964; Rapp *et alii* 1972). Em profundidade os teores em silte e argila oscilam sem grandes contrastes dentro de cada perfil, podendo os sedimentos tornarem-se ligeiramente mais finos ou mais grosseiros.

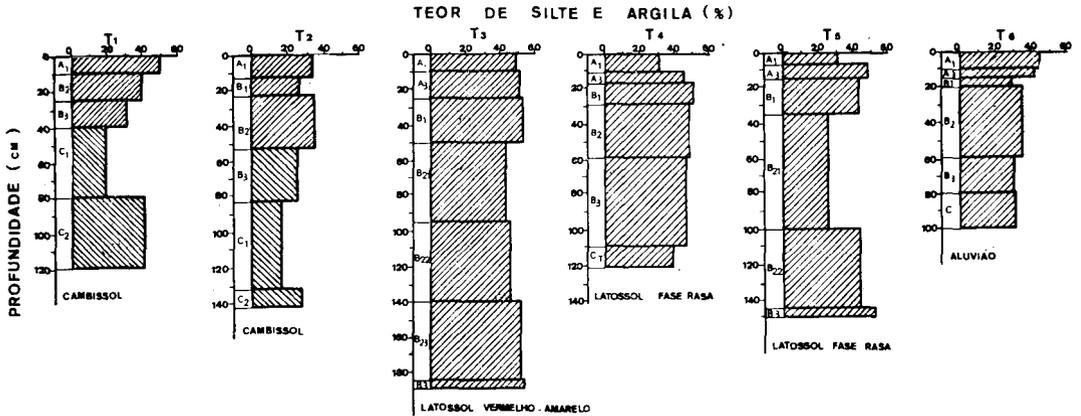


Fig. 15 — Teor em silte e argila ao longo dos perfis de solo e classificação dos solos

A espessura dos colúvios pode ser também considerada como um fator importante na avaliação da percolação das águas no solo. Com efeito, os colúvios mais espessos, representando um meio mais contínuo à filtração das águas, parecem favorecer um maior desenvolvimento dos perfis do solo. Localmente já se percebe uma atuação dos processos de iluviação, embora os contrastes entre os horizontes dos solos sejam ainda pouco expressivos. Não se exclui, entretanto, a possibilidade de existirem variações texturais de caráter primário.

2.1.2 — MINERALOGIA

Com o intuito de facilitar a análise dos colúvios, procurou-se subdividi-los de acordo com as variações litológicas observadas no substrato das respectivas áreas-fontes.

Assim, 5 grupos foram individualizados:

Grupo 1 — compreende as cabeceiras dos subsistemas de drenagem que atingem o substrato de gnaisses-granitóides, ou seja, os anfiteatros que circundam as localidades denominadas Caveira e Bom Retiro e, ainda, a montante do rio Cascatinha.

Grupo 2 — abrange os arredores da pedra do Archer, onde ocorrem afloramentos de gnaisses-granitóides e microclina-gnaisse.

Grupo 3 — representa grande parte da bacia, cuja fonte de sedimentos é predominantemente constituída por gnaisses diversos (microclina e biotita-gnaisses).

Grupo 4 — refere-se às áreas próximas aos veios de quartzo.

Grupo 5 — trata-se de uma área localizada nas proximidades do pico do papagaio, marcada pela presença de granitos de textura fina superpondo-se aos granitóides.

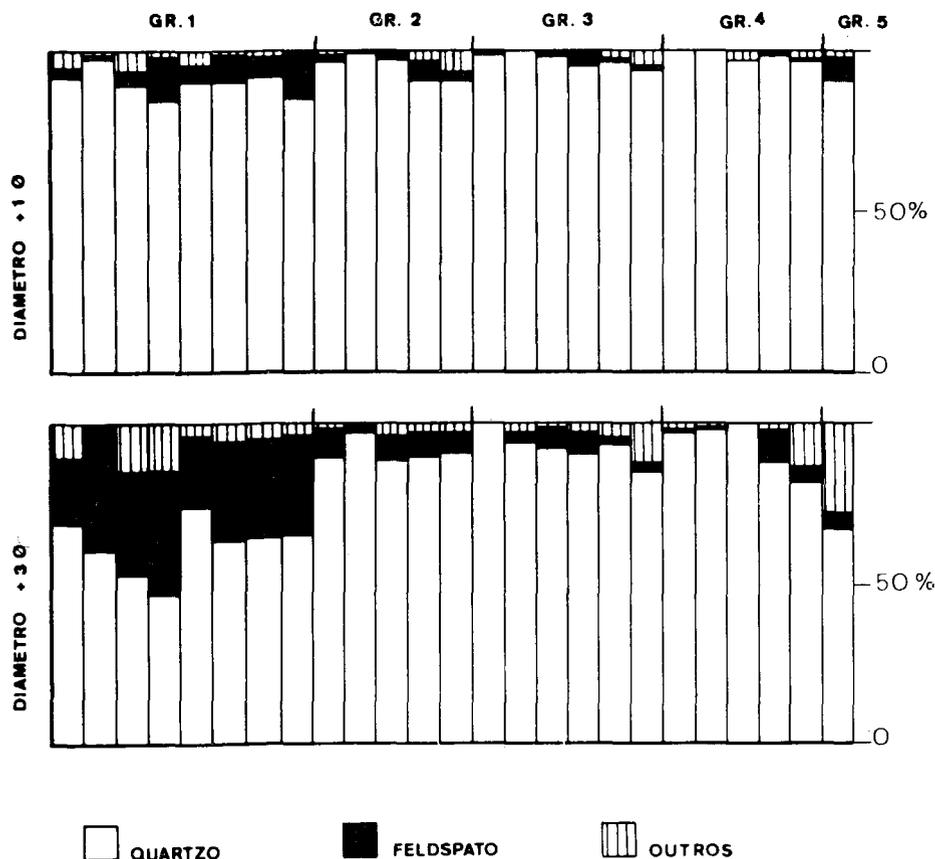


Fig. 16 — Composição mineralógica dos colúvios: histogramas com percentuais de frequência dos cristais de quartzo, feldspatos e outros minerais (minerais leves e fragmentos de rocha)

Pela figura 16 pode-se observar as distribuições percentuais dos minerais leves nas amostras estudadas. Sobressai uma tendência geral ao empobrecimento dos cristais de feldspato, principalmente nos diâmetros mais grosseiros. Deve-se notar, entretanto, que os mais altos teores em feldspato correspondem aos depósitos colúviais ligados à ocorrência de gnaiss-granitóide (grupo 1), com um sensível enriquecimento na fração mais fina.

2.2 — Blocos de colúvios: tamanho e litologia

Os blocos tendem a se concentrar nas zonas de ruptura de declive, ou seja, na base dos paredões rochosos. Nessas áreas ocorrem os blocos de maior diâmetro (base dos picos da Tijuca, Papagaio e pedra do

Archer). A jusante das encostas, além da redução no tamanho, ocorre maior dispersão de blocos dentro da matriz coluvial, restringindo-se as concentrações de blocos ao fundo de ravinas, principalmente nas proximidades dos veios de quartzo (fig. 17).

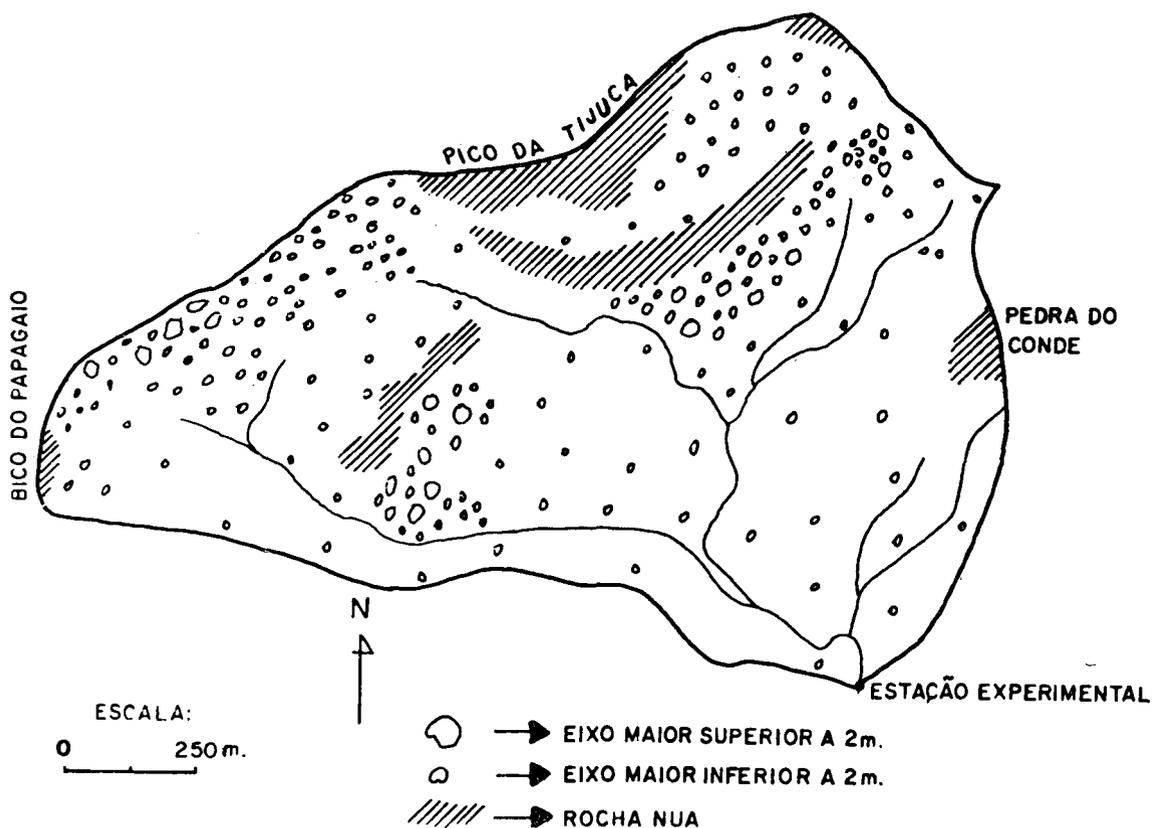


Fig. 17 — Esboço geral da distribuição de blocos nos depósitos de encosta (tálus e colúvios)

A amostragem voltada para a análise de frequência dos blocos quanto ao tamanho e litologia obedeceu ao mesmo critério adotado anteriormente para a matriz coluvial. A figura 18 mostra os histogramas representativos de cada grupo. No grupo 1 predominam os blocos entre 0,20 e 0,50 m de diâmetro maior, podendo atingir até 2,0 m; na maior parte são constituídos por granitóides. Nos grupos 3 e 5 mantêm-se o predomínio dos blocos de 0,20 e 0,50 m, podendo os maiores atingir mais de 5,0 m de diâmetro maior: ressalta-se que os granitóides passam a constituir apenas cerca de 10% da amostra total. No grupo 4 percebe-se as variações promovidas pela presença dos veios de quartzo, cujos blocos passam a predominar. Os blocos de granitóides tornam-se praticamente ausentes.

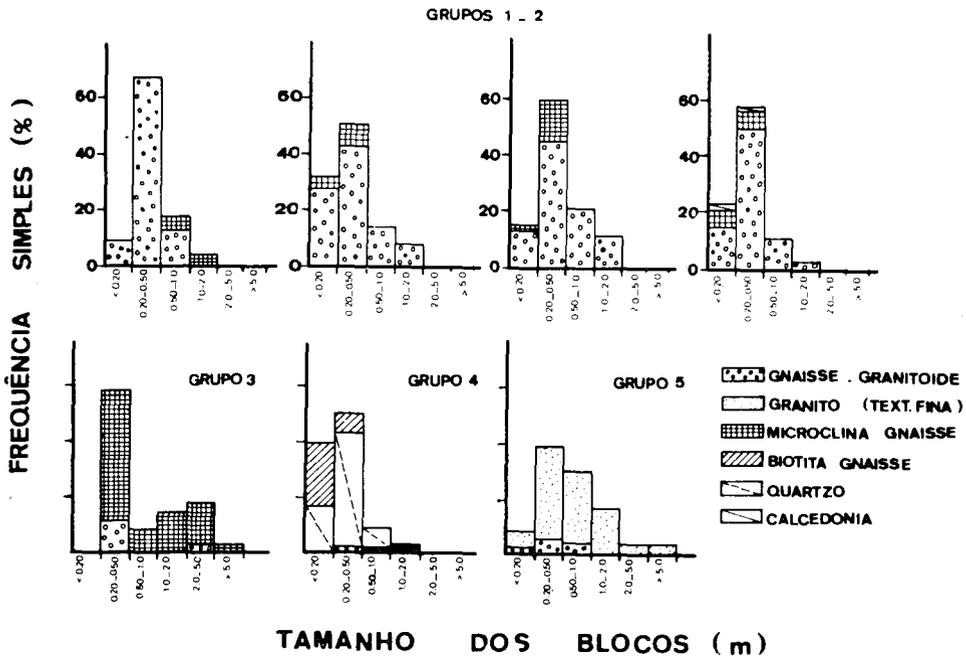


Fig. 18 — Frequência simples dos blocos de diferentes tamanhos embutidos na matriz coluvial: histogramas com percentuais de frequência quanto à composição litológica

3 — ALÚVIOS

3.1 — Características texturais

A literatura ressalta que, do ponto de vista textural, os alúvios tendem a refletir o modo e a energia do transporte (Friedman, 1961; Potter, 1967, etc.). Na área em estudo os leitos dos rios são constituídos por uma justaposição de blocos, seixos e clásticos arenosos. Em face do grande diâmetro dos matações presentes, limitou-se a análise mecânica à matriz arenosa contendo cascalho até $- 2\phi$ (4 mm). As partículas mais finas (silte e argila) são praticamente inexistentes na calha dos rios devido ao elevado gradiente e energia do fluxo.

A coleta dos sedimentos foi efetuada tanto nos canais de primeira ordem quanto nos de segunda, terceira e quarta ordens, em pontos considerados como representativos das variações topográficas e litológicas observadas na bacia (fig. 3).

Pela figura 19A nota-se que a granulação média dos materiais estudados varia entre os cascalhos finos e as areias grosseiras ($- 1\phi$ a $+ 1\phi$), sendo esses valores altamente correlacionados com os valores medianos. As medidas de tendência central documentam a ocorrência de fluxos de velocidades altas (ver Sundborg, 1967).

No que diz respeito ao desvio padrão (fig. 19B) não ocorrem também grandes variações entre as amostras, o que parece indicar certa semelhança na ação seletiva do agente de transporte ao longo dos canais,

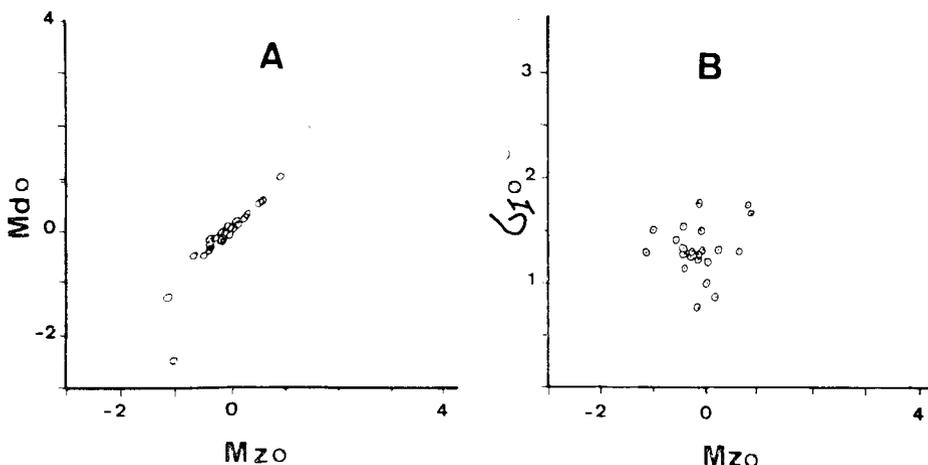


Fig. 19 — Textura dos materiais aluviais: correlação entre parâmetros granulométricos

A — correlação entre os diâmetros médios ($M_{z\phi}$) e medianos ($M_{d\phi}$)

B — correlação entre o grão médio ($M_{z\phi}$) e o desvio padrão (σ_ϕ)

nos diversos trechos da bacia. O baixo selecionamento dos alúvios (σ_1 entre 1,0 e 1,5) parece documentar as condições do fluxo dos canais sujeito a flutuações amplas e rápidas. De acordo com Folk (1968), a triagem dos sedimentos tende a diminuir para fluxos de energia de intensidade variável e, portanto, de baixa persistência.

Torna-se difícil a definição das variações texturais ao longo dos perfis logitudinais dos cursos d'água em face da interferência de fatores locais, destacando-se dentre eles a geometria dos canais. A morfologia de fundo varia espacialmente, mas também no decorrer do tempo, em resposta às amplas flutuações do regime do fluxo.

3.2 — Características mineralógicas

Pela figura 20 observa-se que as areias e cascalhos são constituídos predominantemente por grãos de quartzo, havendo um certo enriquecimento em feldspato nas frações mais finas. Exceção é feita para o rio Conde, que se encontra fora da área de influência dos gnaisses-granitóides, e onde o teor em feldspato se apresenta inexpressivo em qualquer diâmetro analisado.

Os teores em feldspato mais elevados nas frações arenosas finas são explicados por Pollack (1961) e Monteiro *et alii* (1974) como resultantes da fragmentação dos cristais ao longo dos planos de clivagem e também do intemperismo. Pollack observou que a abrasão mecânica dos cristais de feldspato transportados no fluxo turbulento leva a uma progressiva diminuição dos seus teores nas frações mais grosseiras, e a uma tendência à manutenção de uma razão quartzo/feldspato constante nas areias finas.

A amostragem efetuada na sub-bacia do rio da Cachoeira revela que na fração arenosa mais grosseira (+ 1 ϕ) os teores em feldspato mantêm-se constantes na direção de jusante, apresentando apenas li-

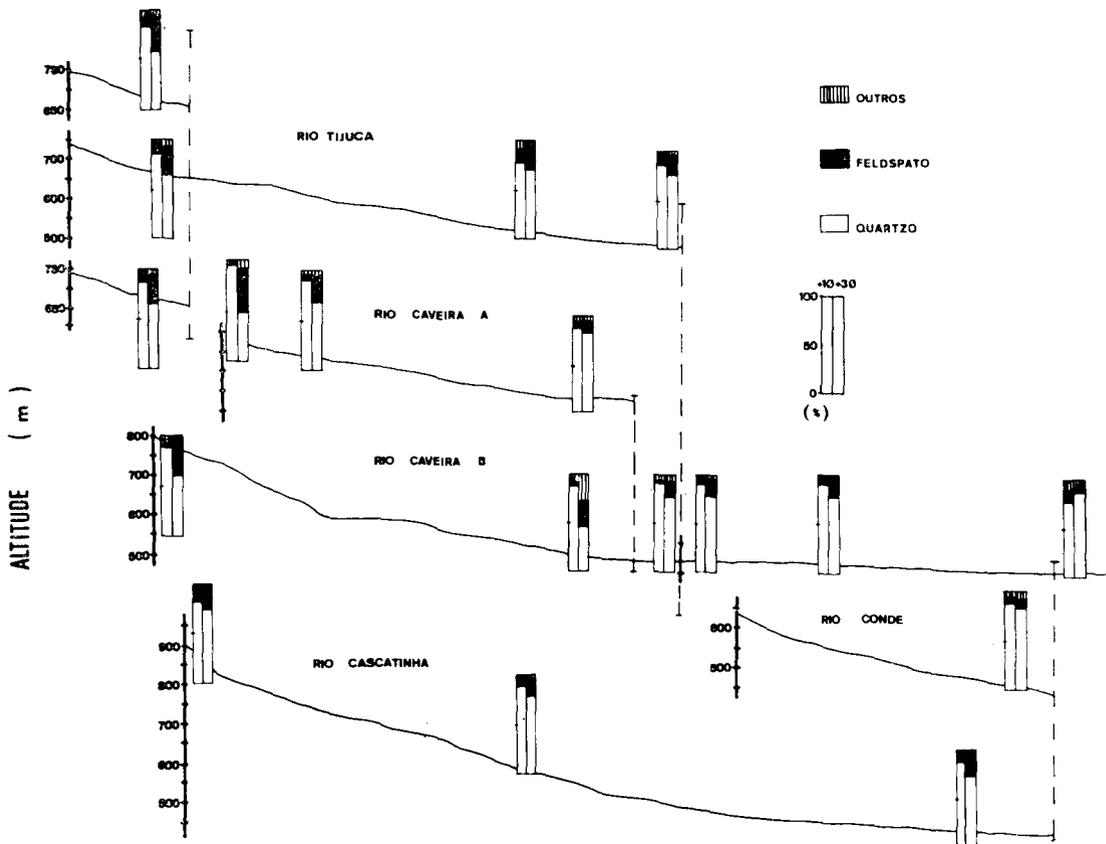


Fig. 20 — Composição mineralógica dos alúvios atuais: histogramas com percentuais de frequência dos cristais de quartzo, feldspato e outros minerais (minerais leves e fragmentos de rocha). Localização dos pontos amostrados ao longo dos canais

geiros aumentos nas nascentes dos rios Tijuca e Cascatinha. Na fração mais fina ($+3\phi$) ocorre, grosso modo, uma tendência à redução dos teores em feldspato na direção de jusante. Estes resultados não se ajustam inteiramente ao modelo proposto por Pollack (1961). A fragmentação do feldspato durante o transporte deveria provocar uma diminuição dos seus percentuais dentro da fração mais grosseira, compensado por um aumento relativo da sua representatividade nas frações mais finas. Tal fato pode, talvez, ser explicado pelas pequenas distâncias de transporte, assim como pelo estado ainda pouco interperizado dos feldspatos (principalmente K-feldspatos) fornecidos pelos gnaisses-granitóides.

Sugere-se ainda a hipótese de que a aparente distorção possa estar intimamente ligada à própria mineralogia dos regolitos que constituem a área-fonte dos alúvios. O empobrecimento em cristais de feldspatos nas frações de areias finas pode, talvez, refletir uma contribuição de sedimentos maduros (colúvios) erodidos das encostas pelo escoamento das águas pluviais. A competência deste agente não parece exceder as partículas arenosas mais finas em face da retenção parcial dos clásticos grosseiros pelos obstáculos naturais existentes nas encostas, dentre eles se incluindo a vegetação.

3.3 — Blocos e Seixos

Assim como nos colúvios, os rudáceos foram analisados de acordo com a sua frequência por tamanho e litologia. O menor tamanho considerado foi de 5 cm para o eixo maior.

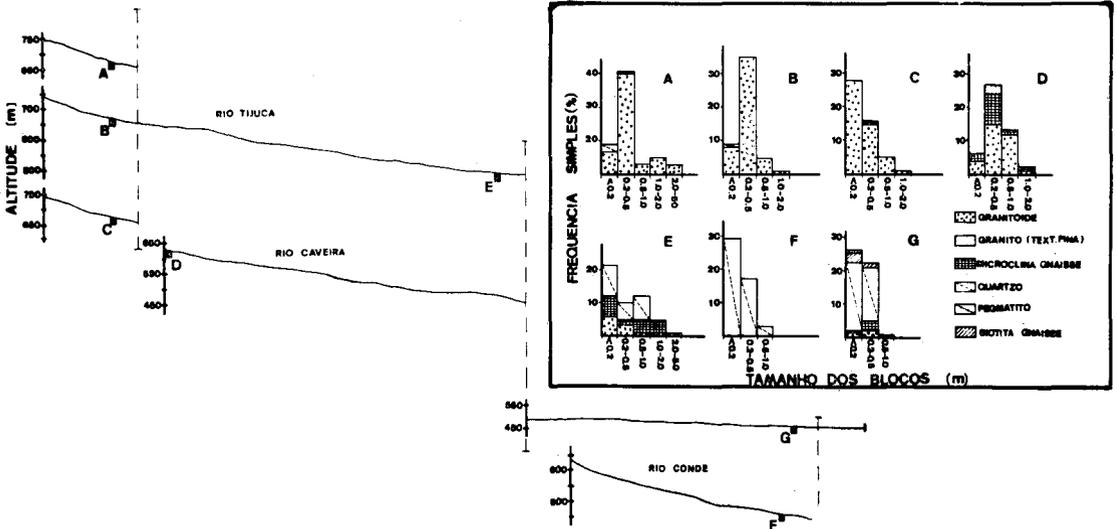


Fig. 21 — Frequência simples dos blocos de diferentes tamanhos concentrados no fundo dos canais: histogramas com percentuais de frequência quanto à composição litológica. Localização dos pontos amostrados ao longo dos canais

A figura 21 mostra a posição de cada ponto estudado ao longo dos perfis longitudinais dos canais. Ainda na mesma figura representam-se histogramas de frequência simples para os diferentes tamanhos dos rudáceos e, em cada coluna, a porcentagem relativa da composição litológica. Os casos A, B, C e D representam trechos que drenam diretamente os colúvios ricos em blocos de granitóides; em E caracteriza-se os coletores situados a jusante de áreas sob a influência de outras associações de rocha. No caso F tem-se a zona fora da interferência dos granitóides (sub-bacia do rio Conde). Os resultados obtidos demonstram uma estreita ligação entre a composição observada na calha dos rios e a cobertura coluvial das encostas adjacentes. Evidencia-se, ainda, uma variação no porte dos blocos de montante para jusante da bacia e já no *outlet* predominam seixos inferiores a 0,50 m de eixo maior (98%), tornando-se rarefeitos aqueles de até 1,0 m.

A distribuição de frequência de seixos e blocos ao longo das calhas fluviais é capaz de fornecer elementos para uma avaliação indireta da competência do fluxo. Como uma primeira aproximação ao problema, pode-se verificar que no *outlet* da sub-bacia (localidade G da figura 21) predominam no leito seixos de formas alongadas com diâmetros inferiores a 12 cm (ver histogramas de frequência simples contidos na figura 22). O histograma resulta de amostragem sistemática realizada em um momento determinado, tendendo, portanto, a exprimir

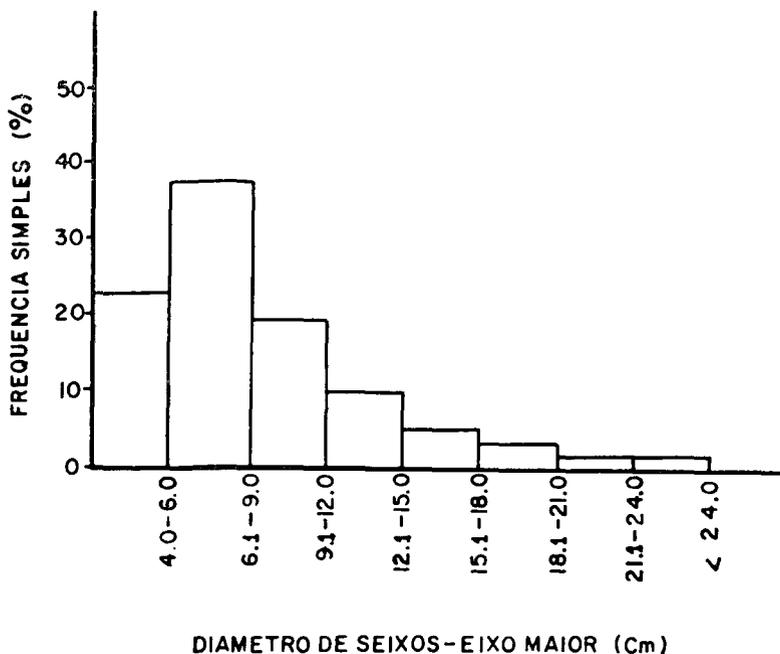


Fig. 22 — Frequência simples de blocos e seixos de diferentes tamanhos, nas proximidades da estação flúvio-sedimentométrica

uma condição de energia de fluxo não controlada. Em face das flutuações muito amplas da descarga líquida do canal, parece ainda prematuro especular sobre a validade da distribuição para testemunhar uma condição *característica* para a energia do ambiente. Entretanto, pode-se assegurar que no *outlet* da sub-bacia ocorre transporte de seixos cujos eixos maiores chegam a ultrapassar os 10 centímetros. Com a continuidade do projeto será possível, através de medidas sucessivas, verificar, por análises comparativas, as variações das distribuições em função de fluxos controlados e diferenciados. Sincronicamente procurar-se-á quantificar a vazão sólida da sub-bacia do rio da Cachoeira, nela se incluindo a carga de fundo, a partir do emprego de coletores especiais já instalados na estação experimental.

CONCLUSÕES

A sub-bacia do rio da Cachoeira, apesar dos fortes declives e de apresentar paredões onde aflora a rocha nua, pode ser caracterizada pela presença de uma cobertura coluvial bastante expressiva. Estes depósitos devem representar importante fator de condicionamento da hidrologia das encostas.

A partir da análise textural desenvolvida nos depósitos colúviais pode-se chegar às seguintes aproximações:

a) nos colúvios ocorre uma tendência ao predomínio dos clásticos grosseiros (areias e grânulos) em detrimento dos finos (siltes e argilas). As distribuições granulométricas refletem, sem dúvida, os altos gradientes apresentados pelas encostas.

Sugerem permeabilidade relativamente alta.

b) nos perfis de solo o comportamento granulométrico mostra diferenciações verticais pouco significativas e uma pedogênese pouco avançada.

c) espacialmente as variações texturais parecem estar ligadas, em grande parte, à geometria das encostas.

Nas altas vertentes os depósitos tendem a ser mais grosseiros, principalmente na camada superficial do solo (*topsoil*). Localmente percebe-se a influência marcante dos veios de quartzo, os quais contribuem para o enriquecimento em clásticos grosseiros; nestas áreas os teores em siltes e argilas decrescem consideravelmente.

O caráter relativamente grosseiro dos materiais estudados pressupõe condições favoráveis à permeabilidade dos solos. Ressalta-se, porém, que outros fatores podem ser destacados como importantes para a compreensão da percolação das águas e, portanto, da hidrologia das encostas.

A espessura da cobertura colúvial também pode ser significativa para a definição do ambiente físico envolvido no processo de distribuição das águas no solo. Teoricamente, tomando-se como constantes as outras variáveis, nos depósitos menos espessos a capacidade de saturação deve ser atingida mais rapidamente, levando a maior ativação do escoamento superficial. Entretanto, em face do caráter grosseiro apresentado pelos colúvios, acredita-se que a velocidade de filtração das águas no meio poroso, quando saturado, possa vir a restringir parcialmente os excedentes de precipitação. Por outro lado, nos solos mais espessos já se percebem evidências de uma percolação vertical das águas pluviais, denotando maiores perdas por infiltração.

Os paredões rochosos, assim como os blocos de maior porte embutidos na matriz colúvial, parecem influenciar, de certa forma, a intensidade do escoamento superficial. Em outras palavras, o fluxo líquido intenso originado nestas superfícies impermeáveis durante os períodos de precipitação incidiria sobre as zonas permeáveis adjacentes, intensificando o retrabalhamento dos clásticos. Com efeito, verificou-se que na porção superior das vertentes, em especial nas áreas próximas aos paredões rochosos, o escoamento é muito intenso e capaz de promover a remoção das partículas mais finas da camada superficial do solo (*topsoil*). Vertente abaixo, e na medida em que o próprio gradiente se reduz, esta potencialidade parece diminuir: tal fato pode ser atestado pela presença de maior percentual de partículas finas dentro do ambiente. O enriquecimento relativo em finos pode resultar tanto de maior estabilidade aparente do solo como também de uma deposição parcial dos detritos em trânsito.

Os blocos aflorantes tendem também a desviar e concentrar as águas do escoamento superficial, provocando a formação de ravinas (*rills*) ao longo das encostas.

As observações a respeito dos processos atuantes nas encostas mostraram ainda que os afloramentos de granitóides parecem representar a fonte básica dos feldspatos pouco alterados encontrados no fundo dos rios. Desta forma, pode-se considerar, a partir da variação da relação quartzo/feldspato ao longo dos canais formados na região dos granitóides, a possibilidade de ocorrência de um retrabalhamento linear mais acentuado no fundo das depressões que correspondem aos anfiteatros do Bom Retiro, Caveira e Papagaio. Os feldspatos, portanto, seriam provenientes tanto da remoção dessa matriz coluvial como da quebra dos blocos desprendidos da matriz e que são posteriormente retrabalhados pelas águas fluviais.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRÉ, J. E.; ANDERSON, H. W., 1961 — Variation of soil erodibility with geology, geography zone, elevation and vegetation type in Northern California Wildlands: *Journ. of Geophys. Res.* vol. 66, p. 3351-3358.
- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE, 1976 — *Dictionary of Geological Terms*. Anchor Books, Garden City, New York.
- BAKKER, J. P.; MÜLLER, H. J., 1957 — *Zweiphasige Flussablagerungen und Zweiphasenwerurtterung in den Tropen unter besonderer Berücksichtigung von Surinam*: Lautensach Festschrift Stuttgart, p. 365-397.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. e SILVA, J. X., 1965 — Considerações a respeito da evolução das vertentes: *Bol. Paran. Geogr.* 16/17, p. 85-116.
- COELHO NETTO, A. L., 1979 — O processo erosivo nas encostas do maciço da Tijuca, RJ. Parte 1: Condicionantes e Diretrizes — Tese de Mestrado — Instituto de Geociências da UFRJ.
- DE PLOEY, J.; CRUZ, O. e MODENESI, M. C. — Resistances au cisaillement et conditions de glissements de terrain à Caraguatatuba et à Campos do Jordão (Etat São Paulo): Anais do Colóquio Interdisciplinar franco-brasileiro para Estudo das Formações Superficiais e suas Aplicações, SP.
- DYLIK, Z. J., 1967 — Solifluxion and related slope processes: *Geogr. Annaler* 49A, p. 167-177.
- FOLK, R. L., 1968 — *Petrology of Sedimentary Rocks*: Univ. Texas Geol. 370 k. Hemphill's Austin, 170 p.
- FRIEDMAN, G. M. 1961 — Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics: *J. Sed. Petrol.* 31, p. 514-529.
- GABRIEL, A.; COX, E. P., 1929 — A staining method for the quantitative determination of certain rock minerals: *Amer. Mineral.*, 14, p. 29-292.
- GALLEGO, L. P., 1971 — O sudeste. O clima tropical de altitude. A natureza e a orientação das massas de ar: *Curso para Professores de Geografia*, IBGE, n.º 17, p. 32-36.
- GUY, H. P., 1964 — An analysis of some storm period variables affecting stream sediment transport: *Geol. Survey Prof. Paper* 462-E, p. 1-39.
- HARTT, C. F. S., 1870 — *Geology and Physical Geography of Brazil*: (33) Fields Osgood & Co., 620 p.
- HAYES, J. R.; KLUGMAN, M. A., 1959 — Feldspar staining methods. *J. Sed. Petrol.* 29, p. 227-232.

- HORTON, R. E., 1933 — *The role of infiltration in the hidrologic cycle: Trans. AGU*, 14, p. 446-460.
- JOHNSON, A. W., 1961 — Highway erosion control: *Am. Soc. Agricultural Engineers, Trans.*, vol. 4, n.º 1, p. 144-152.
- LOPOLD, L. B.; MILLER, J. P., 1956 — Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage net: *USGS Prof. Paper* 282A, p. 1-37.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. e MILLER, J. P., 1964 — *Fluvial Processes in Geomorphology*: W. H. Freeman and Co., S. Francisco, 622 p.
- MAAK, R., 1947 — Breves Notícias sobre a Geologia sobre o Estado do Paraná e Santa Catarina: *Arg. Biol. Tecn. IBPT2*, p. 63-154.
- MEIS, M. R. M.; MONTEIRO, A. M. F., 1979 — *Upper Quaternary "Rampas" Doce River Valley, Brazil: Z. fur Geomorph.* 23 (2): 132-151.
- MONTEIRO, A. M. F.; COELHO NETTO SILVA, A. L.; SILVA, J. R.; CARDOSO, L. F. e MEIS, M. R. M., 1974 — Considerações sobre os alúvios recentes da região da Serra do Mar, RJ: *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Vol. 1, p. 421-426.
- PICHLER, E., 1957 — Aspectos Geológicos dos escorregamentos de Santos: *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 6, p. 69-77.
- POLACK, J. M., 1961 — Significance of compositional and textural properties of South Canadian river channel sands, New México, Texas and Oklahoma: *J. Sed. Petrol.*, 31, p. 15-37.
- POTTER, P. E., 1967 — Sand bodies and sedimentary environments: a review: *Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 51, p. 337-365.
- RAPP, A.; AXELSSON, V.; BERRY, L.; MURRAY-RUST, D. H., 1972 — Soil erosion and sediment transport in the Morogoro River Catchment, Tanzania: *Geogr. Annaler*, 54A, 3-4, p. 125-155.
- RUELLAN, F., 1944 — A evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões vizinhas. *Rev. Bras. Geogr.* 6, p. 445-508.
- SCHUMM, S. A., 1964 — *Seasonal variations of erosional rates and process on hillslopes in Western Colorado: Z. fur Geomorph.* 5, p. 215-238.
- COELHO NETTO SILVA, A. L.; SANTOS, A. A. M., 1979 — Análise de Freqüência de Chuvas no Maciço da Tijuca, RJ: *Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos* n.º 2.
- SUNDBORG, A., 1967 — Some aspects of fluvial sediments and fluvial morphology: General views and graphic method: *Geogr. Annaler* 38, p. 127-316.
- TROLL, C., 1969 — Inhalt, Probleme und methoden Geomorphologischer Forschung: *Beih. Geol.* 80, p. 225-257.