

GEOLOGIA.

GEOLOGIA APLICADA À BARRAGEM DO RIO SARACURUNA, NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS (RJ)

RUY OZORIO DE FREITAS

O Dr. RUY OZORIO DE FREITAS, sócio efetivo da A.G.B., Livre-Docente de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo e Professor-Adjunto de Geologia da mesma Faculdade, ocupa no momento, como Professor contratado, a cátedra de Mineralogia e Geologia da Escola de Engenharia de São Carlos, instituto de ensino também integrante da Universidade de São Paulo. Realizando um estudo de Geologia aplicada à construção de uma barragem, conseguiu obter novos conhecimentos de detalhe a respeito da Geomorfologia da área pesquisada, que se situa na alta bacia do rio Saracuruna, na Serra da Estrêla, em terras fluminenses.

O presente trabalho versa um estudo de geologia aplicada à construção de uma barragem no curso alto do rio Saracuruna, na Serra da Estrêla, destinada ao abastecimento d'água da Refinaria Duque de Caxias, de propriedade da PETROBRAS, S. A.

Investigações desta natureza trazem novos dados sobre a geologia da Serra do Mar, produzindo novos conhecimentos analíticos sobre a geomorfologia e a tectônica da área pesquisada. Estes fatos inéditos levam, naturalmente, o trabalho a incidir sobre questões de trato acadêmico e de ciência pura, mas que, no fundo, são sempre úteis à engenharia das barragens.

Em primeiro lugar, serão apresentados os resultados referentes ao sítio da barragem, abrangendo a fisiografia, a litologia, o intemperismo, a estrutura; e, finalmente, após um apanhado sobre a geologia regional e a geomorfologia da região em apreço, as recomendações e os resultados da geologia aplicados à engenharia civil.

Topografia. — O ante-projeto de construção selecionou dois eixos, respectivamente 1 e 2; o sítio 2 fica cerca de 220 m à jusante do sítio n.º 1.

Ambos os sítios ficam situados em um *canyon* do rio Saracuruna, logo imediatamente após a junção dos rios Mantiquira e da Pedra Branca. O *canyon*, no sítio 1, tem uma profundidade de 30 m,

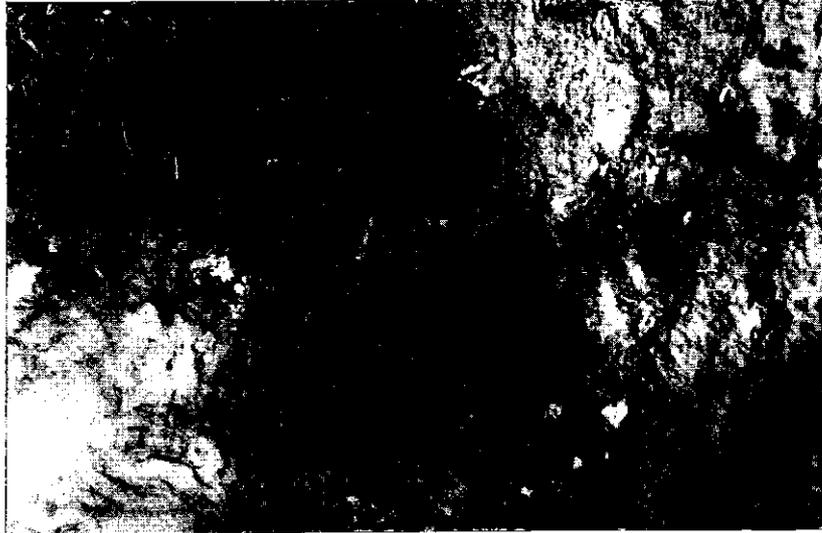


Foto n.º 1 — Eixo n.º 1 — Margem direita — Afloramento de colúvio na cota 70 m.



Foto n.º 2 — Eixo n.º 1 — Margem direita — Afloramento de restos decompostos de talus cota 80 m.

com um perfil assimétrico devido ao lado esquerdo ser mais abrupto, segundo se observa na fig. 1. A topografia, à montante dêste estrangulamento do talvegue, tem uma feição singular: abre-se uma vasta bacia hidrográfica, com drenagem dendrítica, em forma de anfiteatro, drenada principalmente pelo rio Pedra Branca.

Há, por uma feliz disposição, uma topografia ideal para a construção de uma barragem: uma bacia de acumulação naturalmente esculpida pela rede hidrográfica que se fecha em um funil, na sua saída para a Baixada Fluminense.

As origens desta topografia serão examinadas no capítulo referente à fisiografia.

Litologia. — Antecedendo a apresentação dos caracteres das rochas que ocorrem no sítio da barragem, é desejável precisar alguns conceitos litológicos para melhor compreensão da geologia por parte da engenharia.

Existem três tipos de rochas aflorando no terreno: 1) talus; 2) colúvio; e 3) migmatitos.

O termo petrográfico TALUS designa depósitos grosseiros, usualmente do tamanho de matacões, de mistura com calhás, com forma angular, heterogêneos na litologia, produzidos por intemperismo físico (desintegração) nos taludes das encostas e mobilizados para o pé das escarpas por ação gravitativa. Com respeito ao tamanho do material clástico, o autor adota a classificação de WENTWORTH (1938, p. 80), abaixo transcrita:

1 — Matacão	Acima de 256mm
2 — Calháu	256 — 64mm
3 — Pedregulho	64 — 4mm
4 — Pedrisco	4 — 2mm
5 — Areia muito grossa	2 — 1mm
6 — Areia grossa	1 — 1/2mm
7 — Areia média	1/2 — 1/4mm
8 — Areia fina	1/4 — 1/8mm
9 — Areia muito fina	1/8 — 1/16mm
10 — Silte	1/16 — 1/256mm
11 — Argila	Abaixo de 1/256mm

O talus comporta-se como um depósito de *transporte transversal*, no qual a componente vertical é bem maior que a horizontal, característica do transporte por águas correntes. A ocorrência de talus no terreno implica na admissão de um clima pretérito sêco e quente, com condições meteorológicas capazes de favorecer a desintegração em prejuízo da decomposição química. Evidentemente, mesmo à observação leiga, não são atuais as condições climáticas que produzem talus. A conclusão acadêmica da presença de tais depósitos rudáceos consiste em admitir, em um passado geológico próximo,



Foto n.º 3 — Eixo n.º 2 — Leito seco com alúvio resto de talus e imaturidade textural dos depósitos rudáceos e arenosos.



Foto n.º 4 — Eixo n.º 2 — Margem direita. Afloramento de restos de talus decomposto.

provavelmente no terciário antigo, uma topografia áspera de escarpas na Serra do Mar, em cujos taludes os depósitos de talus se espessavam à custa de um clima quente e sêco.

O termo COLÚVIO designa depósitos produzidos em clima quente e úmido, ou temperado e úmido, mobilizados pela gravidade para os sítios inferiores das encostas, cujos matacões e calháus são usualmente arredondados. Na sua produção, entram a desintegração e a decomposição. Pela sua posição, recobrimdo os depósitos de talus, devem ser mais modernos, ligados ao atual clima vigorante na Serra do Mar.

O termo MIGMÁTICO (*mygma* = mistura), proposto por SEDERHOIM, aplica-se a uma rocha híbrida, resultante de duas gerações sob condições de *ultrametamorfismo*, quando a rocha perde sua rigidez e adquire alta plasticidade sob efeitos de altas pressões e temperaturas. Debaixo destas condições de pressão e temperatura (pt), a rocha hospedeira sofre injeção de magma granítico em proporções variáveis. Usualmente, a injeção assume a forma de "lit-par-lit", concordante com a xistosidade; porém, intromissões mais violentas destroem a integridade da rocha hospedeira, esfacelando-a em fusos que remanescem na massa invasora de granito ácido. A rocha hospedeira recebe a sugestiva designação de *paleossoma* (*soma* = corpo) e a invasora a de *neossoma*. Gerada a grandes profundidades, onde adquire plasticidade, o material invasor apresenta dobras ptigmáticas (dobra de origem magmática provocada mecânicamente pela intrusão magmática, no seu próprio corpo, sob condições de ultrametamorfismo).

A — Sítio da Barragem n.º 1

Talus. — Os depósitos de talus ocupam a margem esquerda do *canyon* do rio Saracuruna, no eixo n.º 1. Vão desde o talvegue até uma altura de 30 m sôbre o nível do rio, com uma espessura, na vertical, calculada em 25 m; a parte mais espessa, na horizontal, fica na sua base sôbre o leito do rio. Trata-se de uma espessura inferida pela topografia e sua exata determinação dependerá de sondagens empregadas na margem esquerda.

Na margem direita, observa-se o contacto entre o talus e o regolito da rocha local (manto do migmatito), constatando-se a presença de restos de talus, já em estado de decomposição química, principalmente um pouco mais à montante do eixo 1.

Colúvio. — Na margem direita encontram-se, capeando irregularmente o manto de ítemperismo do migmatito, depósitos colúviais pouco espessos e de difícil mapeação, por se acharem dispo-

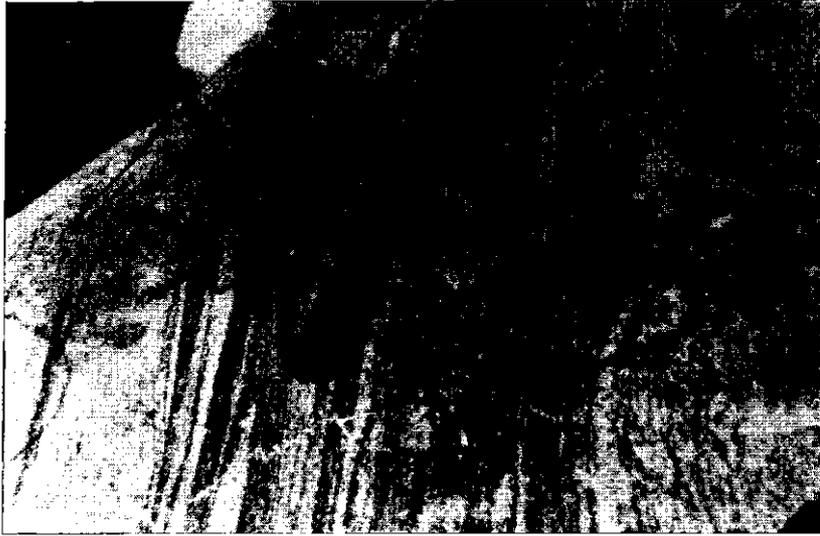


Foto n.º 5 — EIXO N.º 2 — Afloramento de migmatito.



Foto n.º 6 — EIXO N.º 2 — Vieiro aplítico cortando o migmatito do talvegue segundo N-25°W.

tos a esmo pelo terreno. Suas dimensões são do tamanho de calháus e de seixos, com contôrno arredondado. Cronologicamente, são mais modernos do que os depósitos de talus, idade conferida pela sua posição superior ao talus e pelo arredondamento do material que exprime necessariamente condições meteorológicas do clima atual (foto n.º 1).

Acima do talvegue e do *canyon* do rio Saracuruna, na margem esquerda, verificam-se depósitos de colúvio, expostos muito bem em cortes de uma estrada recentemente aberta, porém dispostos irregularmente no terreno.

Migmatitos. — Via de regra, o migmatito aparece fresco, ou ligeiramente alterado, no talvegue do rio Saracuruna. As exposições melhorem acham-se um pouco à montante do eixo 1.

No álveo do rio, o migmatito acha-se recoberto, na maior extensão, por depósitos rudáceos e arenosos, com alguns matações remanescentes de talus. Restos de talus indicam, nessa posição, que o rio Saracuruna só recentemente atingiu o soalho de migmatito do "bed-rock"

Depósitos rudáceos. — No talvegue do rio Saracuruna, predominam depósitos rudáceos, compostos de seixos e calháus heterogêneos, de rochas graníticas, gnáissicas e eruptivas básicas, como basaltos e diabásios. Este cascalho grosseiro acha-se misturado texturalmente com depósitos arenosos, às vêzes com um filme de argila deposta nas fases de estiagem e quietude do veículo fluvial. Os depósitos são rasos, não excedendo a 1 m.

B — Sítio da Barragem n.º 2

Sedimentos arenosos e rudáceos. — O talvegue do rio exhibe depósitos rudáceos misturados com arenosos, cujos tamanhos variam de calháus à areia grossa, tendo restos de talus salientes na forma de matações sub-angulares, segundo o testemunho da fotografia n.º 3. Na fase de estiagem forma-se uma película de argila de 2 a 5 cm de espessura sôbre o cascalho e bancos de areia.

Não existe seletividade textural nos depósitos. A ausência de gradação granulométrica entre os membros mais grossos da textura e os mais finos caracteriza a *imaturidade* textural destes depósitos.

Imaturidade textural granulométrica traz consequências práticas desagradáveis para a engenharia; não permite a exploração dos bancos de areia em bases econômicas, pois a mistura das fases texturais exige sua separação na lavra do depósito. Outro fator negativo reside na delgadeza dos depósitos, que se tornam incapazes de prover a cubagem de areia necessária às obras da barragem.



Foto n.º 7 — EIXO N.º 2 — Afloramento de migmatito neossoma (claro)
e paleossoma (escuro).



Foto n.º 8 — EIXO N.º 2 — Veiro aplitico cortando o migmatito segundo N-25°W.
Paleossoma com aspecto fusiforme isolado.

Deve-se abandonar qualquer cogitação em explorar os bancos de areia localizados nos eixos 1 e 2, como também em qualquer outro ponto do alto curso do rio Saracuruna. A fotografia 10 ilustra um aspecto destes depósitos.

Migmatito. — O “bed-rock” compõe-se de um migmatito idêntico ao encontrado no eixo n.º 1. Os afloramentos são excelentes e o estado de conservação da rocha é ótimo, permitindo uma boa descrição litológica do material.

O paleossoma consiste em um biotita-gnaisse, melanocrático, provido de boa xistosidade, textura granuloblástica e com má foliação. O neossoma granítico ácido é constituído de quartzo, feldspato e biotita, como componentes usuais; a mica biotita é rara. Quantitativamente, o neossoma predomina no volume da rocha, seccionando o paleossoma em lentes fusiformes no mecanismo intrusivo. Este aspecto do modo acha-se ilustrado nas fotografias de n.º 7 e 10.

O maior volume de neossoma no migmatito empresta a esta rocha uma natureza mais ígnea do que metamórfica e os fenômenos de injeção “lit-par-lit” são menos frequentes; conseqüentemente, dobras ptigmáticas usualmente ocorrem.

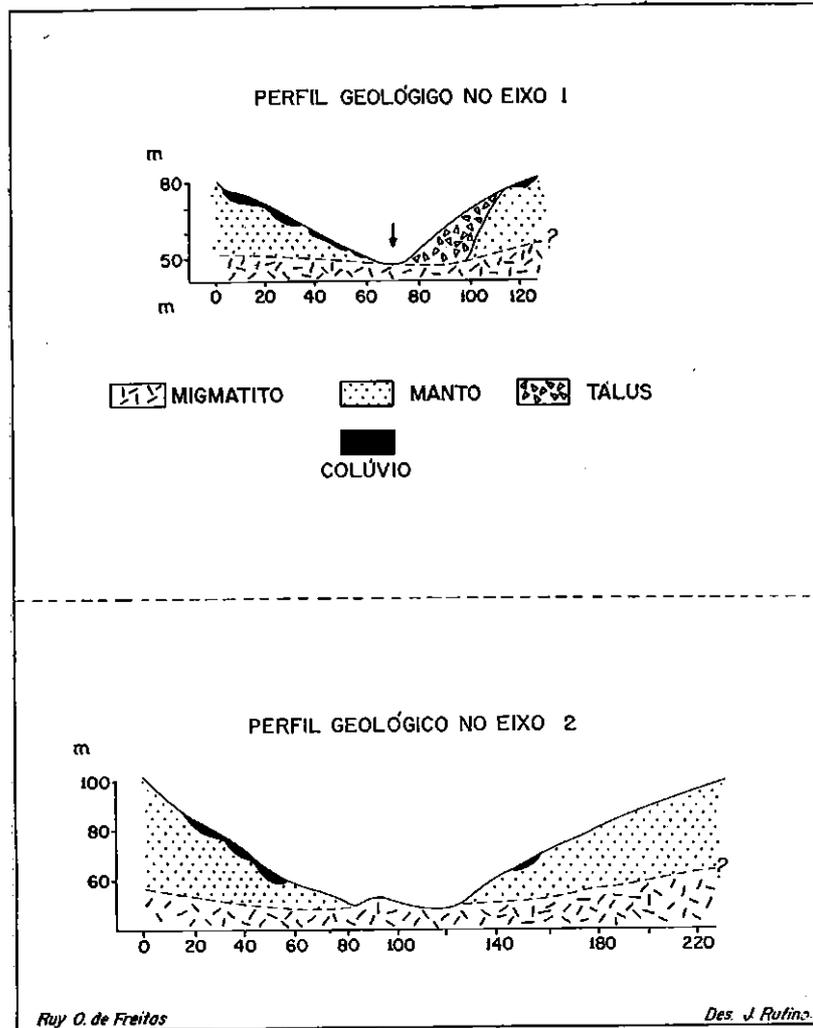
O neossoma, entretanto, apresenta-se xistoso. Após a sua formação, a rocha foi submetida a metamorfismo dinamothermal intenso, gerador de boa xistosidade.

A petrogênese do migmatito local pode ser resumida no seguinte litocronograma:

- III — Metamorfismo dinamothermal do neossoma, gerando-se tipos petrográficos leptiníticos, onde se nota a devida escassez da biotita. Diaclasamento.
- II — INJEÇÃO DE GRANITO ÁCIDO NO BIOTITA-GNAISSE. Formação de fusos de paleossoma isolados. Dobras ptigmáticas. Fase de ultrametamorfismo.
- I — PALEOSSOMA DE BIOTITA-GNAISSE.

O migmatito acha-se cortado por vieiros de quartzo, feldspato e turmalina, e em menor proporção mica biotita. Os vieiros seguem direção usual N-0º a N-10ºW magnéticos, ou seja, N-15ºW a N-25ºW, geográficos. Outros vieiros obedecem direção N-80ºW a N-90ºW, geográfica.

Do ponto de vista tecnológico, o migmatito apresenta-se excelente para fundações e como material de pedreira. A parcimônia de mica do neossoma, em maior volume, também favorece seu uso como agregado de concreto. A rocha, também, é pouco suscetível ao diaclasamento.



Figs. 1 e 2.

Colúvio. — Depósitos de colúvio são observados a esmo na margem esquerda e na direita, sem contudo assumirem importância para as obras de engenharia.

Talus. — Restos de depósitos de talus são encontrados na margem direita. São rasos e inexpressivos para a geologia aplicada a barragens.

Na margem esquerda, ao contrário, o exame geológico superficial não revelou a presença de talus. Coincidindo com a falta deste depósito, a topografia dessa margem exibe maior largura para o vale do rio Saracuruna e maior suavidade do pendor das encostas do que a observada no sítio n.º 1.

As observações de campo mostram, portanto, que a topografia do talvegue do rio e do vale estão condicionadas aos depósitos de talus, fisicamente resistente à erosão linear mecânica fluvial.

Intemperismo. — O talvegue do rio Saracuruna constitui, por excelência, uma zona de exposição de rocha, principalmente no álveo e na margem esquerda. Acima do talvegue, o vale do rio torna-se uma zona composta de um manto de intemperismo químico, mineralogicamente maturo, e aparentemente espesso.

O exame geológico superficial deste manto mostra que existe argila, corada em graus variáveis por óxido de ferro, quartzo e restos de minerais opacos, caracteres macroscópicos de um regolito mineralogicamente maturo.

A cor do regolito varia de um marron claro ao róseo, dependendo tais flutuações de tonalidade cromática do teor de minerais ferromagnesianos, relativamente escassos no neossoma do migmatito, a rocha regional.

Regolito maduro induz à conclusão de que a espessura deve ser respeitável, pois amadurecimento mineralógico, em clima úmido e quente, demanda tempo e a espessura liga-se à duração do processo.

A *Tectônica Sedimentar*, em face de um regolito maturo, assegura a existência prévia de uma fase de repouso tectônico da região, cujo imobilismo provê tempo suficientemente longo para que a decomposição química exerça seu trabalho de alteração dos minerais das rochas em simples compostos químicos. Esta fase de quietude choca-se, presentemente, com o estágio fisiográfico dos rios e geomórfico das formas do modelado do relêvo nesta área, de modo que se impõe a conclusão de que a decomposição das rochas matrizes é anterior ao quadro geológico do presente. Regolito maturo e erosão fluvial intensa e atual indicam que esta região foi submetida a um rejuvenescimento da rede hidrográfica no quaternário.



Foto n.º 9 — Eixo n.º 2 — Afloramento de migmatito cortado por veio aplítico segundo direção geológica N-25°W.



Foto n.º 10 — Eixo n.º 2 — Depósitos aluviais do álveo torrencial do rio Saracuruna — Material rudáceo misturado com areia e argila (rio na época da vasante).

A geologia de campo, prevendo um manto muito espesso, desencoraja qualquer esperança em se encontrar rocha fresca para a exploração de pedreiras nas margens do rio Saracuruna, na altura da zona da barragem proposta. A resposta efetiva será obtida à custa de sondagens recomendáveis nas encostas da margem esquerda do rio Saracuruna, entre os sítios 1 e 2.

Fisiografia. — A fisiografia dos rios que descem as encostas da Serra do Mar para as planícies quentes e úmidas do litoral são o tema para interessantes discussões acadêmicas de grande significação para a engenharia.

Os sítios 1 e 2 ficam no alto curso do rio Saracuruna, na soleira resistente de talus que forma um "nick point" no perfil longitudinal fluvial. O estágio fisiográfico do rio Saracuruna é da maturidade no trecho dos sítios 1 e 2; observam-se meandros encaixados devido ao contacto de rochas desigualmente resistentes, corredeiras e rápidos devido ao gradiente do perfil, "caldeirões" e "marmitas" lavrados pela erosão torrencial, ao lado de depósitos rudáceos imaturos, feitos pela turbulência fluvial nos períodos de cheia.

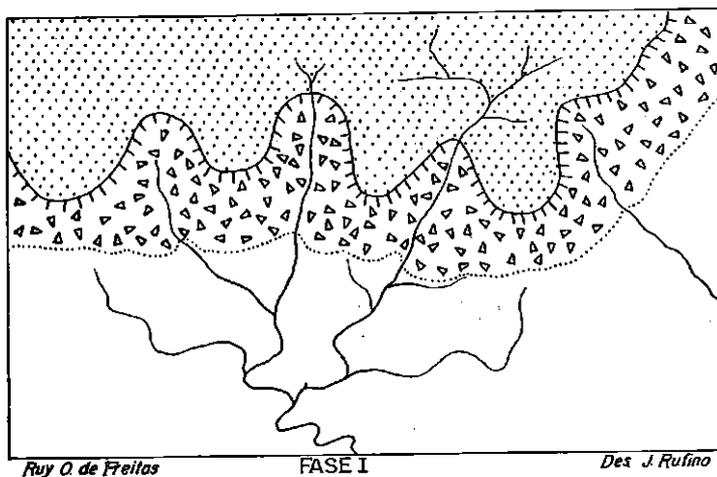
Os depósitos de talus do sítio 1, o regolito maturo e espesso, a topografia do sítio 1 e 2, permitem interpretar a história fisiográfica do rio Saracuruna e retirar as naturais implicações de ordem prática para a engenharia da barragem.

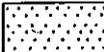
Ficou expresso, em linhas anteriores, a subordinação dos depósitos de talus a condições de clima sêco e de encostas escarpadas, condições estas que, não sendo atuais, devem ser recuadas para o passado geológico da região. Estudos tectônicos prévios, como de FREITAS (1951), descrevem esta região da Serra do Mar integrada no *vale-de-afundimento* Campo Grande-Guanabara-Rio Bonito, como a muralha oeste, e constituída de vários degraus topográficos escalonados do litoral para o interior.

A figura 3 exprime, em planta esquemática, um degrau tectônico da topografia da Serra do Mar, composto de uma borda de *escarpa de frente de falha* produzindo abundante deposição de talus sob clima quente e sêco e de um patamar com topografia senil, hábil para permitir que a decomposição química dominasse sobre a erosão, quando o clima posteriormente passou a úmido e quente. Esta fase de clima úmido e quente foi omitida na representação por figura.

A figura 4 expressa a retomada de erosão nessa topografia senil, com regolito maduro, e a passagem das linhas de drenagem principais no contacto entre o manto e o talus, mecanismo êste já analisado por de FREITAS (1958). O progresso da desnudação na topografia desse degrau tectônico ficou condicionado à perfuração de uma passagem da drenagem através da resistência dos depósitos

PLANTA ESQUEMÁTICA DA EVOLUÇÃO GEOMÓRFICA DO DEGRAU TECTÔNICO DO
ALTO SARACURUNA



 SUPERFÍCIE DE EROSÃO, TERCIÁRIO ANTIGO, DO DEGRAU DA MURALHA DO VALE DE AFUNDIMENTO GUANABARA.
(*velocidade de decomposição maior que a de erosão*)



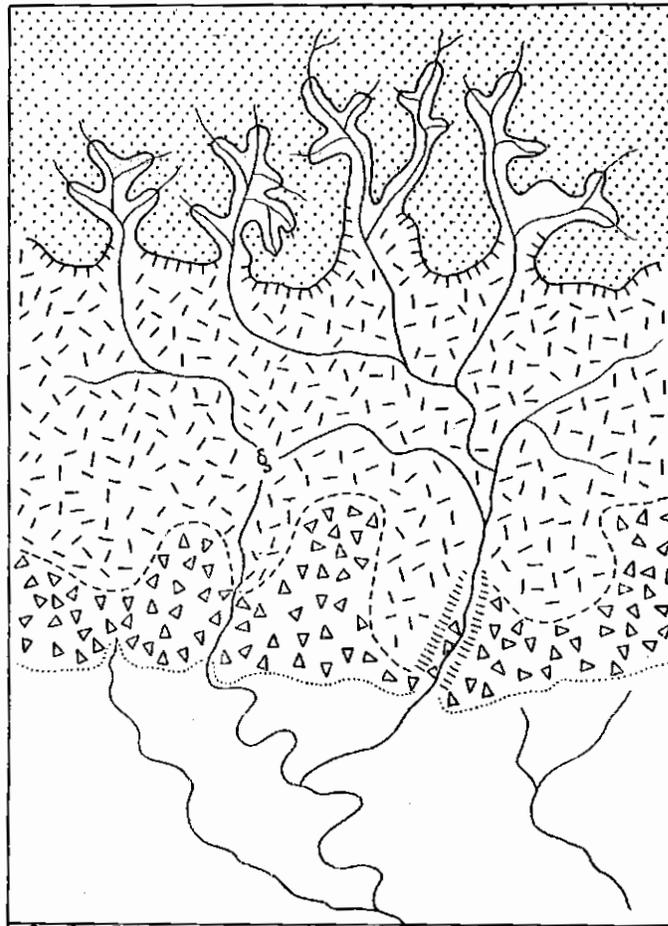
ESCARPA (FRENTE DE BLOCO FALHADO DISSECADO)



TALUS (DEPÓSITO POR INTEMPERISMO FÍSICO)

Fig. 3

PLANTA ESQUEMÁTICA DA EVOLUÇÃO GEOMÓRFICA DO DEGRAU
TECTÔNICO DO ALTO SARACURUNA



Roy O de Freitas

FASE II

Des. J. Rufino



Fig. 4

de talus, encontrada mecânicamente no contacto entre o manto (pouco resistente, graças à sua maturidade mineralógica) e o talus (muito resistente no conjunto, porém em certos pontos já decomposto por se achar sob condições climáticas adversas à sua constituição). Com o avanço da erosão linear na soleira de talus em contacto com o manto operou-se, concomitantemente, a erosão fluvial sobre o regolito na área à montante do batente resistente de talus. O manto de intemperismo tornou-se presa fácil da erosão fluvial das cabeceiras hidrográficas do rio Saracuruna e permitiu a escultura de um amplo anfiteatro terminado em funil, na soleira de talus do sítio 1.

A figura 4 mostra a situação fisiográfica nesta segunda fase. As cabeceiras da bacia hidrográfica do Saracuruna (Rio Mantiquira e Pedra Branca) ultrapassaram o degrau tectônico descrito e penetraram, agora, a crista da Serra do Mar, ou seja, um segundo degrau tectônico, mais elevado do que o primeiro, no regime de falhas em escadaria que deu origem às muralhas do vale de afundimento da Guanabara, após o cretáceo. As escarpas de frente de falha, tectônicas, foram recuadas pela erosão cenozóica em duas etapas fundamentais. Na primeira, confere-se a idade terciária antiga, quando os depósitos de talus foram formados. Na segunda, atribui-se a idade terciária moderna, quando as cabeceiras acima das soleiras de talus esculpiram seus anfiteatros conspícuos e penetraram mesmo no último e mais elevado degrau que constitui, atualmente, a crista da Serra do Mar. No quaternário, um novo ciclo penetrou pelos vales, porém seus efeitos topográficos estão em vias de operação.

No terciário superior, a linha de depósitos de talus não permitia o progresso da erosão linear porque, nesse material, as águas correntes circulam como em uma esponja, através dos poros. Consequentemente, a erosão linear buscou uma linha de menor resistência colocada no contacto entre manto e talus e esculpiu uma topografia na forma de *canyon* para o seu talvegue, — o caso do rio Saracuruna no sítio n.º 1, cuja idade fica sediada no terciário inferior.

Um acontecimento fisiográfico importante ocorreu no quaternário, na drenagem superior do rio Saracuruna. Trata-se da captura do rio Mantiquira, efetuada pelo rio Saracuruna. O rio Mantiquira corria paralelamente ao rio Saracuruna; porém, encontrou uma soleira de talus muito mais resistente do que a do rio Saracuruna; este curso rebaixou mais rapidamente seu perfil longitudinal, imprimindo maior gradiente aos seus tributários, um dos quais capturou o rio Mantiquira 1 km à montante do sítio 1, mais ou menos. Hoje, o rio Mantiquira realiza o conhecido *cotovelo de captura*, isto é, uma curva de 90°, no mínimo, para desaguar no rio Saracuruna, deixando atrás o antigo vale abandonado sobre talus. Entre

o cotovêlo do rio Mantiquira e o seu antigo vale, agora ocupado modestamente por um riacho, existe o trecho abandonado, o chamado *colo de captura*, verdadeiro vale morto, onde a drenagem é indecisa. O vale antigo do rio Mantiquira pode ser chamado de "vale fóssil", pois não só seu tamanho está desproporcional com a água que atualmente drena, como também foi vale fluvial no pretérito.

Em tôda a Serra do Mar, constitui paisagem comum a existência de rios idênticos ao Saracuruna, os quais possuem uma bacia hidrográfica larga nas cabeceiras, com topografia em forma de anfiteatro, estrangulado na saída por um funil colocado sôbre um batente de talus.

Abaixo dos sítios 1 e 2, o rio Saracuruna desenvolve seu curso médio, importante para a engenharia graças ao perfil longitudinal agradável que permite depósitos espessos de areia madura texturalmente, localizados principalmente no fim do curso médio.

O *cotovêlo de captura* do rio Mantiquira não foi abordado com finalidade acadêmica; capturas fluviais em regiões de talus pode significar que existe talus no colo de captura, sinônimo de porosidade no *divortium aquarum*. Para a engenharia de uma barragem significa a possibilidade da linha de flutuação da bacia de acumulação dar descarga através do colo de captura e, assim, comprometer sua estanqueidade. Sondagens adequadas nesse colo de captura são, nesta altura, recomendadas pela geologia de campo.

Estrutura geológica. — Os migmatitos, rochas produzidas por ultrametamorfismo, não apresentam *acamamento* ("bedding"), sendo, assim, imprestáveis para qualquer interpretação estrutural tridimensional.

Ocorrem, porém, estruturas epigenéticas como diaclases, xistosidade, bem como vieiros discordantes de natureza ácida.

A — EIXO DA BARRAGEM N.º 1

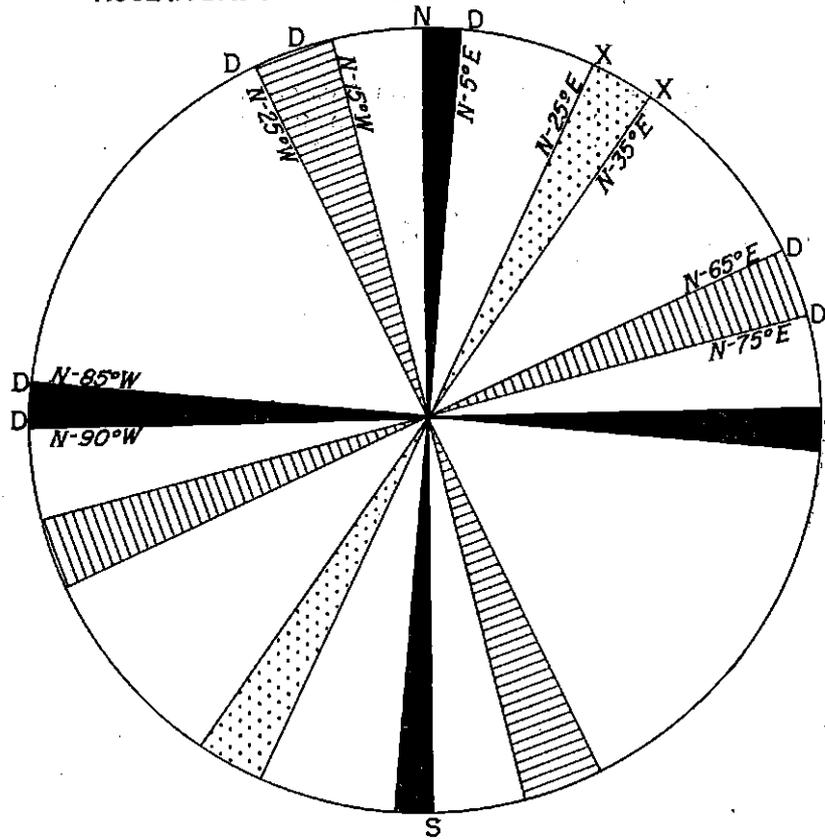
1 — DIACLASES (MIGMATITOS)

Azimutes magnéticos		Graus geográficos	
Direção ...	N-0.º a N-10.ºW	(a)	N-15.ºW a N-25.ºW
Mergulho ..	90.º		90.º
Direção ...	N-90.ºE a N-80.ºE	(b)	N-75.ºE a N-65.ºE
Mergulho ..	90.º		90.º

2 — XISTOSIDADE (Neossoma e Paleossoma)

Direção ...	N-40.ºE a N-45.ºE	N-25.ºE a N-30.ºE
Mergulho ..	75.º	

ROSETA DAS DIRECOES ESTRUTURAIS DO MIGMATITO



LEGENDA
 D = DIACLASES (DOIS SISTEMAS)
 X = XISTOSIDADE

Fig. 5

B — EIXO DA BARRAGEM N.º 2**1 — DIACLASES (MIGMATITOS)**

Direção ...	N-75.ºW a N-70.ºW	(a)	N-90.ºW a N-85.ºW
Mergulho ..	75.ºS		75.ºS
Direção ...	N-90.ºE	(b)	N-75.ºE
Mergulho ..	90.º		90.º

2 — XISTOSIDADE DO NEOSSOMA

Direção ...	N-50.ºE	N-35.ºE
Mergulho ..	75.ºN	75.ºN

3 — XISTOSIDADE DO PALEOSSOMA

Direção ...	N-45.ºE	N-30.ºE
Mergulho ..	70.ºN	70.ºN

4 — VIEIROS (quartzo, feldspato e turmalina)

Direção ...	N-65.ºW a N-75.ºW	(a)	N-80.ºW a N-90.ºW
Mergulho ..	75.ºS		75.ºS
Direção ...	N-0.º a N-10.ºW	(b)	N-15.ºW a N-25.ºW
Mergulho ..	90.º		90.º

C — ENTRE EIXOS 1 e 2**1 — DIACLASES (MIGMATITO)**

Direção ...	N-15.ºE a N-20.ºE	N-0 a N-5.ºE
Mergulho ..	90.º	Mergulho 90.º

As diaclases podem ser grupadas nos seguintes sistemas, cada sistema contendo dois grupos:

1.º SISTEMA:

- Grupo (a): N-15ºW a N-25ºW (geográficos) — 90º
- Grupo (b): N-65ºE a N-75ºE (geográficos) — 90º

2.º SISTEMA:

- Grupo (c): N-5ºE a N-0º (geográficos) — 90º
- Grupo (d): N-85ºW a N-90ºW (geográficos) — 75º S

Do ponto de vista da classificação geométrica, estas diaclases são do tipo cruzada com a xistosidade. Há poucas diaclases nos migmatitos, demonstrando suas estruturas serem tectonicamente competentes no diastrofismo.

O intemperismo químico penetra profundamente nas diaclases cruzadas, abrindo caminhos favoráveis à perda d'água intensa. As sondagens que ora se verificam no eixo 1 poderão precisar a quantidade da perda d'água, a profundidade de alteração das

diaclases e, assim, fornecer os dados hábeis para a engenharia promover a cimentação dessas vias abertas na estrutura. Entre as diaclases, a rocha é absolutamente fresca e impérvia, de modo que a estrutura é altamente favorável a fundações de concreto armado.

Geologia geral. — A área drenada pelo rio Saracuruna e seus formadores, os rios Mantiquira e Pedra Branca, também chamado Mato Grosso pela "Enciclopédia dos Municípios Brasileiros" (1958, p. 167), acha-se mapeada como gnáisse granítico segundo LAMEGO (1948).

Novas estradas abertas depois dessa data permitem uma revisão da geologia dessa área. De leste para oeste, com ponto de partida nos cortes da nova rodovia Rio de Janeiro-Petrópolis, observa-se uma sequência de granitos, migmatitos e ortognáisse.

O granito, macroscopicamente, apresenta-se com coloração cinzenta, leucocrático, textura hipidiomórfica. Este granito entra em contacto com migmatitos na área do rio Saracuruna, preferido pela drenagem graças à erosão diferencial. O migmatito regional, que ocupa uma faixa na bacia do rio Saracuruna, dirigida de NE-SW a NNE-SSW, compõe-se de um paleossoma granuloblástico, porém xistoso, de um biotita-gnáisse, injetado por maior volume de um neossoma granítico. O granito faz contacto gradualmente com o migmatito em alguns pontos do terreno através de um leptinito bem bandeado ou xistoso.

Dobras ptigmáticas são comuns no neossoma, visíveis muito bem, tanto na pedreira abandonada da Fábrica Nacional de Motores, em Mantiquira, como também no corte n.º 30 da nova rodovia Rio de Janeiro-Petrópolis.

Para oeste, além da bacia do rio Saracuruna, esta faixa de migmatitos passa a ortognáisse, do tipo de textura grosseira ou lenticular. A discussão destas texturas impregnam uma das mais belas páginas do metamorfismo em ciência pura, mas não serão estas comentadas no âmbito deste trabalho (BONORINO, 1958).

A textura da xistosidade dos gnáisses graníticos concorda com as do metassoma do migmático e com as do leptinito.

Esta área corresponde à muralha NW do vale de afundimento Campo Grande-Guanabara-Rio Bonito, fraccionada em vários degraus.

Geomorfologia. — A análise fisiográfica do rio Saracuruna constitui uma apresentação do quadro geomórfico da região.

A borda do planalto e a orla dos patamares tectônicos escalonados tinham uma posição mais frontal, para SE, quando inaugurados por falhamentos escalonados na remodelação cenozóica do Escudo Brasileiro (FREITAS, 1951).

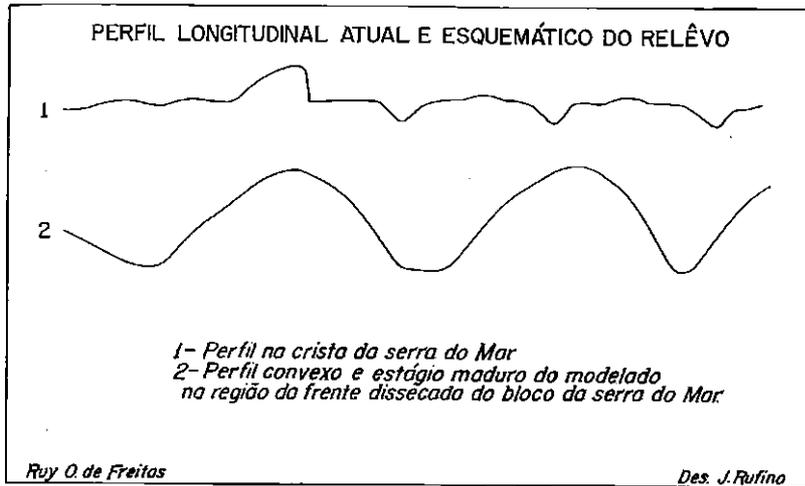
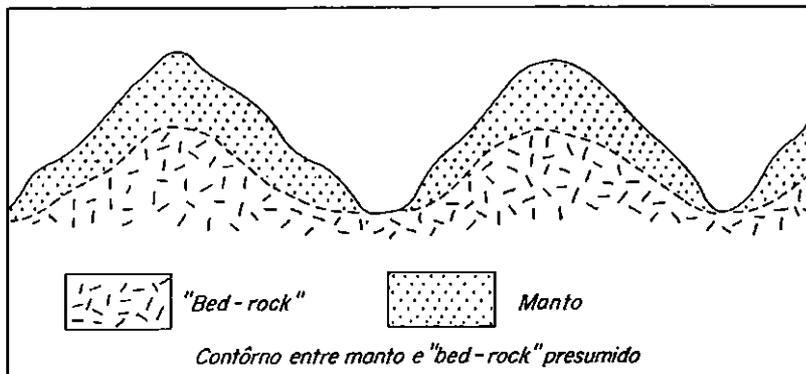


Fig. 6



Ruy O. de F. SEÇÃO GEOLÓGICA IDEAL EM UM MODELADO MADURO Des. J.R.
A espessura do regolito depende da duração do repouso tectônico do peneplano prévio

Fig. 7

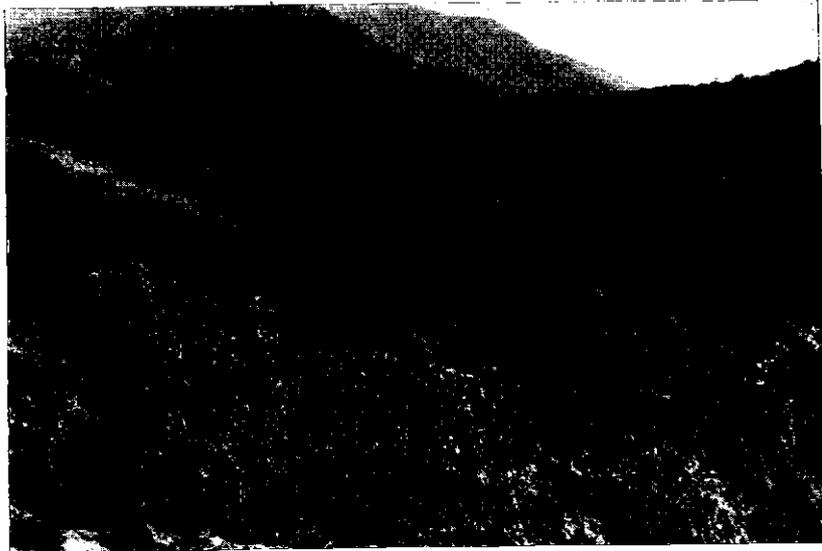


Foto n.º 11 — Cotovêlo de captura do rio Mantiquira pelo rio Saracuruna no plano médio da fotografia.

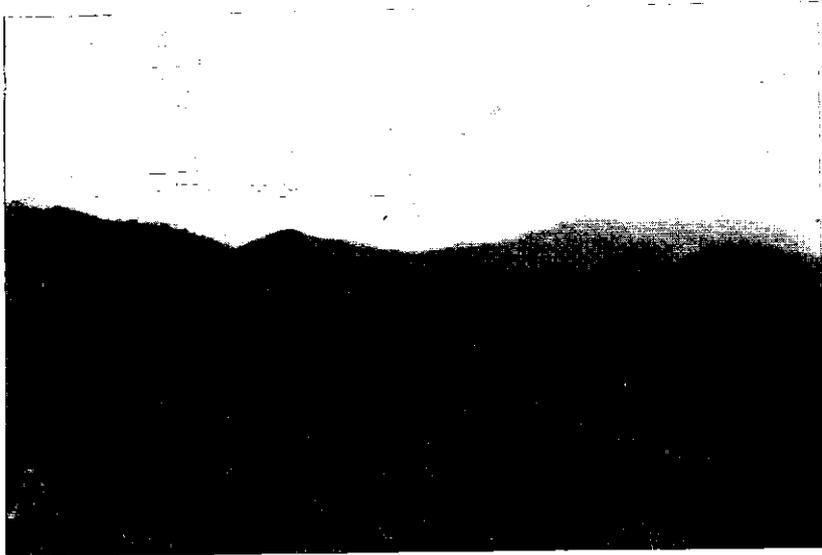


Foto n.º 12 — Maturidade das formas do modelado do relêvo à montante do eixo n.º 1.

A erosão cenozóica, operada em três ciclos, trabalhou êstes patamares e responsabilizou-se pelas formas encontradas atualmente na fachada da Serra do Mar sôbre as planícies quaternárias do litoral. A cronologia da desnudação foi proposta por KING (1956), à qual êste autor nada tem a objetar:

- 3.º — Quaternário — Ciclo Paraguaçu
- 2.º — Terciário moderno — Ciclo Rio das Velhas
- 1.º — Terciário antigo — Ciclo Sul-americano

Passando da idade da desnudação, para o estágio das formas, verifica-se que o modelado do relêvo nessa área acha-se na maturidade inicial, tendo as encostas perfis convexos característicos de intensa erosão linear e do filete de rolamento ("run-off"). Os vales que penetram adentro da crista da Serra do Mar rejuvenescem uma topografia de maturidade no planalto; porém, na entrada da crista, as formas são jóvens, segundo exprime a figura 6.

Maturidade inicial significa rocha fresca sômente no talvegue fluvial, enquanto os divisores ainda expõem manto. Na maturidade final, o talvegue se inseriu profundamente no "bed-rock" provocando adaptações da drenagem à estrutura, enquanto nos divisores ("inter-fluvium") a rocha do "bed-rock" aflora em boas exposições. A entrada para a senilidade se faz com o repouso tectônico da topografia, de modo que os inter-flúvios sofrem decomposição no "bed-rock" e o modelado se reduz, enquanto o talvegue da drenagem praticamente estaciona.

A maturidade inicial prevê pouca possibilidade de ser encontrada rocha fresca a pouca profundidade, excluindo, assim, a existência de pedreiras na região, a não ser em pontos em que a erosão diferencial expõe estruturas e rochas mais resistentes na marcha do ciclo de erosão fluvial sob clima úmido. A fotografia 12, mostra o modelado de formas referíveis à maturidade inicial nas cabeceiras da bacia hidrográfica dos rios Mantiquira e Pedra Branca, à montante do funil do eixo da barragem n.º 1, no rio Saracuruna.

A figura 7 mostra esquemáticamente (sem escalas) as relações entre o "bed-rock" e o manto em uma topografia de formas no estágio da maturidade inicial.

Enquadrando-se a topografia desta área na terminologia de KING (1956), pode-se atribuir o modelado atual ao ciclo Rio das Velhas, ao qual se superpõe o ciclo Paraguaçu.



Foto n.º 13 — Pedreira da Companhia Nacional de Motores — migmatitos — Aplitos —
Dobras ptigmáticas.

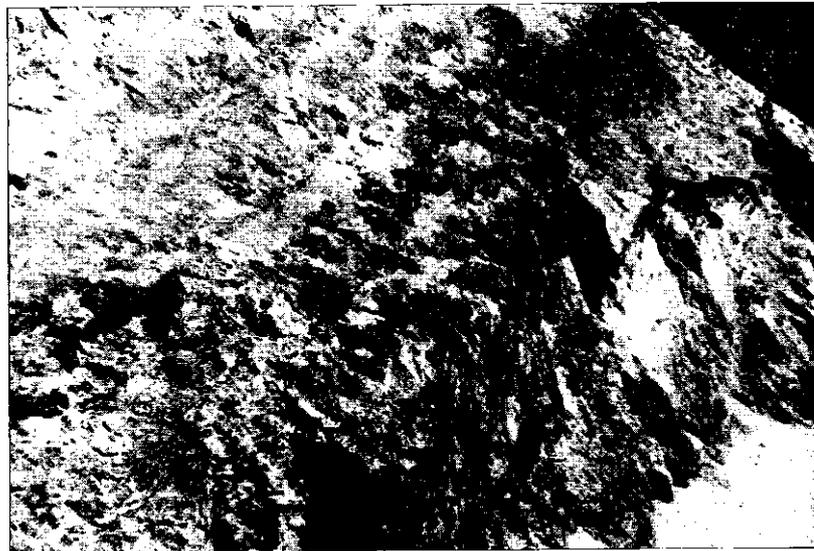


Foto n.º 14 — Depósito de areia extraída do curso médio do rio Saracurua próximo à
Fábrica Nacional de Motores — Mantiquira, R. J.

GEOLOGIA APLICADA

Areia. — No curso alto do rio Saracuruna, os depósitos de areia não podem ser lavrados, pois são texturalmente imaturos; calhãos e seixos acham-se de mistura com areia, silte e mesmo argila.

No curso médio, situado entre o local da barragem proposta e a Fábrica Nacional de Motores, em Mantiquira, ocorrem jazidas de areia maduras, granulométricamente classificáveis entre a areia grossa e a areia média. Estes depósitos acham-se em franca exploração comercial por empreiteiros que detêm concessão de lavra pela Fábrica Nacional de Motores, segundo testemunho oral.

O problema da obtenção de areia para obras da futura barragem desloca-se do plano geológico para o comercial, graças às lavras existentes em Mantiquira, R. J.

Pedreiras. — O exame geológico superficial, com suas naturais limitações de campo, não presume a existência de rocha fresca de fácil acesso depois do desmonte de um manto considerado espesso. Esta assunção poderá ser devidamente esclarecida com o emprêgo de sondagens rotativas, que se recomendam nas encostas da margem esquerda da futura barragem. Os resultados dessas sondagens propostas orientarão o parecer da geologia sobre a viabilidade da exploração de pedreiras, nessa área, após o desmonte do manto, de acôrdo com a profundidade do "bed-rock".

Existem, entretanto, rochas frescas excelentes para lavra de pedreira em dois pontos da região. A primeira ocorrência refere-se a uma pedreira abandonada, já explorada pela Fábrica Nacional de Motores e, aparentemente, de sua propriedade. A rocha consiste em um migmatito, fresco, em excelentes condições para exploração a céu aberto. A restrição existente ao uso desta pedreira resulta da sua relativa distância do local da projetada barragem, agravada pelas condições péssimas da estrada de acesso entre um ponto e outro. A referida estrada, além das parcas condições técnicas, estreita para permitir tráfego em dois sentidos, ainda se acha em deplorável estado de conservação.

Outra possibilidade de lavra de pedras encontra-se no corte n.º 30 da nova rodovia Rio de Janeiro-Petrópolis, o qual secciona boas estruturas de migmatito e granito, onde a rocha é fresca e pouco diaclasada.

O corte n.º 30 localiza-se a cavaleiro da bacia hidrográfica dos formadores do rio Saracuruna, à montante da soleira de talus, na margem esquerda. Sua posição altimétrica permitiria a lavra da pedreira e a condução do material por gravidade até um ponto

próximo do eixo n.º 1 da futura barragem, onde caminhões completariam o restante do transporte. A utilização desta lavra achase, porém, condicionada a entendimentos oficiais com as autoridades do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem ou a quem de direito.

Áreas de empréstimo. — Na hipótese da solução por uma barragem de terra foram pesquisadas eventuais áreas de empréstimo. Na margem esquerda do sítio da barragem, o exame geológico superficial foi favorável à existência de um regolito mineralogicamente maduro, disposto em grande área, capaz de suprir as demandas de uma barragem de terra. As mesmas sondagens recomendadas para a determinação da profundidade do "bed-rock" na margem esquerda servirão para verificar a espessura do manto e sua cubagem para emprêgo em barragem de terra, como área de empréstimo capaz.

CONCLUSÕES

1 — O sítio selecionado para a construção da barragem do rio Saracuruna possui topografia adequada; consiste em uma garganta fluvial aberta pela erosão linear do rio Saracuruna, no contacto entre talus (margem esquerda) e regolito maduro de migmatito (margem direita).

2 — À montante da garganta, a bacia hidrográfica do rio Saracuruna abre-se em anfiteatro, graças a um mecanismo de erosão diferencial, mais efetiva nessa área composta de regolito maduro de migmatito. A topografia das cabeceiras do rio Saracuruna favorece a instalação de uma bacia de acumulação, cuja cubagem é estimada em $4,4 \times 10^6$ m³.

3 — O sítio n.º 1 localiza-se no perfil transversal mais estreito da garganta, porém apresenta a desvantagem geológica da presença de depósitos de talus na margem esquerda, calculados pela geologia de campo, com a espessura de 25 m. O talus constitui o maior inimigo da segurança das ombreiras de uma barragem de concreto pela sua lenta, mas efetiva, movimentação. A opção pelo local do eixo n.º 1 implicará necessariamente na remoção do talus, problema êste que se desloca do campo da geologia para o da engenharia.

4 — O sítio n.º 2, ao contrário, apresenta condições topográficas desfavoráveis ao lado de condições geológicas mais favoráveis do que o sítio n.º 1. As condições geológicas caracterizam-se pela ausência de talus, salvo uma pequena mancha à margem direita, e

por excelentes afloramentos do "bed-rock" inteiramente fresco. A 70 m de altura (s.n.m), o perfil transversal do eixo 2 é de 120 m, enquanto nessa mesma cota o do sítio 1 é de 80 m.

5 — À montante do eixo n.º 1 existe um cotovêlo de captura fluvial, onde o rio Mantiquira (um dos formadores do rio Saracuruna) faz uma curva para desaguar no rio Saracuruna. A captura fluvial do rio Mantiquira foi o produto de uma erosão linear mais profunda no talvegue do rio Saracuruna, por ter logrado atravessar a soleira de talus em uma zona de contacto com o régolito do migmatito, rebaixando o nível de base de um afluente, cuja cabeceira captou as águas do rio Mantiquira. Este ficou incapacitado de fugir à pirataria fluvial do rio Saracuruna, por correr sôbre o talus, material em que as águas correm como em uma esponja e não produzem erosão linear. No cotovêlo de captura, a geologia manda que se examine a possibilidade de fuga da água da bacia de acumulação, caso a linha de flutuação atinja depósitos de talus provávelmente existentes no vale abandonado.

6 — O "bed-rock" local consiste em um migmatito onde, curiosamente, predomina o neossoma. O paleossoma consiste em um biotita-gnáisse, melanocrático, granuloblástico, boa xistosidade, má foliação; como ocorre em menor volume, acha-se seccionado em fusos, prejudicando o tipo de injeção "lit-par-lit", que assim se torna menos frequente no metassoma. Do ponto de vista tecnológico, a rocha é excelente para fundações, como material de pedra ou como agregado de concreto, pois o neossoma é pobre em mica biotita. O diaclasamento é parcimonioso, melhorando as condições técnicas da rocha para estanqueidade da barragem, pois há, conseqüentemente, menores vias abertas na estrutura para a perda d'água através das juntas abertas pelo intemperismo. As sondagens revelarão o nível inferior de decomposição e conseqüente abertura das diaclases nos sítios 1 e 2, para correção por meio de injeções de cimento. A xistosidade do migmatito parece ser mais importante do que as diaclases nas estruturas epigenéticas; o rio Saracuruna atravessa a soleira de talus correndo paralelamente à xistosidade do migmatito, menos resistente.

7 — As diaclases estruturais acham-se muito abertas e decompostas pelo intemperismo químico. Sondagens rotativas são, pois, recomendáveis nos eixos 1 e 2 para oferecer à geologia dados sôbre o nível inferior, que alcança a decomposição e a quantidade das diaclases, dados êstes que escapam ao exame geológico superficial.

8 — As áreas de empréstimos, na hipótese da construção de uma barragem de terra, devem ser pesquisadas na margem esquerda do rio Saracuruna, na altura dos sítios 1 e 2, porquanto nesses pontos a geologia de campo prevê um espesso manto.

9 — Areia para construção poderá ser adquirida de empreiteiros que possuem concessão de lavra dos depósitos encontrados no curso médio do rio Saracuruna, na altura da Fábrica Nacional de Motores, na localidade de Mantiquira. Trata-se, pois, de uma questão puramente comercial. Infelizmente, os depósitos aluviais do rio Saracuruna, no seu curso alto, são texturalmente imaturos, de modo que a textura rudácea (seixos e calhãos) acha-se misturada com textura areia, de tal maneira que se torna anti-econômico a sua lavra. Ademais, os depósitos são rasos, e instáveis, sujeitos ao regime torrencial de um curso fluvial alto em região montanhosa.

10 — A obtenção de pedra constitui o problema mais difícil de ser resolvido nessa área. No sítio da barragem, a geologia de campo desencoraja qualquer prognóstico favorável ao encontro de rocha fresca a pequena profundidade, sob o manto, pois este é justamente considerado espesso devido a razões geomórficas. Sondagens na margem esquerda são imperiosas para precisar realmente a espessura do regolito, resolvendo simultaneamente o problema de material para empréstimo e de pedras para lavra.

11 — Existe a alternativa de uma solução, além da área da barragem. Neste caso, surgem dois caminhos; em primeiro lugar, há uma pedreira abandonada em Mantiquira e que já foi devidamente lavrada pela Fábrica Nacional de Motores, apresentando migmatitos como rocha. Entretanto, não há estradas em condições técnicas e de conservação para permitirem o transporte econômico e rápido do material dessa pedreira até os sítios da barragem. Em segundo lugar, o corte n.º 30, da nova rodovia Rio de Janeiro-Petrópolis, expõe magníficos afloramentos de granito e migmatito, absolutamente frescos. Poderia ser tentada a lavra de uma pedreira nesse local, apresentando o material a possibilidade de ser transportado por gravidade até um ponto perto da futura barragem e, daí por diante, por caminhões, pois o corte 30 fica justamente a cavaleiro dos sítios 1 e 2 da barragem projetada.

Existe, presentemente, uma estrada carroçável, cuja abertura é recente e que percorre a distância entre os sítios da barragem e o corte n.º 30 da mencionada rodovia Rio de Janeiro-Petrópolis, a qual poderia ser eventualmente utilizada, após melhoria, para o transporte de pedra. A lavra dessa pedra, entretanto, fica condi-

cionada a entendimentos com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem ou com quem de direito possua os títulos de propriedade.

AGRADECIMENTO

O autor agradece as facilidades oferecidas pelo Dr. Odair Grillo, Presidente da Geotécnica S. A., na elaboração deste trabalho, bem como sua atenciosa e fidalga companhia, com oportunas sugestões, no transcorrer dos trabalhos de campo, mostrando, sempre, sua alta visão em resolver problemas geotécnicos com o auxílio da Geologia.

BIBLIOGRAFIA

- 1938 — KRUMBEIN, W. C. & F. J. PETTIJOHN — *Manual of Sedimentary Petrography* — The Century Earth Science Series D. Appleton Century Co. London. 549 pp.
- 1948 — LAMEGO, A. R. — *Folha do Rio de Janeiro*. — Dep. Nac. Prod. Min., Div. de Min. e Geol. Bol. 126, 16 pp. Rio de Janeiro, D. F.
- 1951 — FREITAS, R. O. DE — *Ensaio sobre o Relêvo Tectônico do Brasil*. — Rev. Bras. Geogr. Vol. 2, ano XIII, Rio de Janeiro, D. F. 171-222.
- 1956 — KING, L. — *A Geomorfologia do Brasil Oriental*. — Rev. Bras. Geogr. Vol. 2, Ano XVIII; pp. 147-245, Rio de Janeiro, D. F.
- 1958 — BONORINO, F. G. — *El origen mecanico de la esquistosidad*. — Fas. Sci. Exactas, Univ. Buenos Ayres, Vol. II, n.º 2, 94 pp.
- 1958 — FREITAS, R. O. de — *Geologia da Barragem do Funil*. — Esc. Eng. S. Carlos, Univ. S. Paulo; Public. n.º 21, Geologia n.º 7, 13 pp. S. Carlos, S. P.
- 1958 — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. — *Enciclopédia dos Municípios Brasileiros*. — Vol. VI, 399 pp. Rio de Janeiro, D. F.