

BRAGANTIA

Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo

Vol. 17

Campinas, dezembro de 1958

N.º 8

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA (*)

G. B. BARRETO, *engenheiro-agrônomo, Seção de Conservação do Solo e*
R. FORSTER, *engenheiro-agrônomo, Estação Experimental Central, Instituto*
Agrônomo

RESUMO

Neste trabalho é apresentado, em detalhes, o projeto para a construção de uma barragem de terra, na qual foi empregada, com bons resultados, a impermeabilização do núcleo central por meio do hidróxido de sódio em solução a 3%.

A impermeabilidade foi determinada durante a fase da construção, em amostras de solo de estrutura não deformada. Após a conclusão da represa esse efeito foi avaliado determinando-se a posição assumida pela linha de saturação, no interior do atêrro.

Acham-se descritas, também, as técnicas usadas para a impermeabilização do núcleo e para a determinação da linha de saturação.

1 — INTRODUÇÃO

Foram dois os principais objetivos visados na construção da "barragem Monjolinho", na Estação Experimental Central do Instituto Agrônomo: a) coleta de dados experimentais; b) reservatório de água para irrigação.

1.1 — OBJETIVOS EXPERIMENTAIS

Foram os seguintes:

a) estudar o comportamento do núcleo central (cortina de vedação da barragem), frente aos problemas de infiltração, quando constituído esse núcleo de terra tratada por soluções aquosas dos seguintes elementos químicos: 1) hidróxido de sódio (soda cáustica), 2) carbonato de sódio, 3) silicato de sódio;

(*) Recebido para publicação em 22 de novembro de 1957.

b) estudar o melhor teor de umedecimento do solo pelo impermeabilizante, a fim de que a compactação do mesmo se processe dentro das melhores condições;

c) estudar a posição da linha de saturação em barragem de terra com núcleo impermeabilizado por uma das soluções enumeradas;

d) determinar dados experimentais para futuras aplicações práticas.

1.2 — OBJETIVO PRÁTICO

Obter água em quantidade suficiente para atender às necessidades resultantes de experiências de irrigação de culturas.

No presente trabalho são apresentados os dados experimentais coletados durante a construção da referida barragem.

2 — MATERIAL E MÉTODO

2.1 — LOCALIZAÇÃO

A escolha do local destinado à construção de uma barragem deverá, sempre que possível, recair sobre uma garganta estreita situada próxima do local a ser beneficiado pela construção, a fim de baratear o seu custo e também o da utilização da água armazenada.

No caso da barragem Monjolinho, entretanto, o local já se encontrava previamente determinado: ela deveria ser construída no mesmo local em que existiu antiga barragem, também de terra porém de muito menores proporções, e da qual herdou o nome.

2.2 — DADOS DISPONÍVEIS

Inicialmente eram os seguintes os dados disponíveis para orientar a construção:

a) levantamento planimétrico e altimétrico da Estação Experimental Central do Instituto Agrônomo, na escala 1:5 000;

b) levantamento planimétrico e altimétrico da bacia de inundação, na escala 1:400, curvas de nível locadas de metro em metro;

c) área aproximada da bacia de captação, avaliada em 251,4107 ha e obtida de planta do município de Campinas;

d) vasão do córrego contribuinte da barragem, medida por meio de vertedores triangular (ângulo de 90°) e retangular (soleira 0,72 cm) ambos de paredes delgadas (apresentada no gráfico da figura 1-A;

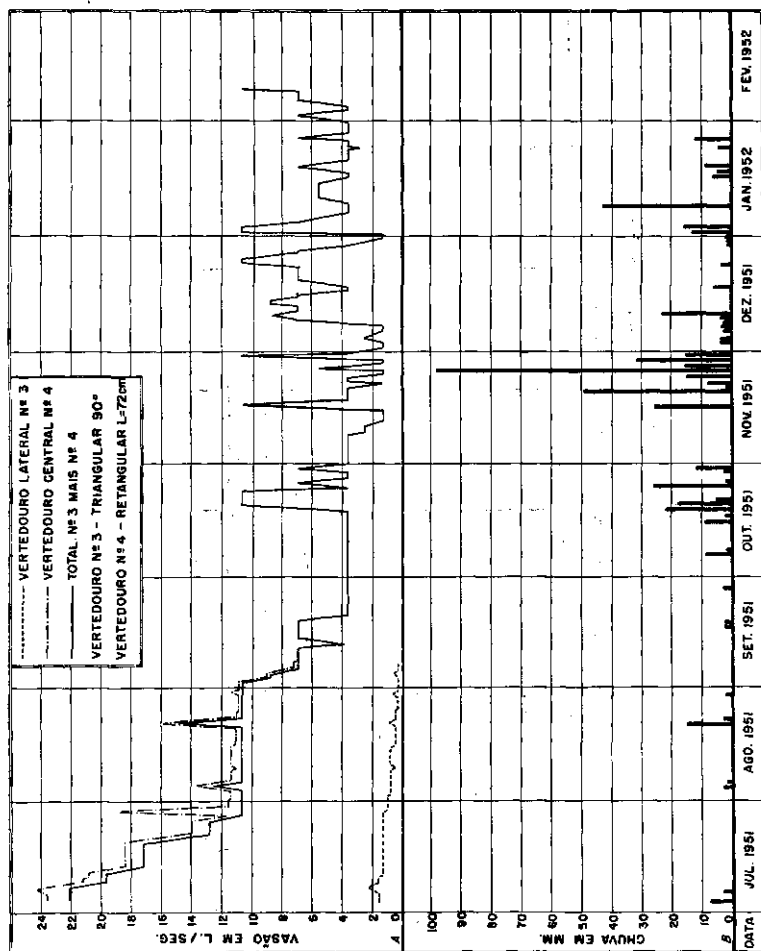


FIGURA 1. A — Gráfico da vasão dos córregos contribuintes da barragem "Montinho", no período de julho de 1951 a fevereiro de 1952; B — precipitação local, no mesmo período.

e) dados locais de precipitação média mensal para o período 1943-1952, conforme o gráfico da figura 2;

f) dados sôbre evaporação: — na falta de dados locais sôbre perdas de água por evaporação, por gentileza da Light and Power Co., de São Paulo, utilizamos resultados obtidos para localidade próxima (quadro 1);

g) análise físico-mecânica do solo local (terra-roxa-misturada), proveniente de misturas em porções variáveis entre o arenito de Botucatu e a terra-roxa-legítima (9): argila 48%; areia grossa 20,0%; limo 32%; classificação: argiloso;

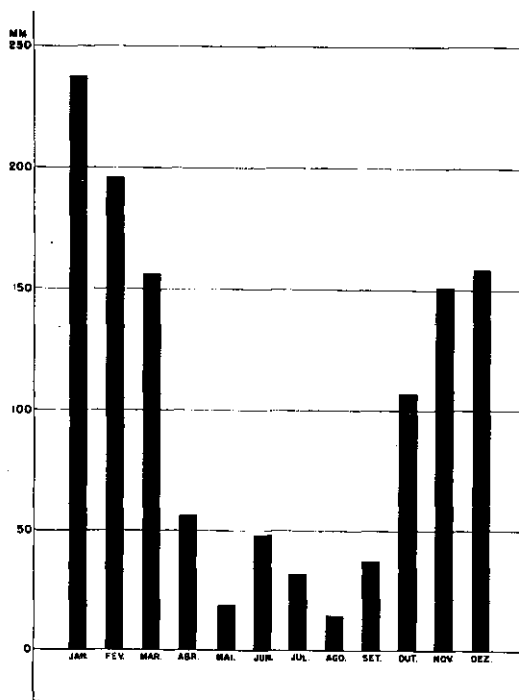


FIGURA 2. Gráfico das médias mensais de precipitação pluviométrica, na Estação Experimental Central do Instituto Agronômico, no período de 1943 a 1952 (Dados da Seção de Climatologia Agrícola).

h) teores de matéria orgânica a várias profundidades, no local de onde seria retirada terra principalmente para a construção da cortina de vedação e talude de montante da barragem (quadro 2);

QUADRO 1. — Média diária em mm de altura, de evaporação em superfície livre de água (tanque terrestre), em Pôrto Goes, Itú, E. F. S., Estado de São Paulo. Altitude: 520,5 m. (Gentileza da Light & Power Co., São Paulo)

Ano	Julho	Agosto	Sete	Outo	Novo	Dezo	Janº	Fevº	Março	Abril	Maiº	Junho	Total	Média
1946-1947.....	2,9	3,5	4,3	4,6	5,2	4,8	3,4	4,2	3,8	3,7	2,7	2,6	45,7	3,8
1947-1948.....	2,5	2,7	3,7	4,5	5,0	4,8	4,5	3,4	4,2	3,8	2,9	2,7	44,7	3,7
1948-1949.....	2,5	3,2	3,8	4,4	4,8	5,5	5,0	4,3	4,6	3,7	2,8	2,7	47,3	3,9
1949-1950.....	3,0	3,6	4,3	4,5	5,0	4,6	3,6	3,9	4,0	4,0	3,6	3,0	47,1	3,9
1950-1951.....	3,0	4,2	4,9	4,4	4,6	4,3	3,4	3,7	3,7	3,9	3,2	2,5	45,8	3,8
MÉDIAS	2,8	3,4	3,9	4,3	4,4	4,9	4,9	3,4	3,9	3,8	3,5	2,4		3,8

QUADRO 2. — ^{Carbono} ~~Matéria orgânica~~ determinada em amostras de solo adjacente à barragem "Monjolinho" (*)

Profundidade	Carbono
<i>m</i>	%
0,00-0,30	2,58
0,30-0,60	2,06
0,60-0,90	1,10
0,90-1,20	0,82
1,20-1,50	0,64

(*) Determinações da Seção de Agrogeologia, Instituto Agrônomico.

i) dados sôbre infiltração: — inexistindo dados experimentais sôbre o montante das perdas de água por infiltração local, foi a mesma avaliada em 25% do total;

j) dados sôbre necessidades do consumo: — destinando-se a água acumulada na barragem principalmente para fins experimentais de irrigação, o consumo dependeria do número de experiências de irrigação conduzidas, das condições climáticas e do tipo de cultura em experimentação.

2.3 — TIPO DE BARRAGEM ESCOLHIDA

A escolha da construção para a barragem Monjolinho recaíu no tipo de gravidade, sendo terra o material empregado.

As barragens de terra constituem boa solução, principalmente para pequenos represamentos e para os casos em que a fundação deva repousar sôbre terra.

2.3.1 — FORMA

Foi escolhida a forma *retilínea*, por ser a mais indicada para a natureza do material destinado à construção.

2.3.2 — PERFIL

Escolheu-se o perfil *homogêneo*, com inclinação do talude de montante de 3:1 e o de jusante 2,5:1, forma trapezoidal, a base menor constituindo a parte superior da barragem e destinada a servir como estrada, tendo a largura fixada de 7,0 m (figuras 3-C e 4).

3 — DESCARGA MÁXIMA ESPERADA, DA BACIA DE CAPTAÇÃO

É considerada bacia de captação a área de terra que contribui com enxurradas para aumentar o curso de água a ser represado.

Vários são os métodos de determinação da descarga máxima esperada em uma bacia de captação. No caso da barragem Monjolinho, foi determinada pelos métodos de Fuller (5, 7) e de Burkli-Ziegler (1), tendo sido obtidos os resultados dados a seguir.

3.1 — MÉTODO DE FULLER

$$Q_d = KA^{0,8}$$

onde

Q_d = média anual das vazões máximas diárias em pés³/segundo

K = coeficiente a ser determinado, caso por caso, com dados disponíveis

A = área em milhas quadradas.

Substituindo pelos valores, teremos:

$$Q_d = 100 \times 0,970^{0,8} = \frac{78,37}{136,81} \text{ pés cúbicos/segundo}$$

$$Q_o = Q_d (1 + 2,66^{-0,8}) = 170,350 \text{ pés cúbicos/segundo}$$

A vazão máxima esperada Q , será:

$$Q = Q_o (1 + 0,8 \log T) = \frac{322,73}{9,133} \text{ pés}^3/\text{seg.} = 11,370 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.2 — FÓRMULA DE BURKLI-ZIEGLER

$$Q = 0,022 \text{ KIA} \sqrt[4]{\frac{J}{A}}$$

onde

Q = vazão em m³/seg

K = coeficiente, variável de acôrdo com a bacia de captação

I = intensidade de precipitação em cm/hora

J = declividade em m/km

A = área da bacia de captação em ha

Substituindo pelos valores teremos:

$$Q = 0,022 \times 0,30 \times 12 \times 251,4 \sqrt[4]{\frac{50}{251,40}} = 13,300 \text{ m}^3/\text{seg}$$

4 — PROJETO DA BARRAGEM

Calculada a descarga máxima da bacia torna-se possível elaborar o projeto, o qual é, em geral, desenhado sôbre planta topográfica plani-altimétrica da área escolhida (figura 3).

4.1 — CÁLCULO DO EXTRAVASOR (LADRÃO)

No caso de pequenas barragens, o ladrão deve ser calculado para dar escoamento à enxurrada máxima (2); no caso de grandes barragens, pode-se contar com a bacia de inundação para absorver parte dessa enxurrada. O cálculo do extravasor poderá ser feito usando-se qualquer das fórmulas destinadas ao cálculo de vazões em vertedores de paredes espêssas, ou então poderá ser obtido em tabelas calculadas com o auxílio dessas fórmulas (2).

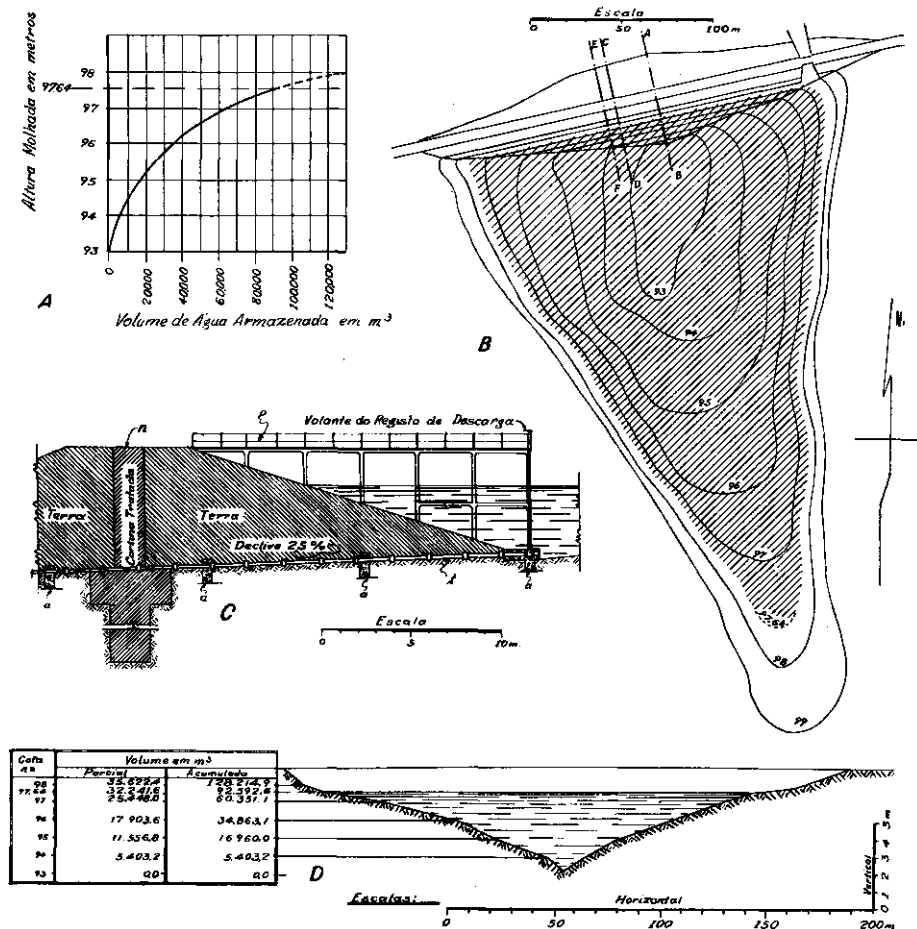


FIGURA 3. Projeto para construção da barragem "Monjolinho". A — gráfico do volume de água armazenável; B — projeção horizontal do atêrro e planta topográfica plani-altimétrica da bacia de acumulação de água; C — corte AB mostrando o núcleo central impermeabilizado (n), tubulação de descarga (t), anéis de concreto (a) e ponte para manobra do registo de descarga (p); D — perfil da bacia de acumulação de água.

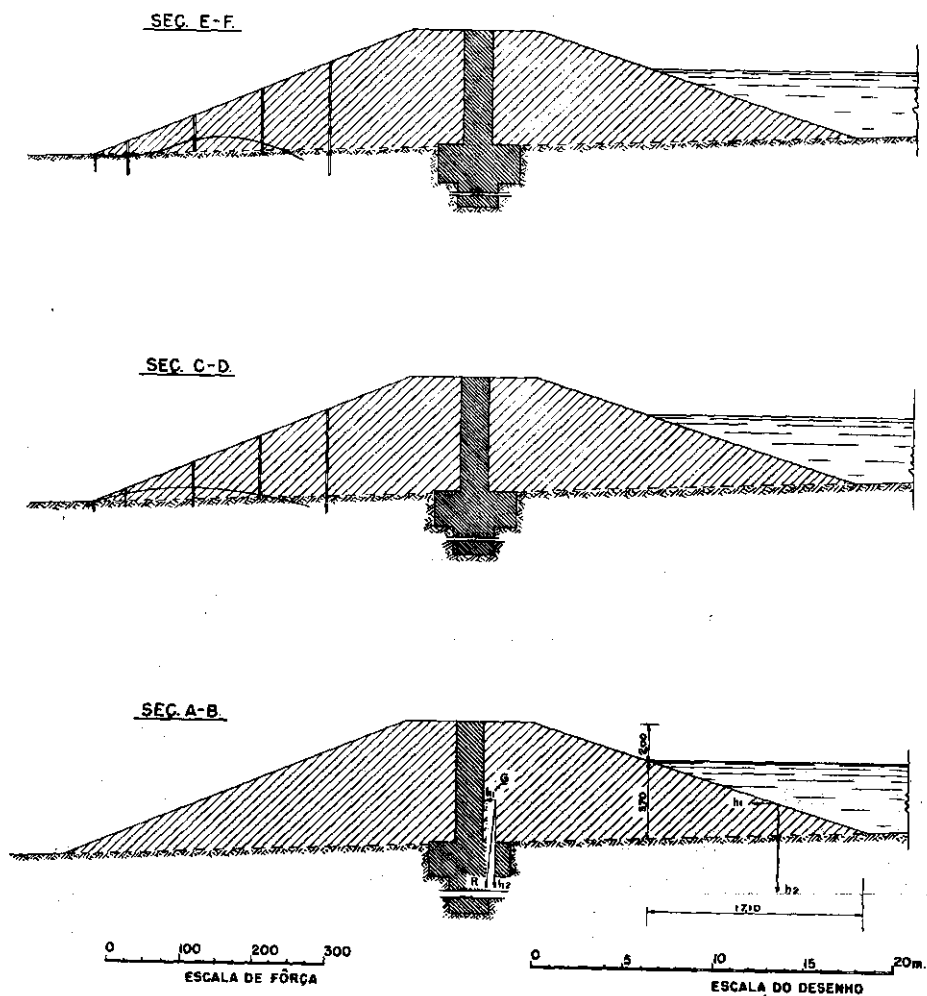


FIGURA 4. Seções do atêrro, mostrando em A-B o centro de gravidade G , fôrças h_1 (horizontal), h_2 (vertical) e a posição das linhas de saturação no interior do atêrro (seções C-D e E-F). As posições dessas seções estão indicadas na figura 3.

Na barragem Monjolinho o extravasor foi calculado pela fórmula:

$$Q = 1,77 BH^{3/2}$$

onde

$$Q = \text{vasão, em m}^3/\text{seg}$$

$$B = \text{largura da soleira, em m}$$

$$H = \text{altura da lâmina vertente, em m}$$

Tendo a descarga da bacia sido calculada em 13,300 m³/seg e tendo sido fixada a largura do vertedor em 4,50 m, só restava determinar a altura, ou seja H, que foi achada ser igual a 1,41 m.

4.2 — CÁLCULO DO VOLUME ACUMULADO

É baseado na planta topográfica da bacia inundada.

A semi-soma de duas áreas consecutivas, multiplicada pela diferença de altura entre elas, dará o volume acumulado parcial; a soma dos volumes parciais dará o volume total acumulado.

As áreas circunscritas pelas curvas de nível de cota 93 até a curva de cota 98 (figura 3-B) encontram-se no quadro 3 (segunda coluna).

QUADRO 3. — Volumes acumulados de água, na bacia de inundação da barragem "Monjolinho", na Estação Experimental Central do Instituto Agrônômico

Cota	Área	Volume parcial	Volume acum ^o total
	m ²	m ³	m ³
93	2 816 2,82	0	0
94	7 990,40	5 403,200	5 403,200
95	15 123,20	11 556,800	16 960,000
96	20 784,00	17 953,600	34 913,600
97	30 192,00	25 488,000	60 401,600
97,64	34 291,20	32 241,600	92 643,200
98	36 953,60	35 622,400	128 265,600

O volume acumulado total poderá ser obtido somando-se os volumes parciais ou diretamente pela expressão:

$$V_T = \left(\frac{A_1 + A_n}{2} \right) \times h + A_2 + A_3 \dots \dots \dots A_{n-1}$$

$A_1, A_2 \dots \dots \dots A_n$ representam as áreas circunscritas pelas diferentes curvas de nível. Substituindo A_1, A_2 etc. pelos seus valores temos:

$$V_T = \left(\frac{2816 + 34291,2}{2} \right) 1 + 7990 + 15123,2 + 20784 + \\ + 30192 = 92643,2$$

4.3 — PROTEÇÃO CONTRA A AÇÃO DAS ONDAS

As barragens de terra deverão ter uma altura adicional acima do nível da água, para proteção contra a ação das ondas. A altura a ser acrescentada à barragem poderá ser calculada pela seguinte fórmula, onde f = distância, em km, entre o atêrro e o ponto extremo da área inundada:

$$H_H = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{f} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{0,3} = 0,68 \text{ m}$$

A velocidade em m/seg, para valores de H compreendidos entre 0,5 e 2,0 m, poderá ser calculada pela fórmula:

$$V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} H = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \times 0,68 = 1,82 \text{ m/seg.}$$

A altura adicional a ser acrescentada à barragem, acima do nível da água será:

$$H_o = K \left(H + \frac{V^2}{2g} \right)$$

onde K (= 1 a 2,5) constitui o coeficiente de garantia para os diferentes tipos de construção e natureza do terreno.

Substituindo os valores na fórmula teremos:

$$H_0 = 1,2 \left(0,68 + \frac{1,82^2}{2 \times 9,81} \right) = 1,02 \text{ m}$$

4.4 — CÁLCULO DA CRISTA

A largura da parte superior da barragem (crista) poderá ser calculada pela fórmula:

$$b = 3 + \frac{5}{17} (H - 3)$$

No caso da barragem Monjolinho a crista foi previamente fixada em 7,0 m, pois deveria servir de estrada.

4.5 — CÁLCULO DA BASE

Devendo o talude de montante ter declive de 1:3, e o de jusante de 1:2,5 e sendo a largura da crista de 7,0 m, a largura da base maior será igual a:

$$B = b + 3H + 2,5H = 7,0 + 3 \times 7,7 + 2,5 \times 7,7 = 49 \text{ m}$$

4.6 — CÁLCULO DO COMPRIMENTO DO ATÉRRO

O comprimento do atêrro, de 260 m, foi determinado em planta topográfica do local (figura 3-B).

4.7 — VOLUME DA BARRAGEM

O volume de terra necessário à construção do maciço foi determinado pela fórmula:

$$V = \frac{B + b}{2} \times H \times L$$

ou seja:

$$V = \frac{49,0 + 7,0}{2} \times \frac{0,0 + 7,7}{2} \times 260 = 28\,000 \text{ m}^3$$

4.8 — CÁLCULO DO VOLUME DE ESCAVAÇÃO PARA FUNDAÇÃO

O volume da escavação necessária à fundação foi obtido multiplicando-se o comprimento pela largura da fundação e pela profundidade média. A profundidade que deveria atingir a fundação determinou-se por meio de sondagens e foi, em média, 2,5 m.

$$V_e = L \times l \times P$$

onde

$$V_e = \text{volume da escavação}$$

$$L = \text{comprimento} = 200 \text{ m}$$

$$l = \text{largura} = 4,5 \text{ m}$$

$$P = \text{profundidade média} = 2,5 \text{ m}$$

de onde:

$$V_e = 200 \times 4,5 \times 2,5 = 2\,250 \text{ m}^3$$

4.9 — CÁLCULO DA ESCAVAÇÃO PARA O LADRÃO

Pode ser feito pela fórmula:

$$V_L = L \times l \times h, \text{ onde}$$

$$V_L = \text{volume de escavação para o ladrão}$$

$$L = \text{comprimento} = 18,0 \text{ m}$$

$$l = \text{largura} = 4,50 \text{ m}$$

$$h = \text{altura} = 1,40 \text{ m}$$

donde

$$V_L = 18,0 \times 4,5 \times 1,40 = 112 \text{ m}^3$$

4.10 — VOLUME TOTAL DO ATÉRRO

O volume total do atêrro é igual à soma dos volumes parciais, ou seja:

$$V_T = V + V_e, \text{ onde}$$

$$V = \text{volume do atêrro} = 28\,000 \text{ m}^3$$

$$V_e = \text{volume da escavação} = 2\,250 \text{ m}^3$$

donde

$$V_T = 28\,000 + 2\,250 = 30\,250 \text{ m}^3$$

4.11 — IMPERMEABILIZAÇÃO

A escolha do impermeabilizante a ser empregado depende do custo do produto e da preferência de cada um por este ou aquele material.

A impermeabilização da cortina de vedação e do talude da barragem "monjolinho" foi feita tratando-se o solo com uma solução a 3^o/₀₀ de hidróxido de sódio (soda cáustica), na ocasião mais econômica que os demais impermeabilizantes e porque esta solução apresentara os melhores resultados em testes preliminares de impermeabilização, realizados com amostras do solo do local (2,4).

O atêrro foi feito em pequenas camadas, irrigando-se o núcleo central com a solução impermeabilizante até obter um grau de umidade que permitisse boa compactação com "pé de carneiro". O restante do maciço, embora muito bem compactado, não recebeu impermeabilizante.

Testes de permeabilidade realizados posteriormente em amostras de solo com estrutura não deformada, retiradas da cortina de vedação e do talude da barragem, provaram a absoluta impermeabilidade à água (1).

4.11.1 — CÁLCULO DO VOLUME DE SOLO A SER IMPERMEABILIZADO

A impermeabilização foi feita no núcleo central do atêrro, em uma faixa de 1,5 m de largura paralela ao eixo longitudinal da barragem. O volume impermeabilizado foi, portanto:

$$V_i = L \times l \times h = 260 \times 1,0 \times 7,7 = 1\ 820\ m^3$$

4.11.2 — CÁLCULO DA QUANTIDADE DA SOLUÇÃO NECESSÁRIA

A quantidade de solução foi calculada na base de 18% do volume de solo impermeabilizado;

$$S_n = \frac{1\ 820 \times 18}{100} = 327\ m^3\ \text{de solução}$$

(1) MEDINA, H. P. & BARRETO, G. B. Testes de permeabilidade em amostras de solo com estrutura não deformada, procedentes da cortina de vedação e do talude da barragem "Monjolinho", tratados anteriormente com solução impermeabilizante de NaOH a 3^o/₀₀. Campinas, Instituto agrônômico, 1952. (Não publicado).

4.11.3 — CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SAL NECESSÁRIA

Uma simples proporção aritmética permitirá conhecer a quantidade de sal necessária para a obtenção do volume da solução impermeabilizante, a uma concentração desejada.

$$Q_{\text{kg}} = \frac{\text{Conc.} \times \text{vol. sol.}}{\text{Unid. do Vol.}}$$

Para a impermeabilização da cortina de vedação da barragem "Monjolinho", determinamos

$$Q = 981 \text{ kg de soda cáustica.}$$

4.12 — CÁLCULO DA VASÃO DE DESCARGA

A tubulação de descarga (figura 3-C), destina-se ao esvaziamento da reprêsa, quando necessário. O cálculo da vasão poderá ser feito por meio de várias fórmulas, entre as quais a de Manning, que foi a empregada no presente trabalho, ou seja:

$$Q = \frac{A R^{2/3} \times J^{1/2}}{r}$$

onde

- Q = vasão em m³/seg
- A = área da seção do tubo em m²
- R = raio hidráulico
- J = declividade em m/m
- r = coeficiente de rugosidade.

Substituindo êsses elementos pelos respectivos valores teremos:

$$Q = 0,032 \frac{0,051^{2/3} \times 0,025^{1/2}}{0,297} = 54 \text{ litros/seg}$$

4.13 — CÁLCULO DOS ESFORÇOS

4.13.1 — DADOS DISPONÍVEIS

Os dados disponíveis para o cálculo dos esforços (3) eram:

- a) nível máximo de água = 5,70 m
- b) distância AB = 17,10 m (figura 4 — A-B).

4.13.2 — CÁLCULO DA COMPONENTE HORIZONTAL (PRESSÃO HIDROSTÁTICA)

$$h_1 = \frac{H_{na}^2}{2} = \frac{5,7^2}{2} = 16,24 \text{ ton/m}$$

4.13.3 — CÁLCULO DA COMPONENTE VERTICAL

$$h_2 = \frac{H_{na} + AB}{2} = \frac{5,70 \times 17,10}{2} = 48,73 \text{ ton/m}$$

4.13.4 — CÁLCULO DA SUB-PRESSÃO (PRESSÃO EXERCIDA DE BAIXO PARA CIMA)

$$S_p = \frac{H_{na} \times \text{Base}}{2} = \frac{5,70 \times 49,35}{2} = 140,647 \text{ ton/m}$$

onde B = base maior

H_{na} = altura do nível da água

4.13.5 — CÁLCULO DO PÊSO DO MACIÇO DA BARRAGEM

$$P = \frac{B + b}{2} \times H \times D = \frac{49,35 + 7,0}{2} \times 7,7 \times 1 = 216,909 \text{ ton}$$

onde B = base = 49,35 m

b = largura do coroamento = 7,0 m

H = altura da barragem = 7,7 m

D = peso específico do material = 1,0 ton/m³

4.14 — VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO ATÉRRO

4.14.1 — VERIFICAÇÃO ALGÉBRICA

A condição necessária à estabilidade do atêrro exige que o peso dêste seja maior que 4/3 da sub-pressão (3), ou seja

$$P > 4/3 S_p$$

$$\text{sub-pressão } (S_p) = 140,647 \text{ ton/m}$$

$$\text{peso do atêrro } (P) = 216,909 \text{ ton}$$

$$216,909 > 4/3 \times 140,647$$

$$216,909 > 187,06$$

4.14.2 — VERIFICAÇÃO GRÁFICA

Outra condição para a estabilidade do atêrro é que a resultante de fôrças passe dentro do têrço médio da base (3).

No centro de gravidade da barragem (figura 4) estão aplicadas as fôrças h (componente horizontal da pressão hidrostática) e a resultante $h_2 + (P - S_p)$ ou seja, resultante da componente vertical, da pressão hidrostática, do pêso da barragem e da sub-pressão. Os valores calculados dessas fôrças foram colocados em escala (figura 4-A-B).

5 — DETALHES REFERENTES À CONSTRUÇÃO

5.1 — LIMPEZA DO TERRENO

Inicialmente foi feita a limpeza e remoção de tôda a matéria orgânica encontrada na área destinada à construção. Como a antiga barragem existente no local devesse ser aproveitada no talude de jusante, suas superfícies foram escarificadas, para possibilitar melhor ligação com a terra colocada sôbre a mesma e destinada a aumentar suas dimensões.

Próximo ao talude de montante da antiga barragem e paralelamente ao eixo longitudinal da mesma, foi aberta a vala de fundação, até que o fundo desta chegasse a atingir solo firme (estampa 1).

5.2 — CORTINA DE VEDAÇÃO

A cortina de vedação, destinada a reduzir as perdas de água por infiltração através do maciço de terra, estendeu-se desde o fundo da valêta até a parte superior, ou crista do atêrro (figuras 3-C e 4). Para que se tornasse possível o emprêgo de máquinas na construção da fundação, esta foi feita com 4,40 m de largura até o ponto em que a quantidade de água aflorada aconselhou redução dessa largura (estampa 1-A). Sua profundidade, que oscilou entre 2,50 e 3,0 m, foi estabelecida através de sondagens do terreno, por meio de trado.

O aproveitamento da antiga barragem, motivado exclusivamente por questões econômicas, acarretou bastante dificuldade ao desenvolvimento inicial dos trabalhos.

5.3 — CONSTRUÇÃO DO ATÉRRO

A construção do atêrro, inclusive do núcleo central, foi feita em camadas de terra de pequena espessura (0,25 a 0,30 m) e compactada por soquêtes manuais e mecânicos.

A escavação e o transporte de terra para a construção foi feita com auxílio de "Buldozers" e "Scrapers".

O núcleo central antes de receber a compactação foi umedecido com a solução impermeabilizante. Dêste núcleo central e adjacências é que foram retiradas amostras para os testes de permeabilidade, já referidos.

6 — TRABALHOS COMPLEMENTARES

6.1 — ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA

Ao se instalar a tubulação destinada ao esgotamento da barragem teve-se o cuidado de construir, de espaço a espaço, em volta dos tubos, anéis irregulares de concreto, com a finalidade de quebrar a regularidade da superfície de contacto entre o tubo de concreto e a terra do maciço, dificultando assim as infiltrações ao longo dessa superfície de união entre os dois materiais (figura 3-Ca).

6.2 — CONSTRUÇÃO DO EXTRAVASOR

Ao construir o extravasor ou "ladrão" (estampa 2-B), deve-se cuidar de quebrar a regularidade da superfície de contacto entre as paredes do extravasor e o solo da barragem. Isso pode ser conseguido construindo-se, de espaço a espaço, saliências de concreto nas paredes do extravasor que estejam em contacto com a terra.

6.3 — PROTEÇÃO DO TALUDE CONTRA EROÇÃO

A proteção do talude de jusante foi feita pelo plantio de grama batatais. Na parte superior da barragem foi plantada erva cidreira.

A proteção do talude de montante (estampa 3-Aa) com pedras, e a abertura de drenos "do pé" serão feitos oportunamente.

6.4 — DETERMINAÇÃO DA LINHA DE SATURAÇÃO

Em três pontos localizados no talude de jusante foi determinada a posição da linha de saturação. A determinação foi feita abrindo-se orifícios verticais, nos pontos assinalados na figura 3-B (seções CD e EF), até que os mesmos atingissem o solo natural. A altura atingida pela água no interior desses buracos determinou pontos da linha de saturação. A ligação dos diversos pontos obtidos determinou aproximadamente a posição da linha de saturação no interior do maciço (figura 4).

7 — CONSIDERAÇÕES GERAIS

Decorridos alguns dias do término da construção, verificou-se que em três pontos do talude de jusante a terra se apresentava bastante úmida. Para determinar a causa desse umedecimento, ou melhor, para averiguar se o mesmo não era o resultado de infiltração de água através da barragem, foram tomadas as seguintes medidas:

a) Investigação e localização de fontes de água nas imediações: as investigações realizadas revelaram a existência de nascentes de água situadas na área coberta pela "saia" da barragem, as quais passaram despercebidas devido às constantes chuvas que na ocasião caíam, encharcando toda a várzea.

b) Abertura de um "dreno de cintura", para afastar águas subterrâneas situadas em cotas superiores às do talude de jusante da barragem: o "dreno de cintura" evidenciou grande quantidade de água freática, localizada a montante do atêrro.

c) Abertura de drenos e medição da água escoada, em cada ponto de umedecimento do atêrro: as medições do escoamento dos drenos nos pontos em que apareceram os umedecimentos demonstraram que a oscilação de vasão dos mesmos acompanhava a curva de vasão dos cursos de água próximos, chegando a secar na ocasião em que ocorria a mínima vasão dos córregos. Estes resultados levaram à conclusão de que a água existente no talude de jusante não era proveniente da repêsa caso, em que ela tenderia a aumentar cada vez mais, alargando sempre o orifício por onde estaria se infiltrando.

d) Nivelamento da parte superior do atêrro (coroamento de barragem) e amarração desse nivelamento a um ponto fixo: a obser-

vação do nível do coroamento da barragem demonstrou a perfeita estabilidade do mesmo, o que não teria ocorrido se houvesse infiltração através do atêrro.

e) Determinação da linha de saturação (figura 3-B): a determinação da linha de saturação, propositadamente feita em posições próximas à em que foi constatado o umedecimento do talude, demonstrou que a linha de saturação permanece dentro do corpo da barragem.

Após um lapso de tempo razoável desde a construção até o presente momento (1953-1957), a barragem apresenta-se em perfeitas condições (estampa 3-B), prova que reputamos valiosa para os fins em vista, pois se o umedecimento observado no talude de jusante fôsse o resultado de infiltrações através do atêrro, acreditamos que a reprêsa já teria ruído.

8 — CUSTO DA CONSTRUÇÃO

O custo da construção foi de aproximadamente Cr\$ 340.000,00, considerando-se somente as despesas com operários, com tratoristas, combustível, lubrificante, e material usado na construção. Na determinação das despesas não foi considerado o custo do levantamento topográfico, do projeto e desenhos, da assistência técnica e nem a depreciação das máquinas.

O projeto poderá ser avaliado em 2 a 3% dos gastos com a obra e a assistência técnica em 10 a 10,5% dêsses mesmos gastos.

9 — CONCLUSÕES

a) A irrigação do núcleo central da barragem pela solução de hidróxido de sódio a 3^o/₀₀ tornou-o impermeável à água.

b) A construção da barragem usando-se núcleo de solo impermeabilizado, em vez de núcleo de alvenaria de tijolos ou de concreto, veio facilitar e baratear os trabalhos de compactação do atêrro.

c) Determinações da linha de saturação demonstraram que a mesma se localizava dentro do atêrro.

EARTH DAM PROJECT AND CONSTRUCTION

SUMMARY

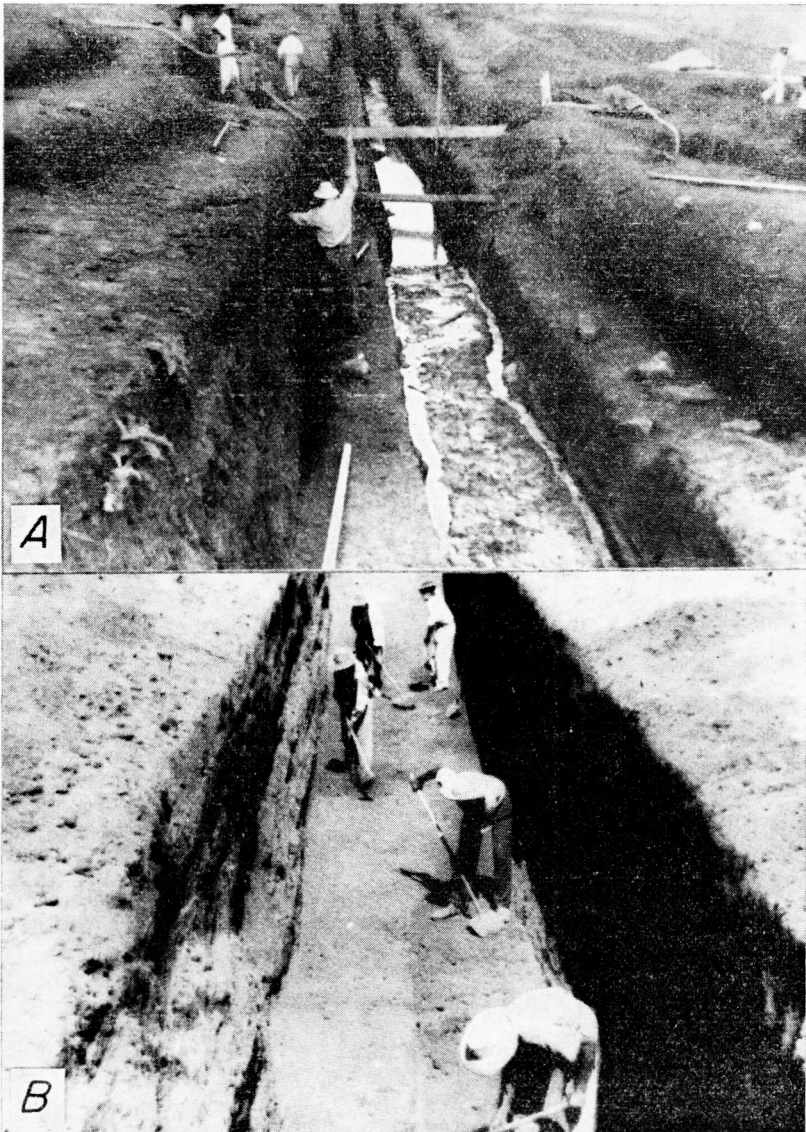
The purpose of this paper is to present a detailed project that may be helpful to others undertaking the building of an earth dam.

Results obtained in an impermeable earth dam are presented; the impermeability was attained by sodium hydroxide treatment of its central core; the effect on the impermeability of the dam was determined from undisturbed samples collected during and after the construction period.

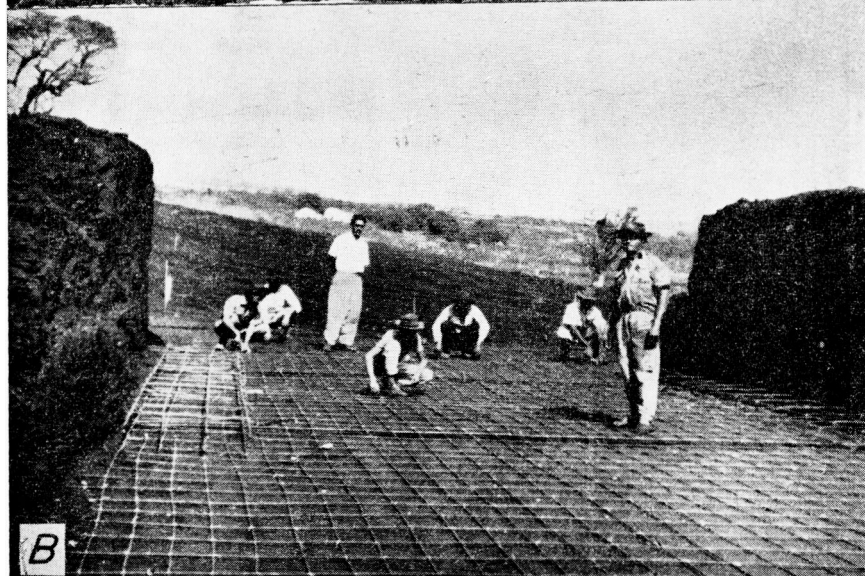
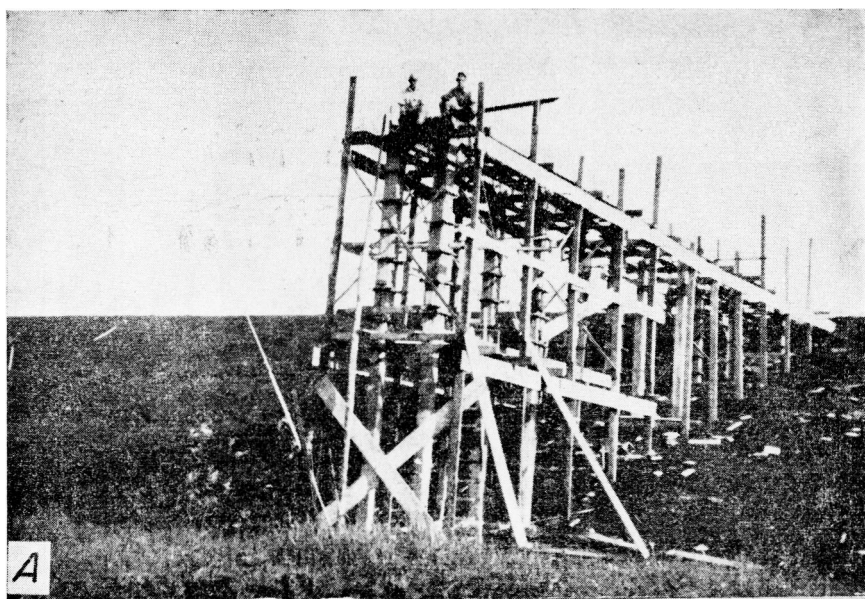
The position reached by the saturation line in the external slope was determined in order to evaluate the effect of the treatment on the impermeability of the dam.

LITERATURA CITADA

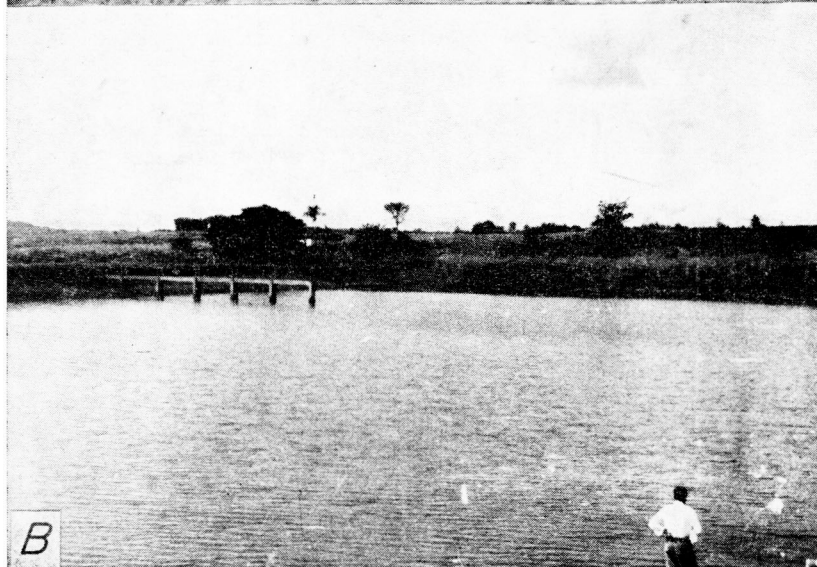
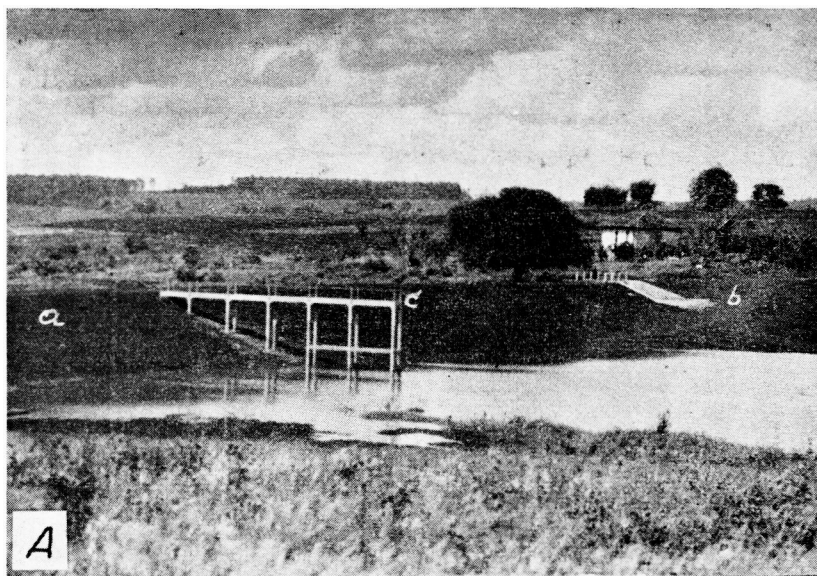
1. Armco Industrial e Comercial S/A. Manual da técnica de boeiros e drenos. Rio de Janeiro, 1943. 468 p.
2. BARRETO, G. B. Elementos de irrigação. Projeto para irrigação do cafeeiro. São Paulo, Editora agrônômica "Ceres" Ltda., 1957. 139 p.
3. BASTOS, FRANCISCO DE ASSIS. Projeto e construção de uma pequena barragem de terra. Caminos y construcion pesada. Março de 1956.
4. BITTENCOURT, HÉLIO V. C. Resultados de testes de impermeabilização do solo utilizado na construção da barragem "Monjolinho". Campinas, Instituto agrônômico, s.d. [Não publicado]
5. GARCEZ, L. N. Súmula de aulas proferidas no curso normal para engenheiro. São Paulo, Fac. de Hig. e Saúde pública, 1949. [Não publicado]
6. GROHMANN, F., MEDINA, H. P. & GARGANTINI, H. Novo tipo de lisímetro monolítico. *Bragantia* 11:[333]-334. 1951.
7. JUSTIN, JOEL. Earth dams projects. New York, John Wiley & Sons, 1932. 345 p.
8. MALLET, CH. & PACQUANT, J. Les barrages en terre. Paris, Eyrolles, 1951. 345 p.
9. PAIVA, J. E. (neto), CATANI, R. A., KÜPPER, A. [e outros]. Observações sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 11:[227]-253. 1951.



A — Vala de fundação; B — reposição de terra e compactação manual da parte mais profunda.



A — Construção da ponte para manobra do registro de descarga da repêsa;
B — preparo da fundação do extravasor ou "ladrão".



A — Barragem concluída: *a* — talude de montante; *b* — extravasor; *c* — ponte para manobra do registro de descarga; *B* — vista atual da repêsa.

B R A G A N T I A

VOL. 17 ARTIGO N.º 8 1958

E R R A T A

Pág. 120, cap. 2.2: por um lapso deixou-se de mencionar que diversos dados iniciais para a elaboração do projeto da barragem "Monjolinho" foram obtidos pelo Eng. Agr. Hélio V. C. Bittencourt.

Pág. 124, Quadro 2: onde se lê: Matéria orgânica determinada, leia-se: Carbono determinado.

Pág. 125, cap. 3.1: onde se lê: 97,590, 170,350, 401,886, 11,370, leia-se, respectivamente: 78,37, 136,81, 322,73, 9,133.

Pág. 129, Quadro 3: onde se lê: 2,82, leia-se: 2 816.