

A EXECUÇÃO DA BARRAGEM OLIVEIRA SALAZAR (CHICAMBA-REAL) EM MOÇAMBIQUE



Fig. 1 — A Barragem Oliveira Salazar

1 — Introdução

O crescente desenvolvimento económico que há anos se tem vindo a verificar no distrito de Manica e Sofala, da província de Moçambique, aliado ao desejo da Federação das Rodésias e Niassalândia de importar energia eléctrica para o abastecimento da região fronteiriça do «Eastern District», sem afectar as necessidades portuguesas, levaram a Sociedade Hidro-Eléctrica do Revuè a rever as possibilidades de produção de energia, ampliando de maneira substancial o aproveitamento do Mavuzi, que mantinha em exploração desde 1953, e construindo a Barragem Oliveira Salazar, na Chicamba-Real.

Viveu-se assim, nestes dois locais e de meados de 1956 até época idêntica de 1959, uma fase de actividade intensa, procurando vencer os obstáculos que surgiam a fim de levar a bom termo uma obra de tamanha projecção no Ultramar Português.

Tal foi plenamente conseguido e em 20 de Junho de 1959, com a inauguração oficial do aproveitamento pelo Ministro do Ultramar, atingiu-se o fim da primeira fase dos trabalhos que aquela Empresa projecta executar no rio Revuè e seus afluentes.

Porque a revista *ELECTRICIDADE* no seu número 11 (Julho-Setembro de 1959) a propósito da inauguração em Portugal

de aproveitamentos hidroeléctricos e hidroagrícolas em 1959, dedicou desenvolvida notícia aos aproveitamentos realizados e a realizar pela Sociedade Hidro-Eléctrica do Revuè, dispensamo-nos de, novamente, os apresentar como prólogo deste trabalho, onde é nossa intenção referir apenas alguns aspectos da construção do aproveitamento da Chicamba-Real, projectado pelo Gabinete de Estudos da Hidro-Eléctrica do Zêzere.

2 — Características do aproveitamento

A necessidade de garantir a afluência dos caudais indispensáveis à exploração da nova Central do Mavuzi, inclusivamente nos meses de maior estiagem, fizeram pensar na criação de um grande reservatório com capacidade de regularização interanual.

As condições topográficas e geológicas do vale do rio Revuè, na Chicamba-Real, 50 km a montante do Aproveitamento do Mavuzi, mostraram-se favoráveis ao empreendimento previsto, permitindo a implantação da barragem.

Apoiada em dois afloramentos de quartzite com a pujança suficiente para o fim desejado, localiza-se a barragem em apertada garganta do rio cujo vale se alarga extraordinariamente para montante, facilitando a criação de uma albufeira com grande capacidade de armazenamento, à custa

de obras relativamente pouco dispendiosas. Basta dizer que na primeira fase dos trabalhos, a barragem com uma altura de 55 m na crista do descarregador permite um armazenamento da ordem dos 435.10^6 m^3 , número que sobe a cerca de 2000.10^6 m^3 quando se atingirem os 75 m de altura previstos para a fase seguinte.

A barragem, cujas formas foram influenciadas pelas condições locais, é constituída por duas abóbadas delgadas de dupla curvatura, sendo a principal de arcos parabólicos com a altura de 55 m na crista do descarregador, 60 m no coroamento, 11 m de espessura na base e 248 m de desenvolvimento. A abóbada secundária, de arcos circulares, situa-se na margem direita de molde a proteger profunda depressão ocasionada por acidente geológico localizado; tem o coroamento dois metros acima do coroamento do arco principal, a altura máxima de 35 m, a espessura na base é de 5 m, sendo o seu desenvolvimento de 138 m.

A simetria do traçado da abóbada principal relativamente à secção central, destinada a criar uma distribuição uniforme de tensões na rocha de fundação, foi obtida por intermédio de um soco.

A barragem é atravessada por duas galerias de visita e inspecção situadas a cotas diferentes, que permitem o acesso aos aparelhos de medida e ao sistema de injeção de cimento das juntas de contracção e por uma galeria geral de drenagem disposta ao longo da rocha de fundação e destinada, além das finalidades anteriores, a facultar o controle das subpressões.

O evacuador de cheias, dimensionado para caudais regularizados da ordem de $1600 \text{ m}^3/\text{s}$, localiza-se sobre a barragem, na parte central, tendo forma própria adaptada a esta primeira fase de trabalhos (fig. 2).

As águas descarregadas em queda livre são recebidas em bacia de dissipação localizada logo a jusante da barragem; é constituída por revestimento a betão da rocha, de molde



Fig. 3 — Torre de tomada de água

a criar as melhores condições para a dissipação da energia, sem ocasionar erosões junto às fundações da barragem. O estudo das suas formas, bem como a de todo o conjunto relacionado com a evacuação das cheias, inclusive o comportamento do leito do rio a jusante da zona revestida, foi completado com ensaios em modelo reduzido, a fim de garantir um perfeito funcionamento no futuro.

A descarga de fundo implantada na margem esquerda, é constituída por dois túneis com o comprimento médio de 80 m cada e poços onde funcionam as comportas ensecadeiras. A montante destes poços, a secção das galerias tem a forma clássica de ferradura e o revestimento é de betão; a jusante, a secção é circular e revestida com virolas metálicas de 3,5 m de diâmetro, terminando por válvulas dispersoras de jacto oco, destinadas à regulação dos caudais a fornecer.

A entrada destas galerias é constituída por uma torre vertical de betão, em forma de gaiola, que funciona como tomada de água (fig. 3); tem a altura de 45 m e 9 m de diâmetro.

Os poços das comportas ensecadeiras com o comprimento médio de 30 m cada, terminam por estruturas de betão armado destinadas à manobra das comportas metálicas.

A descrição que se acaba de fazer, corresponde à primeira fase de trabalhos; completamo-la com a apresentação da fig. 4, onde se mostra o esquema geral do aproveitamento.

Em futuro próximo, as possibilidades deste escalão serão ampliadas com a construção de uma central de pé de barragem com a potência de 35 MW, a que se seguirá, quando as exigências do consumo o determinarem, o alteamento da represa em mais 20 m, completando-se assim a segunda fase dos trabalhos previstos (fig. 5).

O condicionamento introduzido pela execução da obra em duas fases, levou os projectistas a adoptar soluções que mais tarde permitam a retoma fácil dos trabalhos, com reduzida despesa e com a garantia de os diversos órgãos não serem profundamente afectados no seu funcionamento.

O circuito hidráulico de alimentação da futura central executou-se nesta primeira fase com a torre de tomada de



Fig. 2 — Crista do evacuador de cheias

água construída até à cota definitiva, apenas havendo mais tarde que erguer pilares para encaminhamento das grades finas de protecção das bocas das galerias; nos poços das comportas ensecadeiras ter-se-á que aumentar as torres de betão já existentes e na própria central, à parte os trabalhos directamente relacionados com a sua construção, haverá que fazer a ligação das turbinas às condutas já montadas, deslocando as válvulas dispersoras para posição mais conveniente.

A barragem teve também que ser adaptada, a fim de permitir o seu futuro alteamento em boas condições técnicas.

O coroamento terminou com os blocos contíguos desfasados de 0,75 m, formando endentado; as concavidades correspondentes aos blocos mais baixos foram preenchidas com enrocamento arrumado, de molde a criar um pavimento contínuo com placas de cimento na parte não galgável e definindo, na zona do descarregador, uma soleira protegida em toda a sua extensão com muros de alvenaria, parede e laje de betão armado. A parede de jusante elevou-se 2,5 m acima desta soleira, tomando forma especial no topo, a fim de criar a crista descarregadora.

Em todos os blocos ficaram embebidas lâminas horizontais — de cobre a montante e de aço a jusante — destinadas a garantir as melhores condições de estanquidade quando da execução da segunda fase, eliminando a possibilidade de infiltrações através das juntas de trabalho que tenderão a abrir, devido ao diferente comportamento de betões com idades tão diferentes.

A demolição destes dispositivos, destinados a preservar o betão do contacto com o meio exterior e a garantir as melhores condições de funcionamento futuro da estrutura, será de realização fácil, permitindo um rápido recomeço das betonagens da segunda fase, quando tal se julgar conveniente.

3. — A execução das obras

3.1 — A DERIVAÇÃO PROVISÓRIA

Num rio como o Revuè, onde as oscilações dos caudais são grandes, variando de poucos metros cúbicos por segundo na estiagem, até valores superiores a 2000 m³/s na época das chuvas, não havia possibilidades de se considerar um conjunto de obras de derivação provisória que oferecesse garantias absolutas de manter a zona da construção da barragem a seco, nos meses de maior pluviosidade, em boas condições económicas.

Planearam-se, pois, estes órgãos de maneira que se garantisse o desvio de caudais da ordem dos 70 m³/s, com ensecadeiras de reduzido custo e aproveitando as galerias que posteriormente funcionariam como descargas de fundo, admitindo-se simultaneamente um desenvolvimento de trabalhos que precavesse a betonagem da barragem contra paralizações prolongadas devidas a cheias.

Além das ensecadeiras e galerias indicadas, rasgaram-se na encosta esquerda os canais de entrada e de fuga para

CARACTERÍSTICAS GERAIS

ARMAZENAMENTO

Capacidade da albufeira	435 × 10 ⁶ m ³
Barragem descarregador	H = 60,0 m
Evacuador de cheias	1700 m ³ /s

REGULAÇÃO DE CAUDAIS

Descargas de fundo	2 × 50 m ³ /s
Comprimento das galerias	l = 98,0 m l = 81,0 m
Diâmetro a jusante das comportas	∅ = 3,5 m
Dimensões das grades finas	5,0 m × 10,0 m
Dimensões das comportas	2,75 m × 4,0 m
Válvula de jacto oco cónico	∅ = 2,0 m

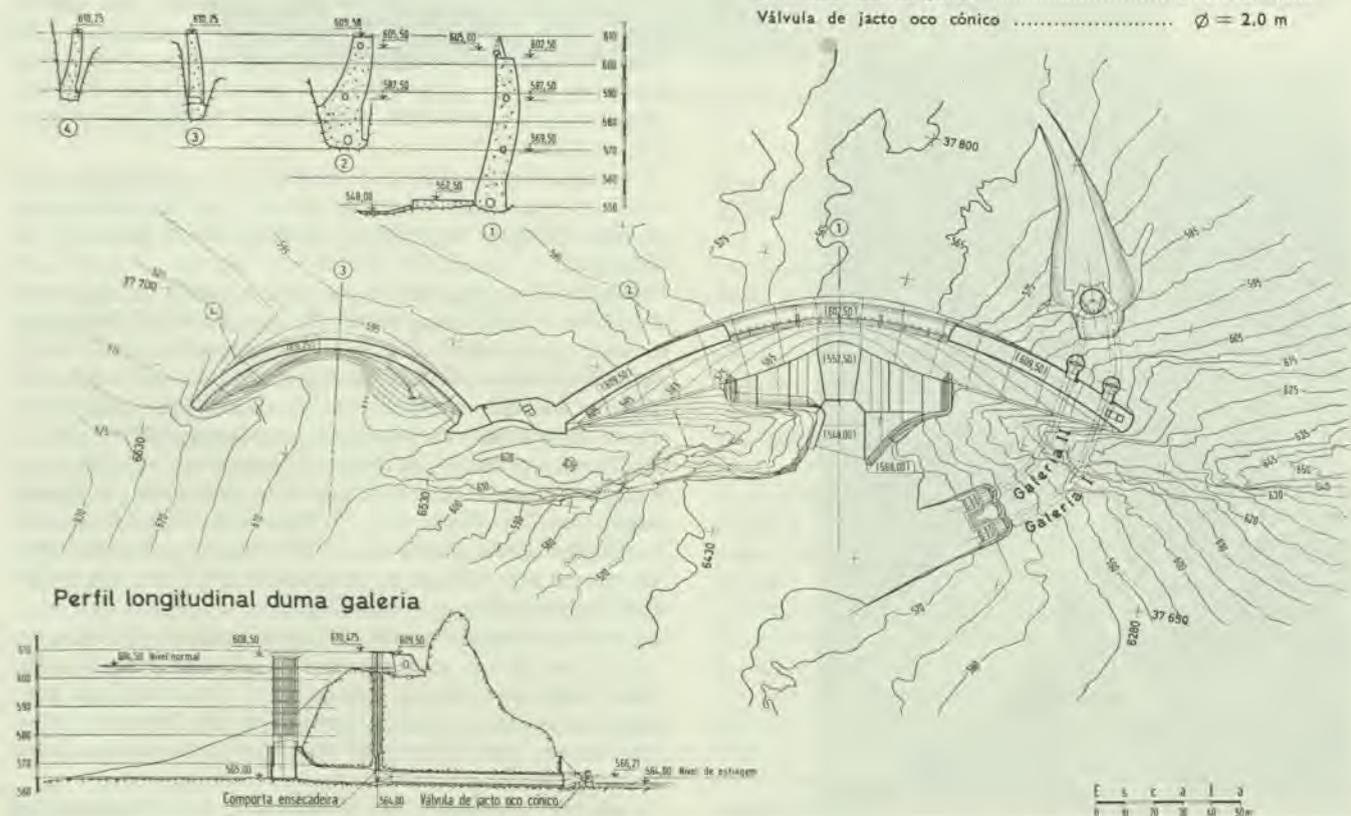


Fig. 4 — O aproveitamento da Chicamba Real — 1.ª fase

permitir a captação do rio e a sua restituição mais a jusante, deixando a seco uma extensão do leito suficiente para a implantação da barragem e para o desenvolvimento de pistas de acesso que facilitassem o rápido escoamento dos materiais provenientes da escavação. A planta deste conjunto é apresentada na fig. 11.

A ensecadeira de montante, construída de betão na ligação com a rocha e de alvenaria hidráulica de paredes rebocadas acima deste soco e com perfil de gravidade, situou-se numa

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Capacidade da albufeira	1920 × 10 ⁶ m ³
Barragem	H = 75,0 m
Evacuador de cheias	1600 m ³ /s
Descargas de fundo	2 × 60 m ³ /s
Diâmetro das galerias	∅ = 3,5 m

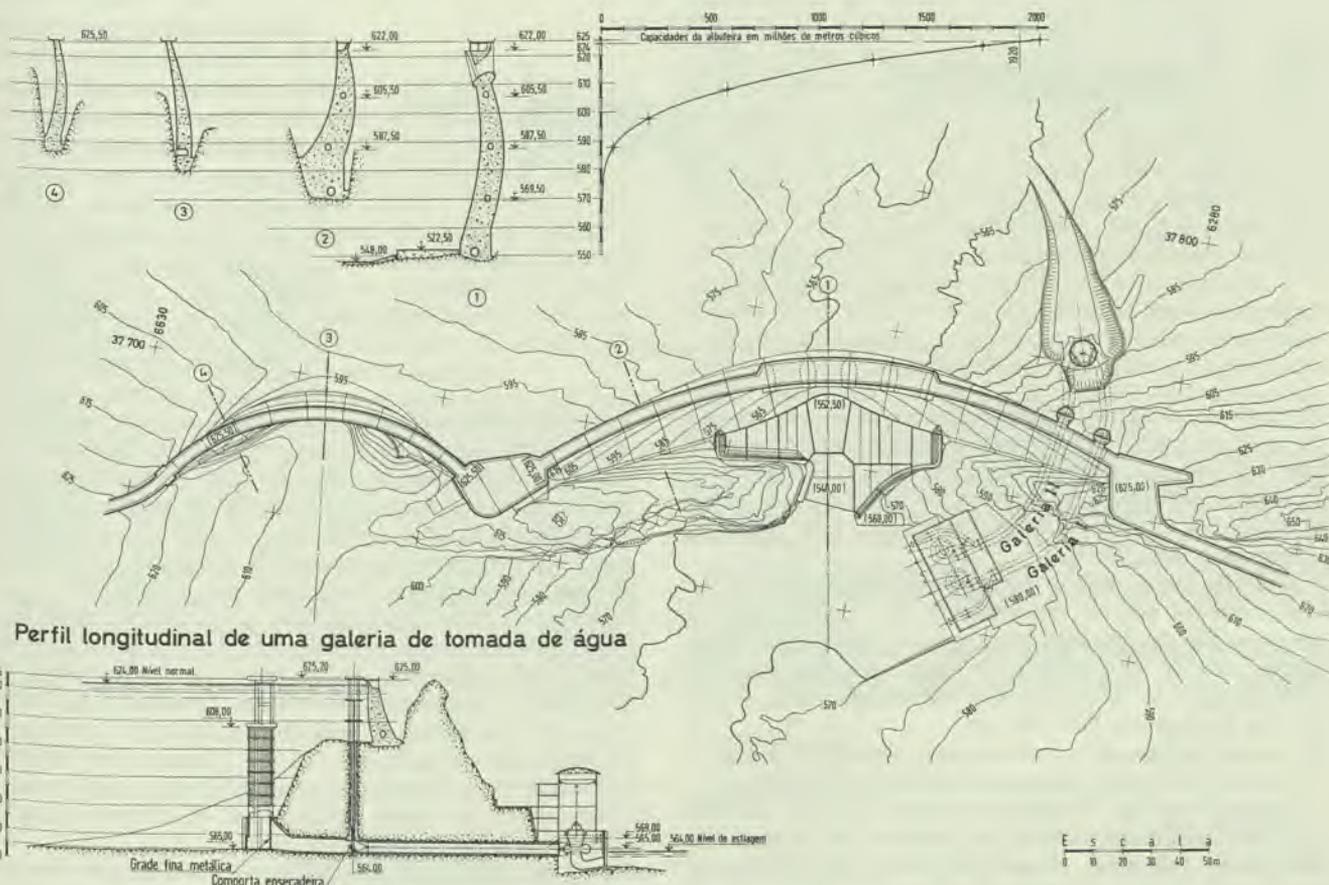


Fig. 5 — O aproveitamento da Chicamba Real — 2.ª fase

zona de afloramentos de gneiss são, com a vantajosa particularidade de o rio se dividir em dois braços neste local, o que facilitando o seu desvio parcial, permitiu a construção em boas condições, fugindo-se aos condicionamentos normalmente característicos destas obras, que originam infiltrações e os consequentes problemas de bombagem.

Para o fecho da zona do leito menor acumularam-se terras a montante, improvisando-se uma ensecadeira que facilitando o desvio inicial do rio, auxiliou a construção a seco da ensecadeira definitiva.

As galerias, com funções iniciais de derivação, foram abertas em rocha que oferecia boas garantias de perfuração — quartzites e gneisses. Inicialmente foi atacada a galeria II, a primeira que recebeu o rio, e um pouco mais tarde a I. A definição da secção do projecto efectuou-se em duas fases; na primeira, em galeria de avanço, definiu-se o tecto, concluindo-se a escavação com a execução do rebaixo até à soleira.



Fig. 6 — Coroamento do arco principal da barragem e vista do arco secundário

3.3 — FABRICO E COLOCAÇÃO DE BETÃO

Como se mostra no esquema inserto na fig. 8, o estaleiro de fabrico e colocação de betão dividia-se em duas partes fundamentais: pedra e instalação de selecção para a preparação dos inertes e fabrico e colocação mais directamente relacionadas com a betonagem.

Com o intuito de dar uma ideia do funcionamento do estaleiro para a construção da barragem, referir-se-á individualmente cada uma das partes que o constituíam.

3.3.1 — Pedreira e selecção

A curta distância da obra, cerca de 2,5 km, localizava-se a pedreira numa zona de afloramentos graníticos. O tipo de granito existente nas três frentes abertas, variava entre o são, de cor azul, e o ligeiramente decomposto, de tom amarelo. Tratava-se de boa pedra para o fim pretendido, não só pela sua rigidez estar dentro do que é aconselhável nos betões, mas também por permitir a produção de finos em quantidades que satisfaziam as exigências do fabrico, sem necessidade de recorrer a depósitos fluviais, por vezes de aplicação duvidosa, devido à existência de matéria orgânica dificilmente eliminável com a lavagem.

O equipamento mecânico desta zona era formado por uma central de ar comprimido com dois compressores eléctricos de 12 m³/min, auxiliados quando necessário por um outro compressor móvel, uma escavadora 43 RB e duas 19 RB, trabalhando na carga em duas pedreiras que se exploravam simultaneamente para que, com um desdobramento de frentes de desmonte, se aumentassem as garantias de fornecimento à instalação de britagem primária. Esta instalação era constituída por uma britadeira de 36"×24" com alimentador e crivo vibrante com malha de 50 mm, para uma primeira selecção. Após esta separação o material era rece-

bido em dois silos, um para os inertes até 50 mm destinados à instalação de selecção e lavagem e outro para a brita entre 50 mm e 150 mm transportada directamente ao silo alimentador da torre de betonagem ou à britadeira secundária para rebitagem. O transporte das pedreiras para a instalação primária e dos silos desta para a instalação de selecção, localizada no estaleiro principal, efectuava-se em camionetas basculantes de grande e média capacidade.

A instalação de selecção, lavagem e rebitagem, como o esquema mostra, era constituída por um silo-tremonha para recepção do material menor que 50 mm transportado dos silos da pedreira, uma tela transportadora para a instalação propriamente dita, que, por ser do tipo cascata, permitia que os materiais caídos por gravidade e arrastados pela água de lavagem, fossem devidamente seleccionados em crivos de malha quadrada com as dimensões em milímetros de 19, 5 e 2, definindo assim a brita média (19-50), brita fina (5-19) e areia grossa (2-5); a areia fina (0-2), separada dos restantes inertes pela intensa lavagem a que eram submetidos, seguia para um depósito decantador donde se retirava por um parafuso sem fim, após ter perdido o excesso de finos e impurezas, levados pela água de lavagem saída por um descarregador. Com este sistema conseguiu-se obter sempre a percentagem ideal de elementos finos que sendo necessários em pequenas quantidades, se tornam altamente prejudiciais quando em excesso.

As britadeiras secundárias (de maxilas, com a abertura de 24"×10"), terciária e o moinho de rolos, localizadas junto aos silos mas a nível inferior, permitiam a retoma fácil por caleiras, de todos os inertes, de molde a conseguir-se a obtenção dos tamanhos menores. Podia assim controlar-se a produção das diferentes britas ou areias conforme as necessidades.

Após a selecção, os materiais eram recolhidos em silos de grande capacidade, sobre cuja estrutura estava montada

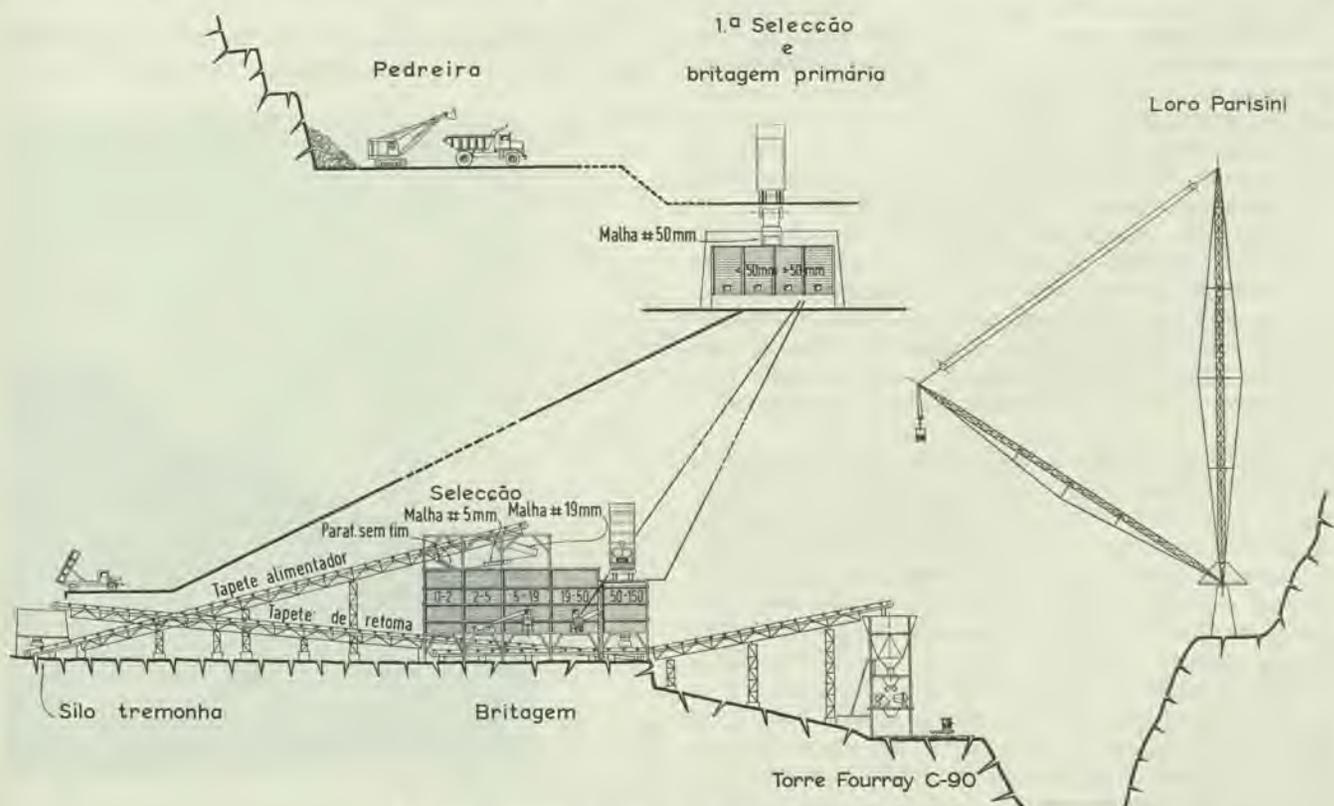


Fig. 8 — Esquema das instalações de fabrico e colocação de betão



Fig. 9 — Instalação de fabrico de betão

a instalação descrita, de modo que a queda dos inertes fosse directa para o silo respectivo.

Os materiais devidamente lavados e calibrados ficavam seleccionados nos seguintes tamanhos (em milímetros), conforme se pretendia para o betão a fabricar: 50-150, 19-50, 5-19, 2-5 e 0-2.

3.3.2 — Fabrico, transporte e colocação do betão

Estando todos os silos providos na base, de tremonhas de saída reguláveis, fácil se tornava alimentar o tapete rolante que transportava os inertes à torre de betonagem.

Esta, uma Fourray C-90 de descarga central, apoiada sobre estrutura de betão armado, era constituída na parte superior por seis pequenos silos metálicos, cinco destinados aos diferentes calibres de inertes e o sexto ao cimento enviado por um sistema de parafuso sem fim de outro silo metálico com capacidade de armazenamento de 125 t, instalado junto à torre. No primeiro andar estavam montadas duas betoneiras basculantes com a capacidade de 1 m³, alimentadas com os materiais pesados em balança de tipo cumulativa, instalada no andar superior. Localizava-se aqui o quadro de comando eléctrico do sistema pneumático, que permitia, com o emprego de um só operador, proceder à carga dos inertes, da água devidamente misturada com o agente introdutor de ar (Darex) e do cimento, bem como o comando das duas betoneiras para a amassadura e descarga.

Esta central de fabrico de betão tinha um rendimento de 40 m³/h, satisfazendo plenamente as necessidades da obra.

Após a amassadura, o betão era descarregado em tremonha de grande capacidade, de porta manobrável também pneumáticamente, donde passava para baldes com a capacidade de 2 m³ de betão medidos «in situ», instalados em carros que se deslocavam sobre via decauville até ao cais localizado a pequena distância, onde os dois derricks Loro Parisini os tomavam para colocação na barragem.

São estes dois derricks de tipo mastro espiado com lança de 60 m e capacidade de carga de 6 t, com um rendimento de colocação que ultrapassou os 30 m³/h. Foram montados nas cristas dos esporões de quartzite, sobre altas torres de betão armado, dadas as cotas que a barragem atingia, em

locais que permitiam dominar toda a planta do aproveitamento principal. Dado o desenvolvimento da barragem para a margem direita, era impossível cobri-la só com estas duas máquinas, pelo que houve que dispor outros meios ao longo do mesmo afloramento das quartzites. Na continuação dos Loro Parisini foram montados dois derricks *cyt*, também do tipo mastro espiado, com lança de 28 m e capacidade de elevação de 3 t e um derrick Butters de três pernas com uma lança de 35 m e a capacidade de elevação de 7 t. Houve também que recorrer à utilização de uma grua 43 RB para a betonagem dos dois últimos blocos do arco secundário.

Na fig. 11, esquema geral do estaleiro, mostra-se a posição que estas máquinas ocuparam.

A fim de dar maior independência à construção dos dois arcos da barragem, não condicionando a betonagem de um à do outro, montou-se, na portela da margem direita, uma outra instalação de fabrico de betão, de concepção mais simples. Era constituída por uma betoneira de mil litros retirada de uma torre de betonagem Fourray C-45 que inicialmente trabalhara para a barragem; os silos, com estrutura de betão armado, situavam-se junto à betoneira e eram alimentados com inertes provenientes da instalação principal de ensilagem, excepção feita à brita 50-150 transportada directamente da pedreira.

Para simplificação desta instalação auxiliar de fabrico de betão, adoptou-se uma composição volumétrica equivalente à composição ponderal fixada para a torre de betonagem C-90. Na base dos silos circulavam vagonas calibradas que descarregavam directamente para a betoneira.

As cofragens com 1,5 m de altura, colocadas por métodos topográficos rigorosos com o fim de dar à estrutura a forma fixada pelo projecto, definiam os paramentos de montante e jusante e as juntas de contracção da barragem, constituindo a zona onde se descarregavam os baldes de betão, transportados até aí pelos meios de colocação atrás descritos.

O betão, despejado em monte a fim de evitar a segregação, era vibrado com potentes vibradores eléctricos com agulha



Fig. 10 — Disposição dos derricks de espia ao longo do esporão de quartzite

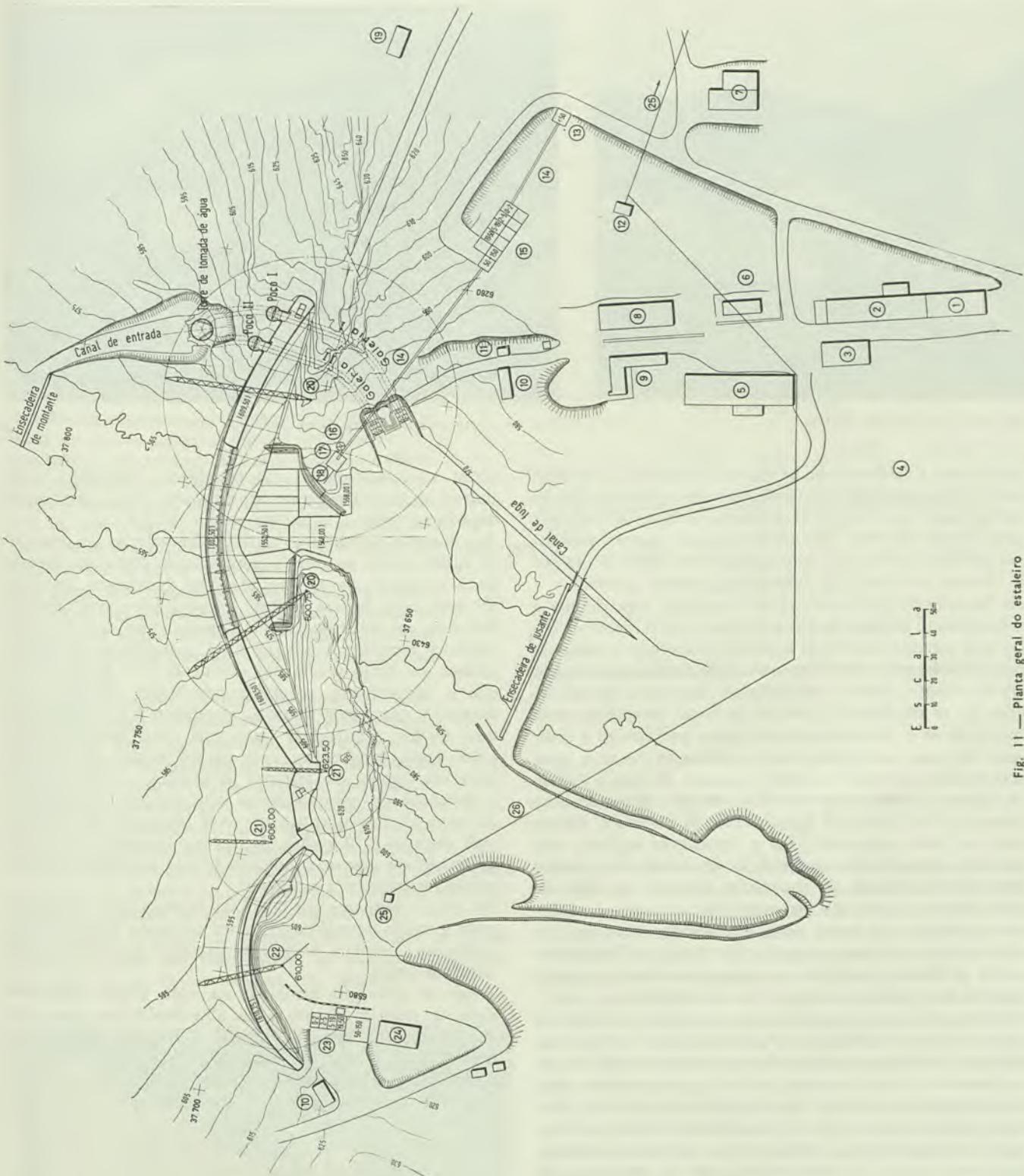


Fig. 11 — Planta geral do estaleiro

1. Estação de serviço
2. Oficina mecânica
3. Escritório da INTERCONTINENTAL
4. Parque da SOREFAME
5. Oficina de carpintaria
6. Armazém geral
7. Escritório, Laboratório da SHER
8. Armazém de cimento
9. Escritório da INTERCONTINENTAL
10. Instalações de SONDAGENS RÓDIO
11. Central de compressores
12. Posto de transformação principal
13. Silo-tremonha
14. Tapete de 24"
15. Instalação de britagem, seleção e ensilagem
16. Silo de cimento
17. Torre «Fourray» C-90
18. Cais dos baldes
19. Depósito de água industrial
20. Derricks «Loro-Parisini»
21. Derricks «Cyt»
22. Derrick «Butters»
23. Instalação auxiliar de betoneagem
24. Armazém de cimento
25. Posto de transformação auxiliar
26. Linha de transporte de energia a 22 000 V



Fig. 12 — Vista geral do estaleiro



Fig. 13 — Arco principal — Situação em Janeiro de 1959

de 95 mm e 10 000 rot/min, de molde a formarem-se camadas com a espessura entre 30 cm e 40 cm; com a vibração e algum padejamento que sempre se procurava reduzir ao mínimo, pretendia-se distribuir tão uniformemente quanto possível os diferentes elementos constitutivos do betão, de molde a obter-se um todo tão homogêneo quanto possível.

As betonagens efectuavam-se de montante para jusante e o rendimento mínimo fixava-se de modo que o recobrimento de uma camada fosse feito antes de se verificar o início da presa do cimento, cujo tempo era diariamente determinado em laboratório. Após a conclusão da betonagem da camada com 1,5 m de altura e passadas as horas necessárias para que se desse o primeiro endurecimento, procedia-se à lavagem da junta horizontal criada, com jacto de ar e água sob pressão, de molde a retirar o excesso de finos e leitada de cimento acumulada à superfície, devido à vibração, sem destruir ou prejudicar a ligação entre os materiais. Ficava assim a junta preparada para a betonagem seguinte, não havendo normalmente necessidade de outros tratamentos tendentes à obtenção de superfícies ásperas, que além de mais onerosos, não são de aconselhar.

As superfícies de betão eram conservadas húmidas por meio de rega contínua, originada por chuveiros distribuídos sobre os blocos, para que se conseguisse uma cura mais perfeita nos primeiros tempos de endurecimento.

Os intervalos de betonagem entre camadas de 1,5 m de um mesmo bloco, fixaram-se em cinco dias, tempo estabelecido de maneira que permitisse que só se fizesse o recobrimento de uma camada de betão, depois de o calor de hidratação do cimento empregado ter entrado no ramo descendente da curva que o caracterizava. Dadas as oscilações das temperaturas ambientes que se reflectem directamente na maior ou menor velocidade de libertação do calor, também os intervalos de betonagem não se fixaram rigidamente, variando o seu valor consoante a época do ano em que se trabalhava.

Quando a colocação de betão se fazia sobre a rocha de fundação, esta era convenientemente lavada com água sob pressão, completamente limpa de elementos desagregáveis, retirando-se até onde fosse possível os recheios das diaclases e secando-se as poças de água; após estas limpezas, a superfície da rocha cobria-se com uma camada de argamassa de composição idêntica à do betão e com cerca de 3 cm de espessura média, de molde a encher completamente

todas as concavidades; em betonagens realizadas sobre outras, os trabalhos eram semelhantes, mas a camada de argamassa tinha a espessura média de 1,5 cm.

A colocação de betão no interior das galerias de descarga de fundo, tanto na zona a montante da comporta ensecadeira como na parte revestida com blindagem metálica, foi feita com bomba própria (placy), meio normalmente utilizado em trabalhos desta natureza, por suprir as dificuldades inerentes à colocação. A quantidade de água a utilizar em betão a este fim destinado, teve de ser maior que a normalmente requerida por betões idênticos mas colocados por meios normais, atendendo à necessidade de uma melhor plasticidade para uma mais fácil passagem pelos tubos condutores; pela mesma razão utilizaram-se materiais inertes de menores dimensões, o que obrigou à aplicação de granulometrias com maiores percentagens de areia e consequentemente com dosagens de cimento mais elevadas (350 kg/m³), de molde a compensar a quebra de resistência que os condicionamentos anteriores forçosamente introduziriam no betão.

Na zona a montante dos poços das comportas ensecadeiras, onde a secção normal de ferradura existia em longos troços, utilizaram-se moldes deslizantes, processo igualmente adoptado nos poços.

Todas as cofragens utilizadas na obra foram confeccionadas de madeira, devido à sua abundância na região, nomeadamente na zona da albufeira, onde se abatiam as árvores para a sua obtenção. Abundava a «mussaça», espécie africana de fraco valor industrial dada a sua inferior qualidade, mas que serviu razoavelmente para o fim pretendido.

3.4 — INJEÇÕES DE CIMENTO

A fim de garantir a estanquidade da barragem abaixo da sua cota mínima, melhorando também as condições de estabilidade da rocha, fez-se o tratamento da fundação com injeções de cimento.

Executaram-se as injeções da cortina principal, com furos orientados de molde a conseguir o atravessamento das diversas diaclases, garantindo, portanto, o seu enchimento e, consequentemente, eliminando a possibilidade de infiltrações. Esta cortina constitui como que o prolongamento da barragem em profundidade. O comprimento dos furos

era condicionado pelo ensaio de permeabilidade da zona atravessada — absorção máxima de dois litros de água por minuto e por metro com pressão de 10 kg/cm², tendo no entanto o mínimo de 20 m. O seu afastamento era de 5 m e a pressão máxima de injeção foi de 20 kg/cm².

As injeções de consolidação, destinadas ao tratamento local de todas as diaclases e zonas de separação de estratos visíveis na rocha de fundação, não tiveram distribuição uniforme, obedecendo antes a sua localização à existência daqueles acidentes geológicos. Efectuaram-se através de tubos previamente selados na rocha, com a pressão de 5 kg/cm², após a execução de razoável espessura de betão e foram precedidas de lavagens, com ar e água sob pressão, por circuitos orientados de molde a garantir a retirada tão completa quanto possível dos recheios que preenchem essas fendas.

Realizaram-se também as injeções de ligação, complementares da cortina principal e que, interessando os primeiros cinco metros de rocha, colmatam qualquer fractura ou fendilhação originada pelo desmorte a fogo, garantindo ao mesmo tempo a ligação betão-rocha.

Nas galerias de descarga de fundo, fizeram-se injeções destinadas à consolidação da rocha possivelmente abalada pelo efeito dos explosivos utilizados na sua abertura, procedendo-se também ao enchimento dos vazios existentes entre a chapa de blindagem e o betão envolvente.

Nas zonas das comportas ensecadeiras e na correspondência das fundações da barragem, estabeleceram-se dois leques de furos, no plano da cortina principal, afim de garantir a estanquidade à volta das galerias.

Além das injeções de cimento apontadas como necessárias para o tratamento local e em profundidade da rocha de fundação, efectuaram-se, na época própria, as injeções primárias e secundárias das juntas de contracção da barragem. Estas juntas, devidas fundamentalmente à necessidade de permitir que o arrefecimento e conseqüente retracção do betão se fizesse sem ocasionar fendas no corpo da barragem, precisam ser preenchidas antes da sua entrada em carga, de molde a pô-la a trabalhar como um todo monolítico conforme os cálculos a consideraram.

Para melhor garantia de completo enchimento, as juntas foram divididas em três andares de injeção, separados por lâminas de aço e servidos por galerias.



Fig. 14 — Paramento de montante do arco principal

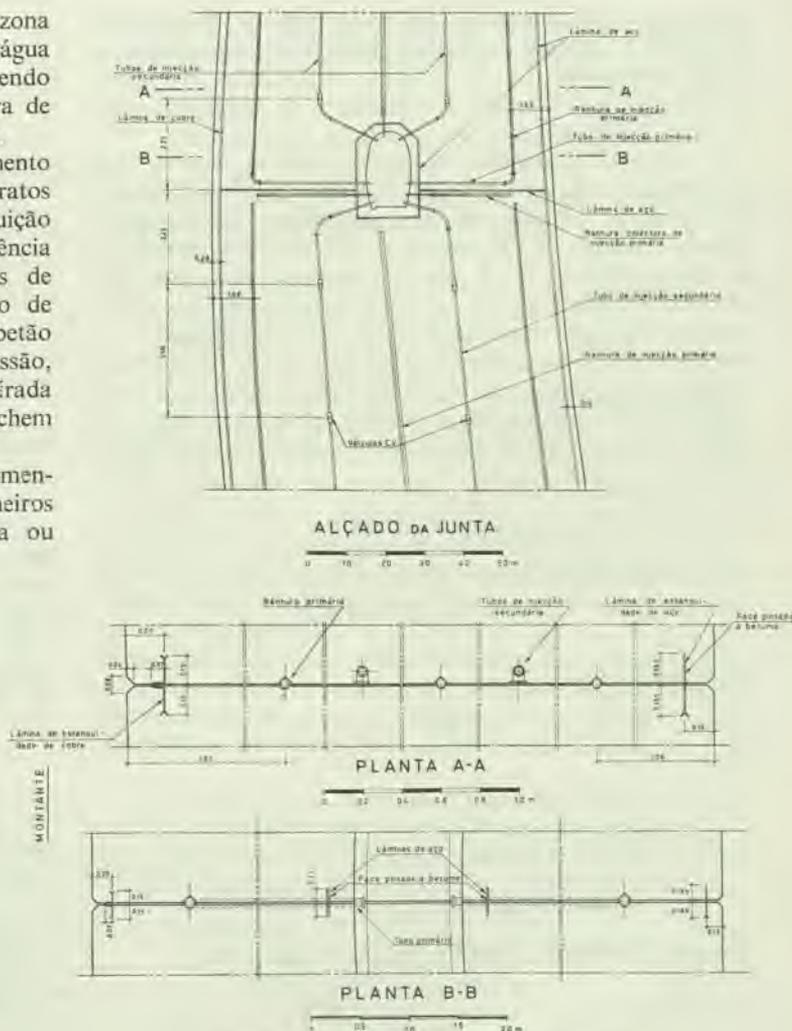


Fig. 15 — Pormenor do sistema de injeção das juntas de contracção da barragem

Em cada andar existe o circuito de injeção primária, constituído por tubo horizontal de admissão, ranhuras verticais moldadas na superfície da junta e ranhura colectora, e o circuito de injeção secundária, formado por tubos de ferro com o diâmetro de 1 1/2", dispostos entre as ranhuras de injeção primária e munidos de válvulas especiais (fig. 15).

Junto aos paramentos de montante e jusante deixaram-se lâminas de cobre e de aço, com formas adequadas, destinadas a evitar as fugas de calda de cimento durante a injeção. Igual procedimento se adoptou nas galerias, nas zonas das juntas.

As injeções realizaram-se em Outubro e Novembro de 1959, portanto na época em que a retracção do betão atingiu o máximo, por se seguir à estação das mais baixas temperaturas e foram antecedidas de ensaios prévios de água para verificação do funcionamento dos vários circuitos.

3.5 — CONTROLE DO BETÃO, INERTES E CIMENTOS

A execução de uma obra onde se aplicaram mais de 100 000 m³ de betão, exigia o funcionamento de um laboratório que, além do estudo inicial de todos os betões que se vieram a utilizar, desempenhasse função activa no controle dos materiais aplicados, de molde a verificar a continuidade das normas previamente fixadas.

Por tal motivo, montou-se na Chicamba um laboratório de estudo e controle de inertes, cimentos e betões, devidamente apetrechado e funcionando em moldes em tudo semelhantes aos existentes nos estaleiros da Metrópole, sob a direcção de técnicos da S.H.F.R.

Nos estudos inicialmente realizados para verificação das possibilidades de aplicação do cimento da Nova Maceira na barragem, trabalhou-se em colaboração com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e com o Laboratório de Obras Públicas de Lourenço Marques, contactos que se mantiveram até ao fim da obra, para um mais perfeito conhecimento das características do cimento utilizado.

Em conclusão dos estudos feitos no início sobre os cimentos produzidos na fábrica de Nova Maceira, no Dondo, e com o acordo dos produtores, fixaram-se, para os cimentos a utilizar nos betões da barragem, as seguintes características:

PROPRIEDADES FÍSICAS

Tempo de presa:

começo — 1,5 h a 8 h
fim — < 15 h

Expansibilidade:

< 4 mm

Finura:

resíduo no peneiro de 0,090 — < 6,5%
turbidímetro de Wagner — sup. específica —
(1500 a 1700) cm²/g
permeabilímetro de Blaine — sup. específica —
(2800 a 3300) cm²/g

Calor de hidratação (método da dissolução) (cal/g):

3 dias — 55 a 65
7 » — < 75
28 » — < 90
tolerância + 5%

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Resistência à flexão (kg/cm²):

3 dias — > 30
7 » — > 40
28 » — > 55

Resistência à compressão (kg/cm²):

3 dias — > 120
7 » — > 200
28 » — > 300

Estudaram-se também os betões a aplicar nas obras, fundamentalmente os da barragem, de molde a obter-se uma granulometria que permitisse a maior diminuição possível da dosagem de cimento. Porque o tempo havia sido insuficiente para estudos preliminares profundos, que normalmente exigem períodos longos para que se possam tirar conclusões e como havia a experiência de vários betões aplicados em obras semelhantes da Metrópole, com inertes idênticos aos que se utilizariam na Chicamba, serviram de base granulometrias já conhecidas que, devidamente estudadas e alteradas de acordo com a continuidade dos ensaios efectuados sobre os betões, durante cerca de um ano, permitiram fixar a composição granulométrica indicada no Quadro I e considerada como a melhor para aplicação na barragem.

Quadro I

COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DO BETÃO

Classe Série Tyler	Porcentagem retida		Classe Série Tyler	Porcentagem retida	
	Individual	Acumulada		Individual	Acumulada
6"	0,0	0,0	N.º 8	4,0	84,0
3"	32,0	32,0	N.º 16	4,0	88,0
1 1/2"	22,5	54,5	N.º 30	3,5	91,5
3/4"	8,0	62,5	N.º 50	3,5	95,0
3/8"	9,5	72,0	N.º 100	3,0	98,0
3/16"	8,0	80,0	Refugo	2,0	100,0

Equivale esta curva a uma relação brita/areia=4, com a utilização de 20% de areia; nesta, também houve o maior rigor na fixação da curva granulométrica, dada a sua importância no betão.

Esta curva granulométrica pressupõe a existência de um agente introdutor de ar, tipo Darex AEA, a fim de se conseguir boa trabalhabilidade e aumento de resistências, bem como todas as outras vantagens que estes produtos aerificadores trazem aos betões em grandes massas.

As restantes características do betão da barragem foram:

Dosagem 200 kg/m³
Factor A/C 0,52
Darex AEA 0,4 cm³/kg de cimento

Numa faixa de 2 m junto ao paramento de montante, para melhor garantir a impermeabilidade, utilizou-se a dosagem de 230 kg/m³.

Conduzidos a estes valores padrões, através de determinadas características atribuídas inicialmente aos cimentos e aos restantes elementos constitutivos do betão, havia que manter um rigoroso controle sobre todos os materiais, de molde a verificar-se a manutenção destas características ou a aceitarem-se as alterações que as circunstâncias exigissem.

Do cimento chegado ao estaleiro faziam-se colheitas periódicas de amostras destinadas aos ensaios de recepção que se realizavam no laboratório local, determinando as suas propriedades físicas e mecânicas e nos Laboratórios Oficiais de Lourenço Marques e Lisboa, onde, além destas características, se determinavam as propriedades químicas e o calor de hidratação pelo método do calorímetro. Os valores assim obtidos, juntamente com os que diariamente se determinavam nas amostras colhidas na torre de betonagem, permitiam manter um controle eficiente dos cimentos aplicados na barragem e outras frentes de trabalho.

As características médias do cimento utilizado foram as seguintes:

1 — Análise química:

Resíduo insolúvel 0,46 %
Perda ao rubro 1,93 %
Sílica — Si O₂ 20,75 %
Alumina — O₃ Al₂ 6,74 %
Óxido de ferro — O₃ Fe₂ 2,89 %
Cal — O Ca 63,71 %
Magnésia — O Mg 1,96 %
Anidrido sulfúrico — S O₃ 1,75 %

Componentes hipotéticos:

Silicato bicálcico 26 %
Silicato tricálcico 49 %
Aluminato tricálcico 13 %

2 — *Ensaio físicos:*

Peso específico	3,11
Finura:	
Resíduo no peneiro de 4900 malhas/cm ²	2,6 %
Resíduo no peneiro n.º 325	12,3 %
Sup. específica p/turbidímetro de Wagner	1649 cm ² /g
Sup. específica p/permeabilímetro de Blaine	2995 cm ² /g
Expansibilidade	1,2 mm
Começo de presa	2 h 59 m
Calor de hidratação (cal/g):	
Aos 3 dias	56,5
Aos 7 »	73,8
Aos 28 »	89,1

3 — *Ensaio mecânicos:*

Resistência à flexão (kg/cm ²):	
Aos 3 dias	38
Aos 7 »	50
Aos 28 »	67
Resistência à compressão (kg/cm ²):	
Aos 3 dias	161
Aos 7 »	259
Aos 28 »	397

Para o controle dos inertes, faziam-se colheitas de amassaduras secas sem cimento a fim de verificar a curva granulométrica utilizada, analisavam-se as granulometrias de cada um dos silos, fundamentalmente os das areias de que se colhiam amostras diariamente de molde a controlar as percentagens dos infra e supratamanhos e a introduzir, caso fosse necessário, alterações na composição ponderal do betão. A quantidade de água de amassadura a utilizar era controlada pelo ensaio do «slump» com o cone de Abraams que, dando uma indicação sobre a plasticidade do

betão, automaticamente mostrava se existia ou não excesso de água; estabeleceu-se o valor de 3 cm para o «slump». A quantidade de Dax era verificada não só pela colheita periódica de uma mistura deste produto com água, à saída do aparelho doseador, como também pela determinação da percentagem de ar na massa de betão, cujo valor se fixara entre 3 % a 4 %.

Além destes controles, destinados a verificar se as premissas consideradas se mantinham, faziam-se colheitas diárias de betão que, após crivado por peneiro de 1 1/2", era moldado em cubos com 20 cm de aresta, para ensaios de resistência à compressão aos 7, 28, 90 dias e 1 ano, para comparação com os resultados das tensões de rotura obtidas nos estudos inicialmente feitos.

A colheita de todos estes elementos, aliada ao permanente acompanhamento do fabrico e colocação de betão por pessoal especializado, permitia introduzir prontamente as alterações que parecessem necessárias, conseguindo-se assim manter ao longo da obra um betão com características merecedoras de toda a confiança.

As características obtidas para o betão da barragem com a dosagem de 200 kg/m³, foram as seguintes:

Slump	3,5 cm
Percentagem de ar	3,6 %

Resistência à compressão (cubos de 20 cm de aresta de betão crivado pelo peneiro de 1 1/2"):

Aos 7 dias	145 kg/cm ²
Aos 28 »	214 »
Aos 90 »	246 »

Não termina com o finalizar de uma obra desta natureza, o acompanhamento do seu comportamento, para verificação não só da vida do betão que a constitui, como também para análise dos deslocamentos originados pelas diversas solicitações a que é submetida. Para isso foram deixados termómetros de resistência e medidores de juntas embebidos na massa do betão, para conhecimento das temperaturas desenvolvidas no seu interior e das aberturas das juntas de contracção.

Para controle dos deslocamentos que se irão verificar, montaram-se pêndulos e bases de clinómetros em poços e galerias existentes no corpo da barragem e far-se-ão observações topográficas periódicas, pelo método dos alinhamentos.

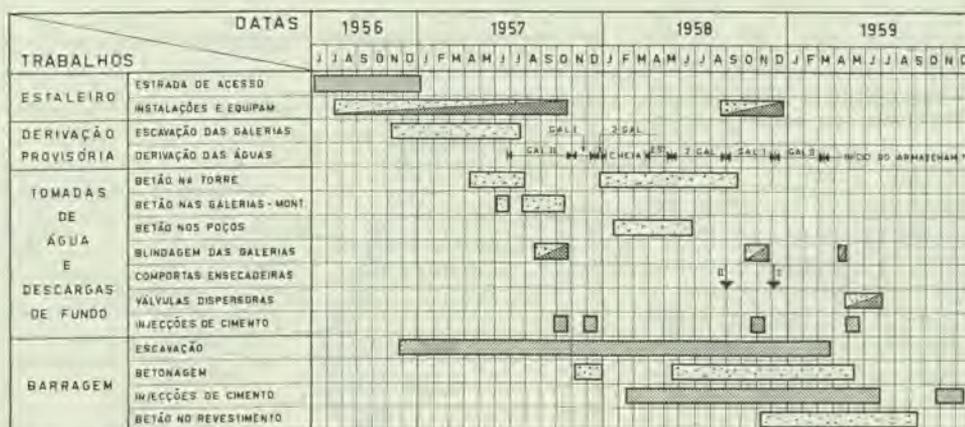


Fig. 16 — Programa final da execução das obras

3.6 — *PROGRAMA GERAL DA EXECUÇÃO DA OBRA*

A fim de dar ideia do andamento da construção deste aproveitamento, junta-se a fig. 16, onde se mostra o programa final resumido dos trabalhos realizados.

A finalizar estas notas queremos salientar o nome das empresas que colaboraram com a Sociedade Hidro-Eléctrica do Revuê na realização do empreendimento. Para a abertura da estrada de acesso e construção do bairro residencial da Sociedade Hidro-Eléctrica do Revuê tivemos a colaboração da Companhia Portuguesa de Construções Laing, (PORTULAING); os trabalhos de construção civil estiveram a cargo da Companhia Intercontinental de Construções, sendo de conta de Sondagens Ródio, as injeções de cimento, e das Sociedades Reunidas de Fabricações Metálicas, (SOREFAME), o fornecimento e montagem do equipamento mecânico.

FAUSTO BAPTISTA COSTA
 Engenheiro Civil (I.S.T.)
 ENGENHEIRO RESIDENTE DA SOCIEDADE HIDRO-ELÉCTRICA DO REVUÊ
 NO APROVEITAMENTO DA CHICAMBA REAL