

Plano Geral de Regularização do Rio Paraíba Visando o Reerguimento Econômico do Vale — Aproveitamento Hidroelétrico

ALFREDO BANDINI

Professor Catedrático da Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo —
Professor da Faculdade de Engenharia Indus-
trial da P.U.C. de São Paulo — Consultor
Técnico do Departamento de Água e Energia
Elétrica, da Secretaria de Viação e Obras
Públicas do Estado de São Paulo.

(Conclusão)

F) OBRAS DE ADUÇÃO PARA A USINA SUBTERRÂNEA DE CARAGUA- TATUBA.

1 — TOMADA

Localiza-se a tomada de água (DESENHO N.º II/2) na extremidade oriental do Reservatório de PARAIBUNA (bacia secundário do rio NEGRO).

Trata-se de uma tomada com embocadura horizontal (DESENHO N.º VIII/2) para evitar um rebaixo, comprido e profundo, que se tornaria necessário adotando a embocadura vertical, em virtude da configuração das ladeiras e da várzea do rio NEGRO.

A embocadura é encimada por uma torre cilíndrica de concreto armado, com base hexagonal, munida de 5 vãos de entrada de (2,25 x 3,20 m), controlados por comportas e protegidos por grelhas. Os dispositivos de manobra, comandados por motores elétricos, estão situados em uma cabine situada no topo da torre.

A base da torre é contornada por um canal excavado na rocha, que se prolonga, em seguida, ao longo do rio NEGRO, constituindo um rebaixo do álveo atual, com declividade longitudinal de 0,001, partindo de cota (692,60) até atingir o fundo natural do rio.

Foi previsto, também, um pontão de tambores flutuantes na superfície d'água, para proteção em face de materiais procedentes das ladeiras. Este dispositivo, contudo, não será colocado se, na prática, se tornar desnecessário.

Com reservatório vazio, derivam-se 33,7 m³/s. com a abertura de 2 comportas.

Para derivar 62 m³/s., operando com três comportas, é suficiente atingir a cota de inundação 697,77.

Pondera-se, também neste caso, a alternativa de vãos colocados em diferentes alturas.

2 — TUNEL DE BAIXA PRESSÃO (vide DESENHO I-2)

a) — O túnel de baixa pressão terá o comprimento de 2960 m, secção circular com diâmetro de 3,90 m, e será construído em rocha firme.

O perfil da rocha resulta de rigorosos levantamentos geofísicos e geológicos.

O revestimento será de concreto simples, com espessura de (0,35) em toda a extensão, exceto em dois trechos, de comprimento, respectivamente:

$$\begin{array}{r} 160 \text{ m} \\ (2820 - 2240) = 580 \text{ m} \\ \hline \text{TOTAL} = 740 \text{ m} \end{array}$$

em que a altura da capa rochosa acima do extradorso do túnel é inferior a 20 m. Nos referidos trechos foi prevista a armadura, em anéis de ferro redondo, totalizando pesos variáveis de 60 a 120 kg por m^3 de concreto.

Chegamos a esta conclusão em virtude de um processo de cálculo baseado sobre princípios clássicos da teoria da elasticidade e que será aplicado mais adiante, quando trataremos o problema estático do túnel de alta pressão.

Os *máximos esforços ideais* nos intradorsos dos anéis de concreto e de rocha, atingem os valores, respectivamente, de 3,55 e 3,25 kg/cm^2 .

Preve-se, no intradorso, revestimento de gunita, reforçada por rede de arame: medida, aliás, conveniente, em virtude das velocidades máximas atingidas.

b) — O diâmetro do túnel foi calculado atendendo ao critério do *menor onus econômico*, que se identifica com o valor mínimo da soma: custo do conduto, mais capital correspondente à potência média perdida pelas perdas de carga.

Aplicamos um processo analítico, publicado no nosso **VOLUME II.º**, introduzindo na fórmula da declividade econômica os seguintes valores numéricos:

α	$= \frac{D_1}{D} = \dots\dots\dots$	1,18
c	$=$ custo unitário médio do revestimento	6300 Cr/ m^3
n	$=$ coef. de G. e K	0,014
Q_m	$=$ vazão corresponde à potência média	37 m^3/s
r_1	$=$ rend. médio nos bornes dos alternadores síncronos	0,85
θ	$=$ lucro líquido do KW hora, capitalizado para período de amortização de 20 anos	Cr\$ 35.040

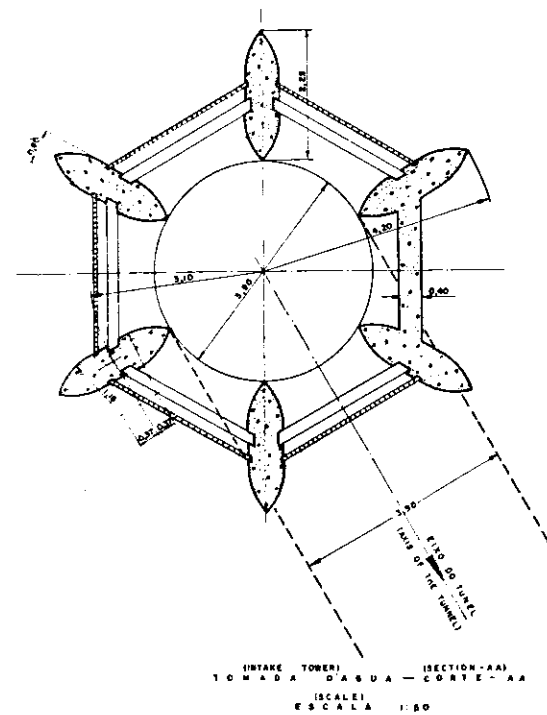
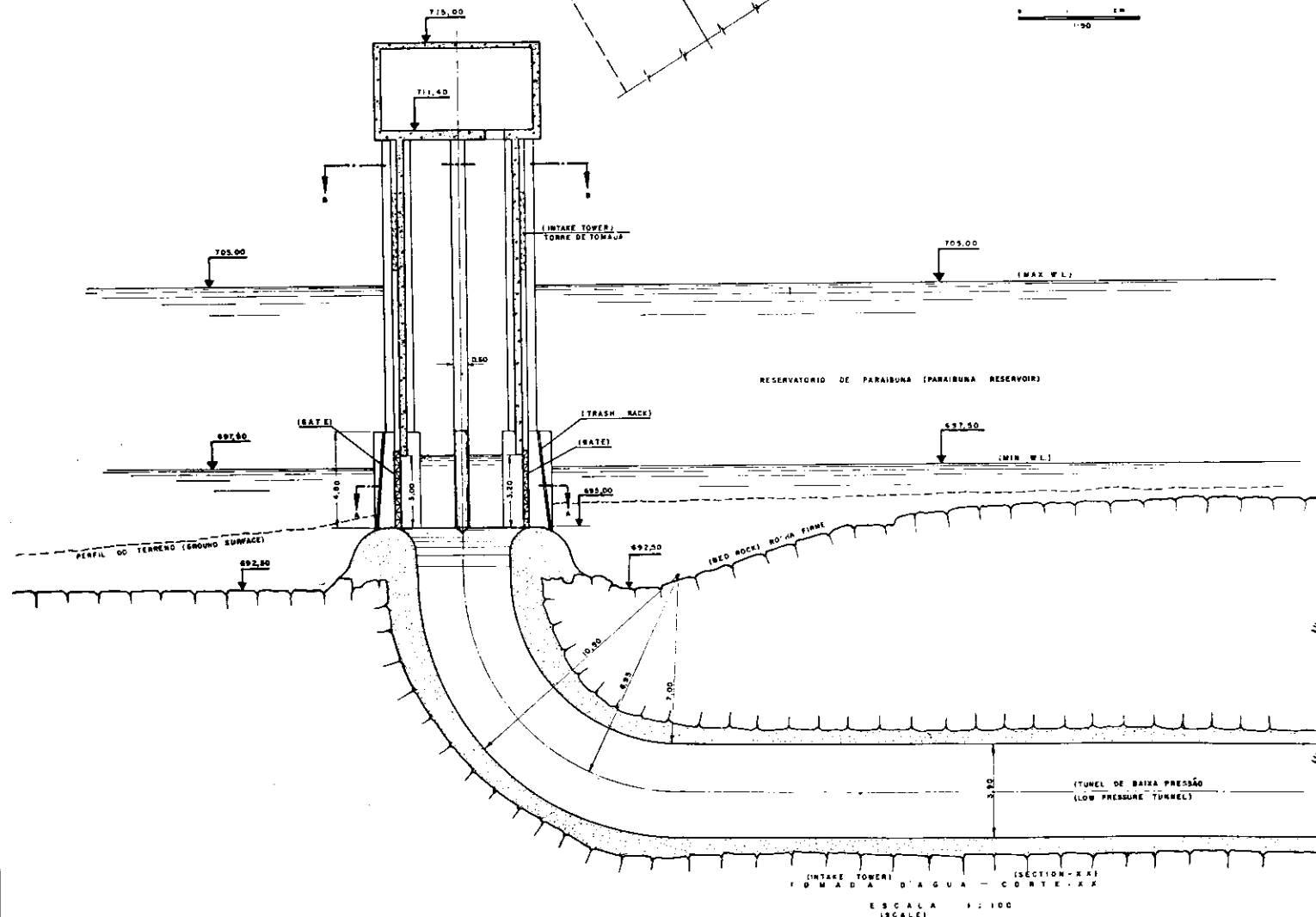
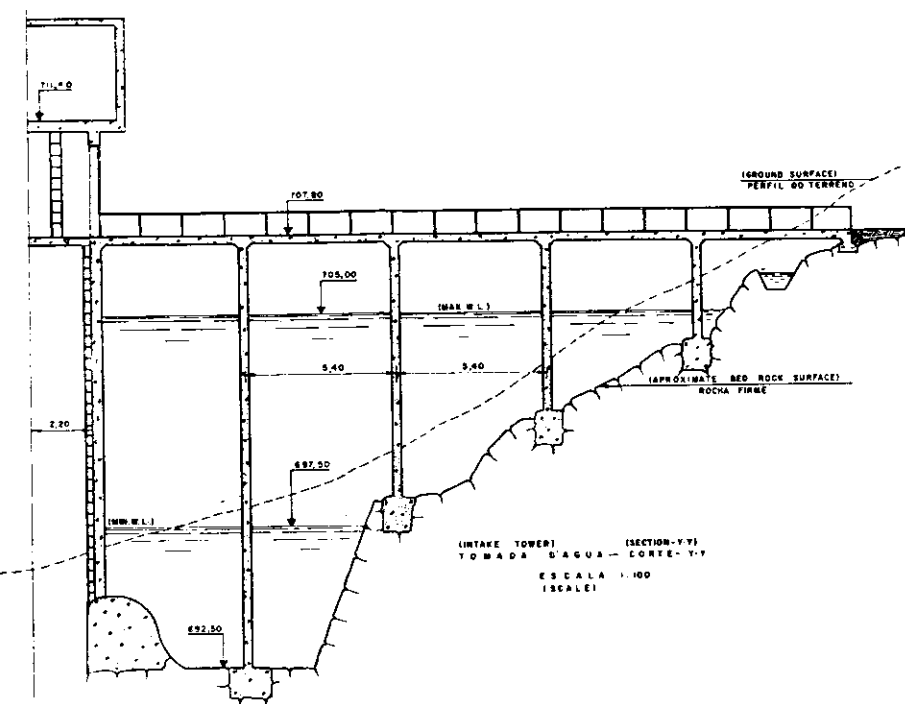
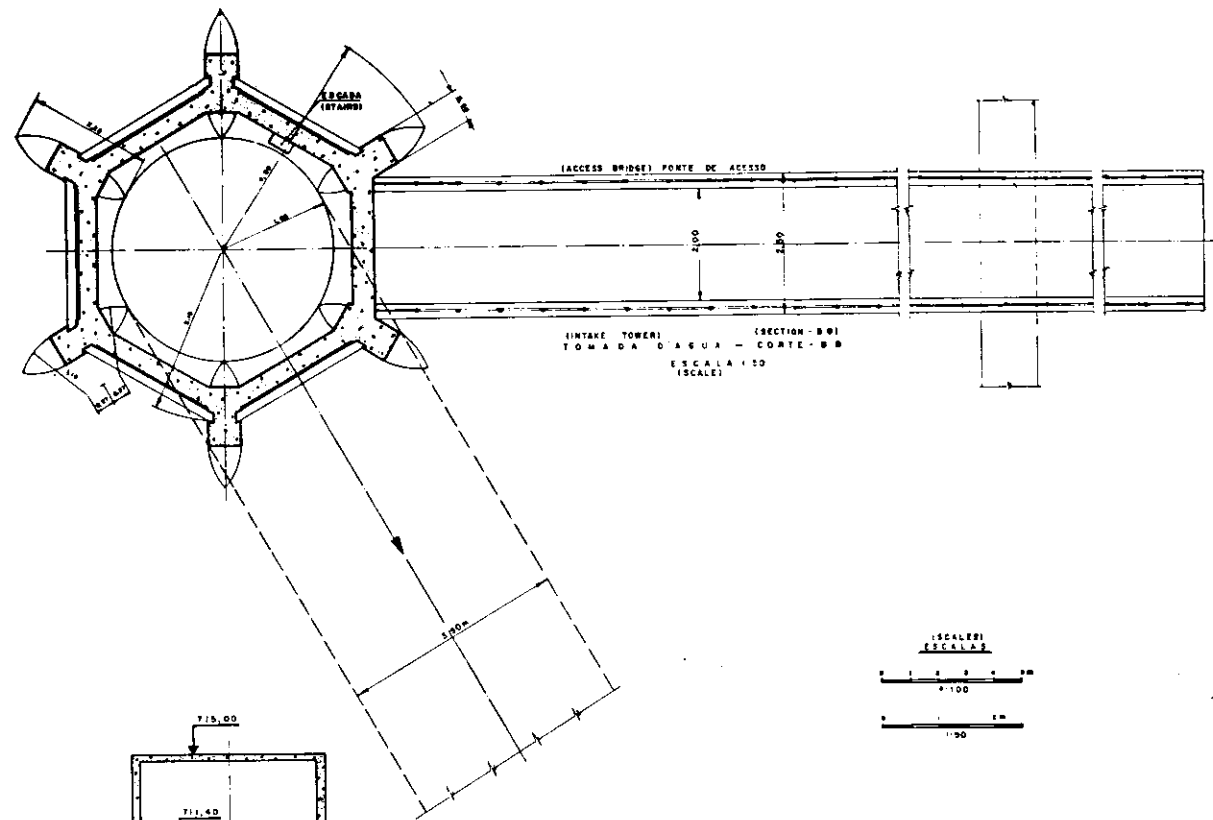
A declividade econômica resultou: 0,00546 e o diâmetro $D = 3,90$ m.

Velocidades máximas de escoamento:

na 1.ª fase	4,52 m/s
na 2.ª fase	5,2 m/s

É previsto um reboco interno, com gunita especial, reforçada por rede de arame: estudos sobre o particular estão sendo executados pela "CEMENTATION DO BRASIL".

Cabe-nos acrescentar que, para solidarizar o concreto com a camada de rocha contígua, colocar-se-ão pequenos tubos na espessura do revestimento, para exe-



HIGH PARAIBA HYDROELECTRIC DEVELOPMENT (CARAGUATATUBA UNDERGROUND PLANT INTAKE)		
VIII-2		
SECRETARIA DA VIAÇÃO E OBRAS PUBLICAS DEPARTAMENTO DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA ESTADO DE SÃO PAULO CONSULTORIA TÉCNICA		
APROVEITAMENTO HIDROELECTRICO DO ALTO PARAIBA - TOMADA DE AGUA - USINA DE CARAGUATATUBA		
ENGENHEIRO: H. YAMAMOTO	DES. Prof. <i>Alfredo Bordini</i>	PROF. ALFREDO BORDINI CONSULTOR TÉCNICO

(DRAWING NO. VIII-2)

cutar, em seguida, injeções de argamassa com alto teor de cimento e intensificando a operação na abóboda.

Se se tornarem necessárias, serão executados também obras de drenagem das águas exteriores.

3 — CHAMINÉ DE EQUILIBRIO (DESENHO IV-3/a)

a) — A chaminé de equilíbrio (DESENHO N.º IV-3/a) colocada *em derivação*, na extremidade do túnel de baixa pressão, consta de um poço cilíndrico, de diâmetro de 4 m, extragunlamento inferior e duas câmaras de expansão.

A inferior, com secção transversal de um semi-quadrado de (4 x 2 m), encimado por um semi-círculo, com fundo na cota (684,82), tem comprimento longitudinal de 38 m.

A superior, com secção retangular encimada por um arco rebaixado e com dimensões transversais de (8 x 8 m), tem o comprimento de 60 m, e o fundo na cota (705,74).

O acesso para a câmara superior é realizado por um poço vertical de diâmetro de 6 m e um pequeno túnel de 4 m de largura e 3 m de altura, tendo o comprimento de 34 m.

Tôda a estrutura estará localizada em rocha firme, prevendo-se um revestimento de concreto; se no ato da execução se tornar necessário, serão armadas com ferro as partes em que a rocha não apresentar as características de homogeneidade a resistência prevista no projeto.

b) — A secção transversal da parte cilíndrica foi calculada sob a condição de que as oscilações devidas a pequenas variações de potências resultem amortecidas.

Aplicando-se a fórmula de THOMA, obtivemos o valor mínimo de 4,46 m², que foi aumentando para (12,56 m²; D = 4 m) por motivos de ordem construtiva.

c) — A verificação da eficiência da chaminé foi feita, aplicando um *processo geral* de cálculo, por diferenças finitas, válido para qualquer tipo de chaminé e de manobra dos órgãos obturadores das turbinas e que pode ser considerado como uma generalização do método SHOCKLITSH, válido para manobras de fechamento total. Está publicado no nosso **VOLUME II**.

As equações resolventes são 4:

a equação geral do movimento oscilatório amortecido;

a equação da continuidade do sistema;

a lei de radiação: $r = r(x)$;

a lei da manobra, que exprime a variação de Q_c em função de x , visando manter, durante o movimento perturbado, a *potência*, logo o *número de rotações* dos rotores e a *frequência* da corrente elétrica, *constant*es.

Sem entrar em ulteriores detalhes, esclarecemos que, para determinar o *nível máximo* (cota 711,60), na chaminé, foi considerada a manobra crítica de fechamento total ($Q_c = 0$), tendo-se, precedentemente à manobra, a vazão de regime máxima (62 m³/s.) e a máxima acumulação no Reservatório (cota 705).

Para objetivar o nível mínimo (685,83) foram consideradas as condições seguintes:

nível mínimo no Reservatório (cota 697,50);

vazão máxima turbinada: 38 m³/s;

por um súbito ligamento da rede elétrica, os grupos funcionando inicialmente com 20 $m^3/s.$, passam a turbinar 38 $m^3/s.$

4 — TUNEL DE ALTA PRESSÃO

a) — O tunel de alta pressão (DESENHO N.º IV-2/b) que une a chaminé de equilíbrio com a Usina hidroelétrica subterrânea de CARAGUATATUBA, pode ser imaginado como dividido em três trechos:

— o primeiro, de 1027,68 m de comprimento que, após um trecho curto (10 m), quase horizontal, desce com a declividade ($i = 0,839$) correspondente ao ângulo de 40°;

— o segundo; de 140,63 m de comprimento, tem a declividade longitudinal de apenas (0,0184);

— o terceiro, com 84,50 m de comprimento horizontal constitui o coletor, isto é, o dispositivo de derivação da água para as turbinas.

Os dois primeiros trechos têm o diâmetro interno de 3,10 m , a secção transversal representada no DESENHO N.º IV-2/b e foram calculados, como veremos oportunamente, levando em conta a colaboração da rocha.

O terceiro, entretanto, resulta subdividido em 5 partes tendo os diâmetros internos, respectivamente, de 2,90 m , 2,65 m , 2,40 m , 2,00 m e 1,60 m , de modo que o escoamento ocorra com velocidade constante, ao diminuir da vazão de montante para juzante, em virtude das derivações de água feitas para as turbinas. Para este trecho, não foi considerada a colaboração da rocha, enfraquecida pelas escavações correspondentes aos túneis oblíquos, ao túnel das válvulas e, finalmente, à grande caverna onde se localiza a Usina propriamente dita. As chapas de aço, de alta resistência, absorvem completamente os esforços produzidos pelas pressões internas e o anel de concreto tem apenas uma função de assentamento da tubulação na rocha, visando evitar outros esforços transversais (devidos, por exemplo, a eventuais reações de apoio) ou longitudinais.

Observamos que a declividade longitudinal do primeiro trecho foi escolhida atendendo ao critério de facilitar as operações de remoção dos materiais escavados e de transporte dos materiais para construção do revestimento. Para esse estudo foram ponderados, com a maior atenção, os valiosos elementos fornecidos pela SÃO PAULO LIGHT S.A. e relativos ao túnel forçado que alimenta a Usina de CUBATÃO, obra que apresenta sensíveis analogias com o túnel em tela, mesmo considerando as características geológicas e mineralógicas do sub-solo.

Finalmente, o comprimento do terceiro trecho, que define a posição da Usina subterrânea, foi fixado após algumas tentativas, visando obter a melhor solução, sob o ponto de vista econômico, levando em conta os onus correspondentes aos túneis de alta pressão, de fuga e de acesso.

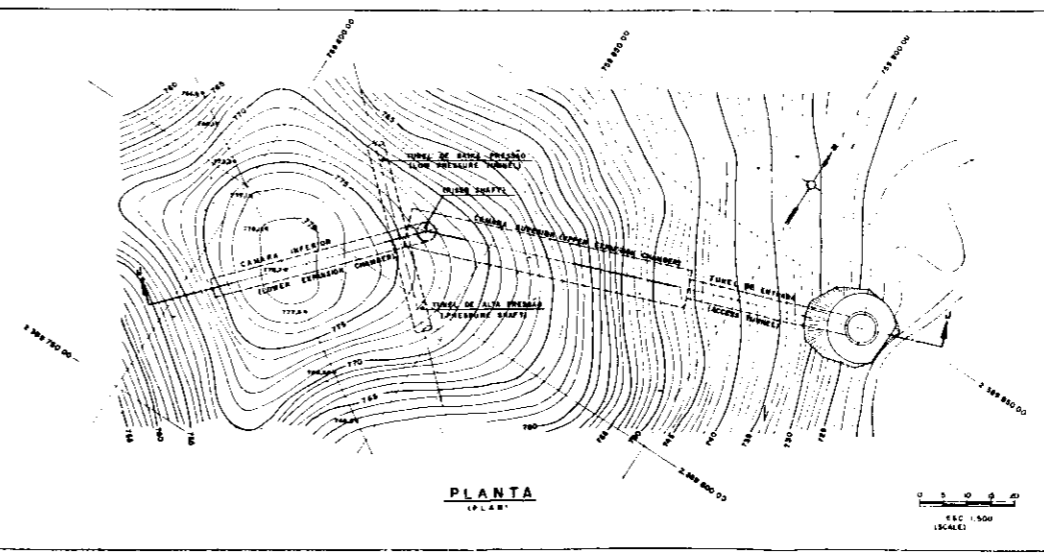
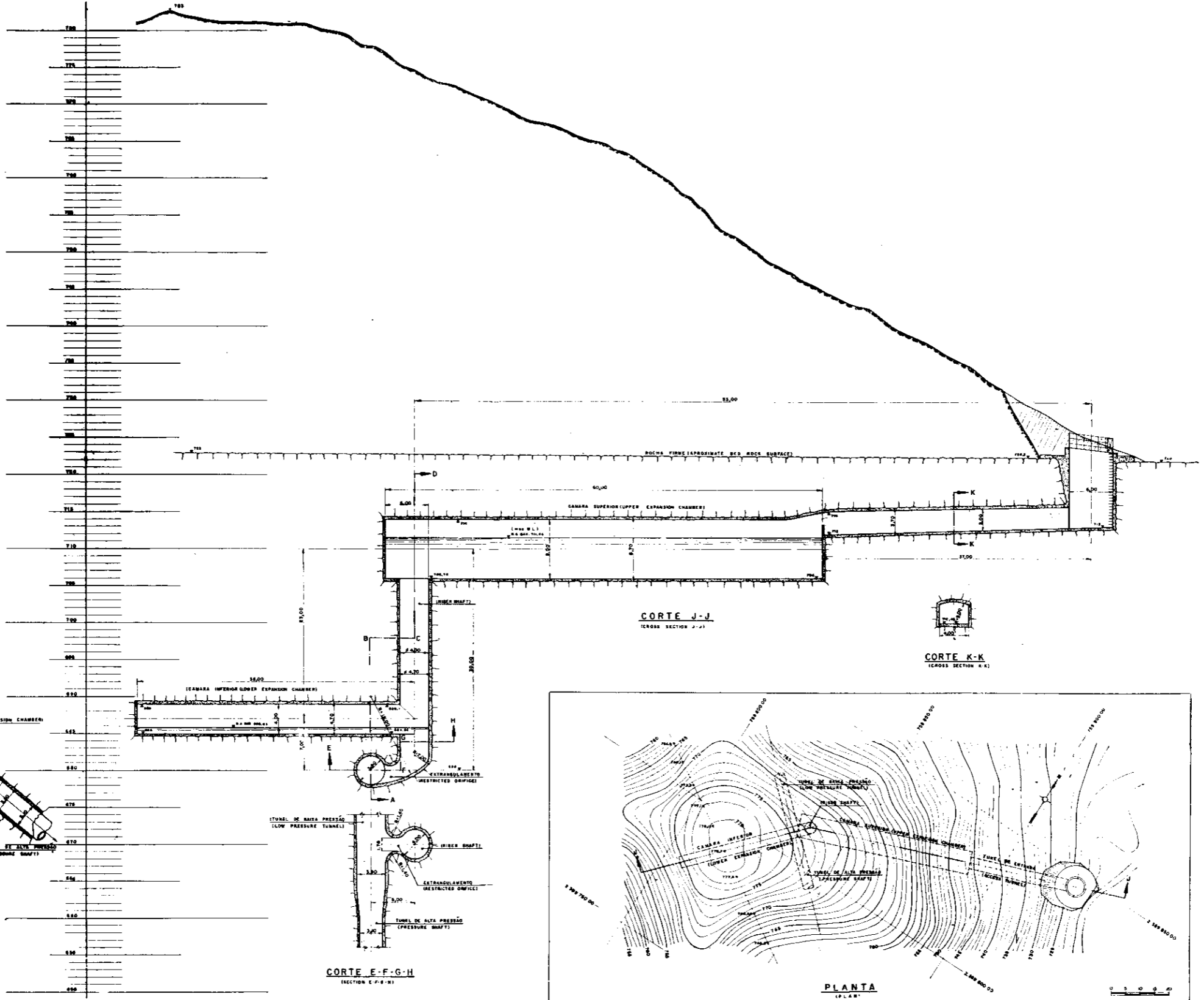
b) — O diâmetro mais conveniente foi calculado atendendo aos mesmos critérios expostos para o túnel de baixa pressão, levando em conta, porém, a variação da pressão ao longo do eixo longitudinal.

O processo de cálculo está desenvolvido no nosso **VOLUME II**.

Resultou um diâmetro de 2,94 m , que foi aumentado para 3,10 m , para entrar nos limites das velocidades admitidas. Com esse valor, temos:

$$\begin{array}{llll} \text{na 2.ª fase:} & V_M = 8,21 \text{ m/s} & \text{com} & I = 0,01858 \\ \text{na 1.ª fase:} & V_M = 7,15 \text{ m/s} & \text{com} & I = 0,0141 \end{array}$$

A máxima sobre-pressão de *golpe de Ariete* na extremidade de juzante, resulta igual a 9,316 kg/cm^2 , sendo fixada em 22" a duração da manobra de fechamento do conduto, em função da velocidade de deslocamento das agulhas dos injetores das turbinas PELTON.



PROJ. PARA O APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO PARAÍBA
 TANQUE DE EXPANSÃO
 SEÇÕES LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

SECRETARIA DA VIAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS		
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA		
ESTADO DE SÃO PAULO		
CONSULTORIA TÉCNICA		
APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO PARAÍBA		
TANQUE DE EXPANSÃO		
SEÇÕES LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS		
ENGENHEIRO	DES. BASES E DESENV.	PROF. ALFREDO ALMOND
ENGENHEIRO	DES. DESENV. E SUPR.	CONSTRUTOR TÉCNICO

c) — Para determinar as condições estáticas do túnel, aplicamos um moderno método de cálculo (OBERTI), amplamente desenvolvido no nosso **VOLUME II**.

Limitar-nos-emos apenas a indicar os princípios fundamentais, nos quais se baseia o interessante processo: considera-se a estrutura como constituída de anéis justapostos, cada um de material isótropo e homogêneo; no caso em tela (DESENHO N.º IV-2/b — Secção transversal), temos o revestimento interno de aço, o anél de concreto e o de rocha cuja espessura, quando muito grande, é considerada infinita.

Aplicam-se, a cada anél, as equações gerais dos esforços tangencial σ_t e radial σ_r , obtidos pelo método clássico da teoria da elasticidade, na hipótese de estado elástico plano e levando em conta, quer as pressões radiais *internas*, quer as *externas*, distribuídas segundo a lei hidrostática.

Determinam-se os esforços radiais, impondo-se a condição de que as deformações das superfícies de contato dos anéis contíguos ($i-1$) e (i), definidas pelo raio R_p , sejam as mesmas.

Introduzem-se as expressões dos σ_r nas equações gerais e calculam-se, em seguida, as tensões tangenciais σ_t , e os esforços ideais:

$$\sigma = \sigma_t - \frac{\sigma_r}{m}$$

Recordamos que m é o coeficiente de contração e que resulta ($\sigma_r < 0$), em virtude das convenções adotadas pelos sinais dos esforços, positivos quando de tração.

Utilizando as fórmulas dos esforços ideais, organizamos uma série de gráficos e Tabelas, pelos quais foi possível orientar a marcha de cálculo, da seguinte maneira:

Uma vez fixadas (vide DESENHO N.º IV-2/b):

as dimensões das secções transversais do túnel;

os valores dos módulos de elasticidade da rocha, para os sucessivos trechos em que foi dividido o comprimento total, de acôrdo com resultados de levantamentos geofísicos-geológicos e "tests" mecânicos;

sendo conhecidas as pressões hidráulicas máximas, a solução do problema consiste em "*procurar a espessura (e) da chapa de aço (revestimento interno) que mantenha os máximos esforços ideais, no concreto e na rocha, dentro de limites razoáveis.*"

No que diz respeito às chapas de aço, foram sempre escolhidas espessuras e_c da série comercial.

Ponderando os resultados obtidos, chegamos às seguintes conclusões:

α) as tensões nas chapas resultam muito baixas, não superando os 400 Kg/cm²;

β) as tensões na rocha atingem um máximo de 53,4 kg/cm² e são todas compatíveis com as taxas de trabalho obtidas pelos ensaios mecânicos efetuados sobre amostras;

γ) as tensões no concreto superam quase sempre as cargas de ruptura; esta eventualidade não constitui, porém, inconveniente, uma vez que a impermeabilidade é garantida pelo revestimento interno de aço.

Em relação à consideração γ , evidenciamos a necessidade de executar provas diretas, antes sobre *modelo reduzido* e, em seguida, *in loco*.

No *modelo reduzido*, a capacidade de compressão da rocha será realizada por um anél metálico, suficientemente rígido e verificar-se-á se, no estado em que se encontra pelas forças atuantes previstas, o concreto está em condições de funcionar como elemento de transmissão e solidariedade entre o revestimento interno (chapa) e a rocha, sem prejuízos para o primeiro.

O modelo permitirá determinar também o *estado limite* do concreto, para que as referidas condições sejam respeitadas e mantidas. Isso poderia acarretar uma redução das espessuras do revestimento de aço com a consequente redução do custo da obra.

As provas *in loco* serão realizadas em duas etapas.

Na primeira etapa, serão verificados os módulos de elasticidade da rocha, em galerias de pequenas dimensões e modestas profundidades, onde, porém, o *estado de coação elástica*, que ocorre nas maiores profundidades, não pode atingir valores importantes.

Na segunda etapa, as provas serão realizadas durante a construção da obra, no mesmo túnel.

Finalmente, como já foi previsto para o revestimento do túnel de baixa pressão, a solidariedade do anél de concreto com a rocha será garantida por injeções de argamassa com elevado teor de cimento. Se for preciso, serão realizadas obras de drenagem das águas externas, percolantes nas rochas.

G) USINA SUBTERRÂNEA DE CARAGUATATUBA

1 — Generalidades

a) A Usina Subterrânea de CARAGUATATUBA (DESENHO N.º V-4), ocupa o espaço de 20 m de largura, 100,20 m de comprimento e 54 m de altura, contada a partir da cota 23 m.s.n.m., com cobertura em abóboda rebaixada.

A estrutura pode ser dividida em 3 pavimentos principais:

O *primeiro* é destinado aos serviços auxiliares das turbinas, com piso na cota (25) e às bombas para o resfriamento dos transformadores e refrigeradores do óleo, com piso na cota (23,70).

O plano horizontal axial dos rotores das máquinas passa pela cota (23).

No *segundo*, situam-se respectivamente: os cubículos com a aparelhagem dos neutros e da excitação e as galerias dos cabos de força e de controle (cota do piso: 28,40); os depósitos e serviços vários (cota do piso 28,90); os planos de apoio dos geradores (cota do piso: 29,20).

O *terceiro* pavimento com piso na cota (33,70), compreende a grande sala com os quadros dos grupos, ladeada pelas cabines dos transformadores e termina no pátio de manobra, no qual desemboca o túnel de acesso.

A parede das cabines prolonga-se para a abóboda, formando uma galeria (com piso na cota 41,20) onde passam os condutos de ar frio e quente e termina com a viga de sustentação da ponte rolante, suportada por pilares e cujo plano de rolamento está na cota (46,70).

Os revestimentos perimetrais são previstos em concreto, simples ou armado; a impermeabilidade será garantida por dispositivos de drenagem e rebocos internos, adequados às condições que se apresentarem no ato da construção das obras.

b) Quanto ao dispositivo do *coletor*, com as derivações para as turbinas, observamos o seguinte:

A galeria das válvulas, com teto abobodado e piso na cota (21,40) é paralela ao eixo longitudinal da Usina, tem a largura de 4,50 m, o comprimento de 100 m, altura de 11 m e comunica com o túnel de acesso.

Derivam-se, da referida galeria, seis galerias menores com piso na cota (20,30) desembocando nas câmaras de descarga das turbinas e que têm as dimensões de 4,50 x 18,20 x 1,50 m e o fundo na cota (17).

As vazões turbinadas transpõem um vertedor de parede intermediária, com soleira na cota (19,20).

c) As duas pontes rolantes que operam, respectivamente, na Usina e na galeria das válvulas, terão movimentos: vertical, transversal e longitudinal e serão acionadas por motores elétricos de 220 V e 60 ciclos por segundo.

2 — A potência será devida em 5 unidades, sendo a 6.^a de reserva.

As turbinas serão do tipo PELTON, de eixo vertical, com 4 injetores, tendo cada unidade as seguintes características:

max. queda bruta	=	680 m
max. vazão	=	12,4 m ³ /s
η_t	=	0,9
n	=	450 r.p.m.
n_s	=	31,5 r.p.m.
c_1	=	108,2 m/s
u	=	52,5 m/s
diâmetro tangencial da roda	D_t =	2,23 m
diâmetro externo	D =	2,83 m
diâmetro do orifício do injetor	d =	0,185 m
dimensões das conchas	=	66,6 x 50,3 x 25,9 cm

A inércia das massas girantes foi calculada levando em conta a sôbre-presão de golpe de ariete (MARCHETTI) e admitindo-se que a velocidade de disparo supere de 40% a de regime. Para cada unidade, obtivemos:

$$G D^2 = 432 t/m^2$$

valor bem razoável.

No Relatório do projeto, foram fixadas as normas para a construção das turbinas, referentes a: materiais, dispositivos de freiagem hidráulica, mancais, placas protetoras das câmaras de descargas, espiral dos injetores, acessórios, reguladores, aparelhos de controle e medida, válvulas, dispositivo distribuidor com as 6 derivações, quadro de controle hidráulico, etc.

3) EQUIPAMENTO ELÉTRICO.

a) Foram projetados em detalhe: o diagrama geral unifilar; a subestação (220 kV) ao tempo; a subestação interna de serviço; o setor dos painéis.

Nos desenhos da Usina, entretanto, foram localizadas, em forma esquemática, as partes mais importantes e evidentes do equipamento.

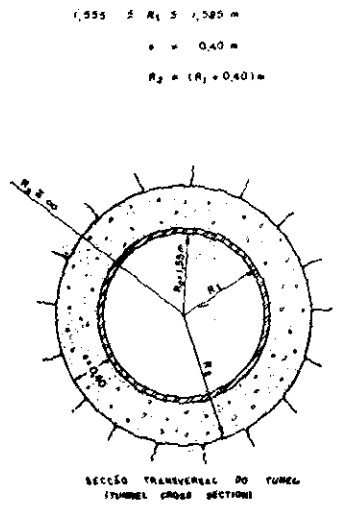
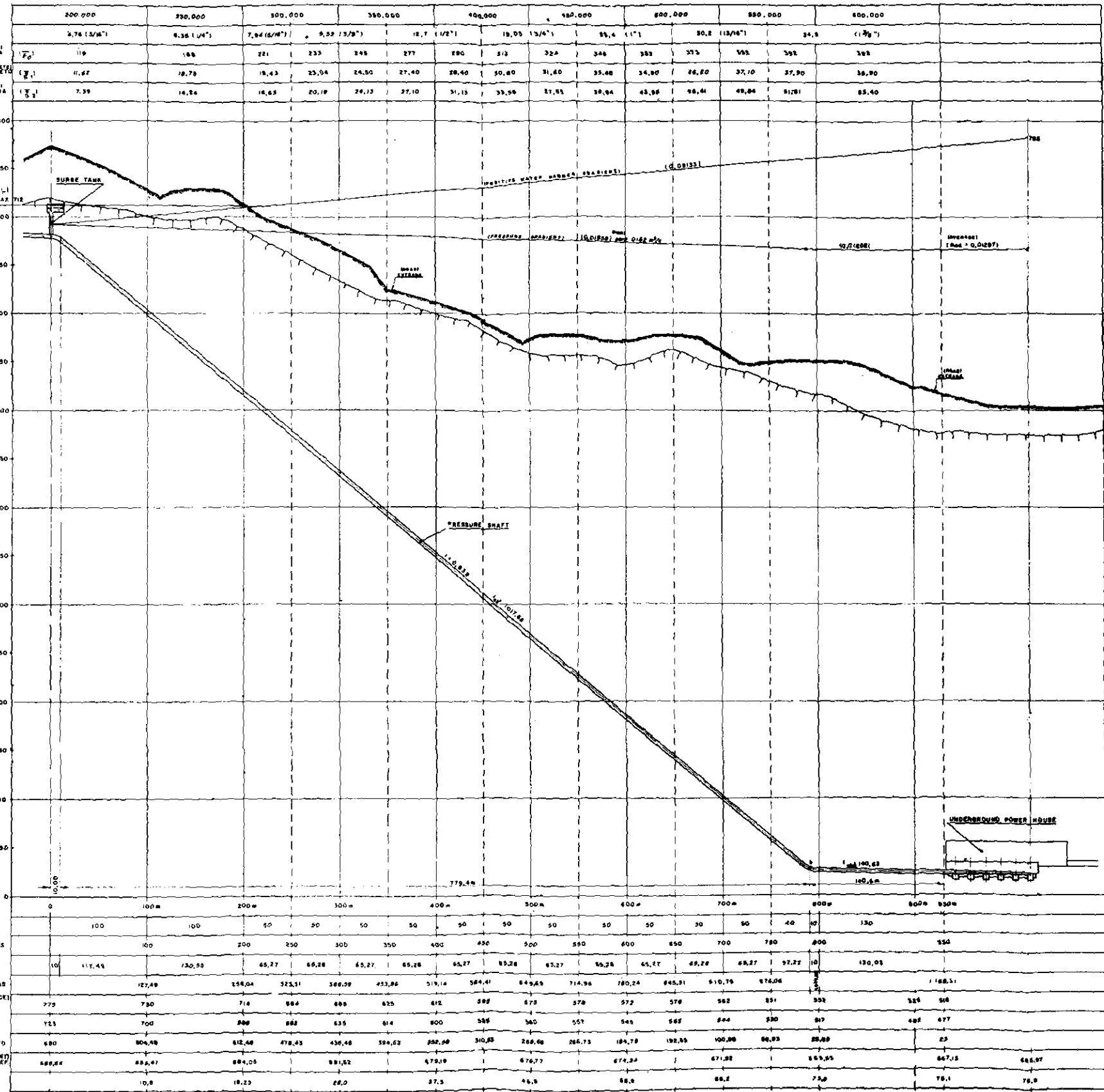
Limitar-nos-emos a referir o diagrama unifilar (DESENHO N.º IX/2).

b) A central será equipada com 6 grupos turbina-gerador, trifásicos, iguais, cada um com: potência de 77,5 MVA e 80°C de aumento de temperatura; a frequência de 60 Hz.

A potência aparente dos geradores foi fixada na base de uma potência máxima utilizável da turbina de 70.860 kW, um rendimento do gerador da ordem de 98% e uma potência ativa de 69.800 kW.

Os geradores estão ligados em bloco com os respectivos transformadores, que elevam a tensão de produção para 220 kV e cujos secundários se ligam às barras de tensão nominal de 220 kV, situadas na subestação externa.

MODULO DE ELASTICIDADE DA ROCHA (Kg/cm²)
 (MODULUS OF ELASTICITY OF THE ROCK)
 ESPESURAS DAS CHAPAS (cm) (THICKNESS OF STEEL SHEETS)
 MÁXIMA SOLICITAÇÃO IDEAL (Kg/cm²) (MAXIMAL IDEAL STRESS ON THE INTRADOS OF THE RINGS AND LOWER EXTREMITY OF EVERY INTERVAL)



ESCALA 1:2000
 0 20 40 60 80 100
 (HORIZONTAL LENGTHS) DISTÂNCIAS HORIZONTAIS
 (SHAFTEFFECTIVE LENGTHS) COMPRIMENTOS EFETIVOS DO CONDUTO

SECRETARIA DA VIGIÂNCIA E OBRAS PÚBLICAS
 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
 ESTADO DE SÃO PAULO
 CONSULTORIA TÉCNICA
 APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO PARANAÍBA
 TUNEL DE ALTA PRESSÃO
 CORTE LONGITUDINAL

ENGENHEIRO DES. NIVALDO NUNES PROF. ALFREDO BONDARI
 COF. RESPONSÁVEL TÉCNICO CONSULTOR TÉCNICO

A ligação transformador-subestação, será feita por cabos em galerias.

Na subestação serão montados 2 grupos de barras, sendo um auxiliar, ligando-se as unidades a ambos. Destas barras sairá uma linha tronco de transmissão com 220 kV.

A sincronização dos grupos para o funcionamento em paralelo, é feita no barramento de 220 kV estabelecendo-se o jôgo de bloqueios convenientes para impedir o paralelo, através das tomadas (de 13,8 kV) dos serviços auxiliares, nos terminais dos geradores.

No circuito principal, figura a aparelhagem de manobra: *seccionadores, disjuntores e separadores de barras*, bem como os *transformadores de corrente* e de *tensão*, necessários à proteção, medição e sinalização.

Junto às caixas terminais dos cabos, será colocado um jôgo de para-raios.

Outro jôgo de para-raios será colocado na saída da linha.

Dos barramentos que ligam os geradores N.º 1, 3 e 5 aos respectivos transformadores, saem derivações em tensão de geração para os serviços auxiliares e a distribuição local. Devem-se prever, para os serviços auxiliares 2 transformadores trifásicos iguais de 750 kVA 13800/380/220 e 60 Hz.

c) Os transformadores elevadores serão trifásicos com buchas normais na BT e terminais de cabos 220 kV do lado AT.

Os cabos de 220 kV, com isolamento em óleo e revestimento flexível, correrão ao longo da galeria de acesso dos transformadores e, saindo da sala de máquinas, ao longo do tunel de acesso.

d) **SUBESTAÇÃO PRINCIPAL** — A subestação principal será localizada junto à entrada do túnel de acesso numa plataforma de 45 m, por 65 m. Ela conterà um jôgo de barras auxiliares ligada somente com seccionadores. Um disjuntor de paralelo ligará as duas barras.

Os disjuntores serão do tipo de pequeno volume de óleo, ruptura múltipla, 220 kV, e 7500 MVA de poder de ruptura; comando a distância, manobra manual local.

As chaves seccionadoras serão do tipo pantógrafo ou semi-pantógrafo, com 220 kV-1200 A: comando hidráulico a distância e local.

O Relatório do projeto contém tôdas as normas de praxes, para o equipamento elétrico.

A linha de transmissão, de 220 kV, ligará a Usina de CARAGUATATUBA com o sistema LIGHT, em CUBATÃO.

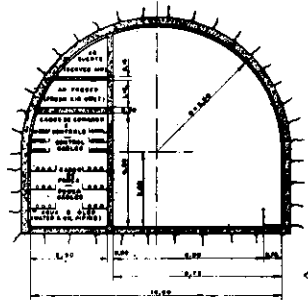
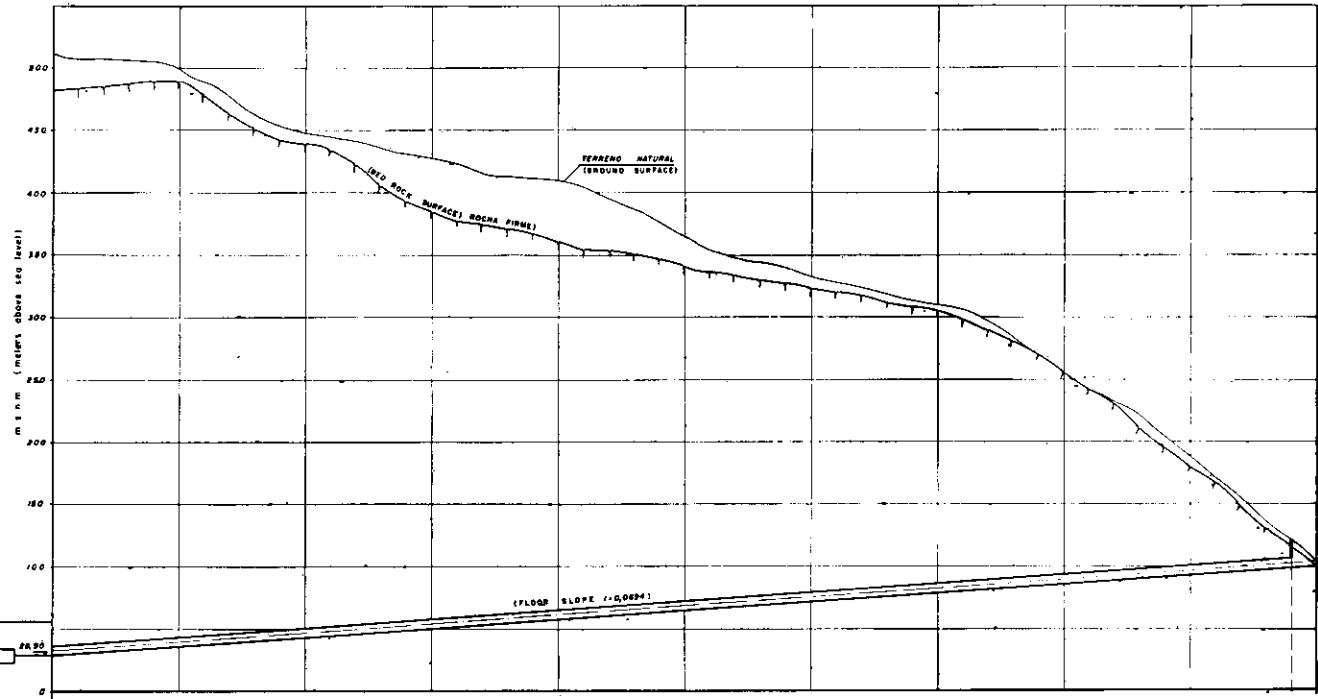
4) TUNEL DE ACESSO À USINA SUBTERRÂNEA — (DESENHO IV-4/d).

Terá a secção de um retângulo encimado por um semi-círculo, de largura de 10 m, altura de 8 m e comprimento de 980 m. Sua declividade longitudinal foi fixada em 6,94%, de modo o permitir o trânsito dos meios de transporte necessários a veicular os transformadores, geradores, turbinas, outras partes da aparelhagem eletro-mecânica, os materiais de construção, etc.

Permitirá também a passagem de pedestres, tornando possível a evacuação da Usina, em caso de emergência, mesmo sem recorrer a caminhões ou carros; requisito êste que garante a completa segurança do pessoal de serviço, em vista da profundidade em que se situa a Usina subterrânea.

No túnel, estarão localizados: os cabos especiais de alta tensão, com isolamento em óleo e proteção em material flexível de borracha; os condutos de ar quente e frio para o arejamento da Usina; uma instalação local de iluminação; aparelhos anti-incêndios, etc.

O túnel desemboca em um grande pátio, à margem da rodovia SÃO JOSÉ DOS CAMPOS — CARAGUATATUBA, onde serão situados armazéns, almoxari-



SEÇÃO TRANSVERSAL
(CROSS SECTION)
ESCALA: 1:100
(SCALE)



(ESCALA) VERT: 1:2000
ESCALAS
HOR: 1:2000
(HIGH PARAIBA HYDROELECTRIC DEVELOPMENT)
(CARAGUATUBA UNDERGROUND PLANT ACCESS TUNNEL)

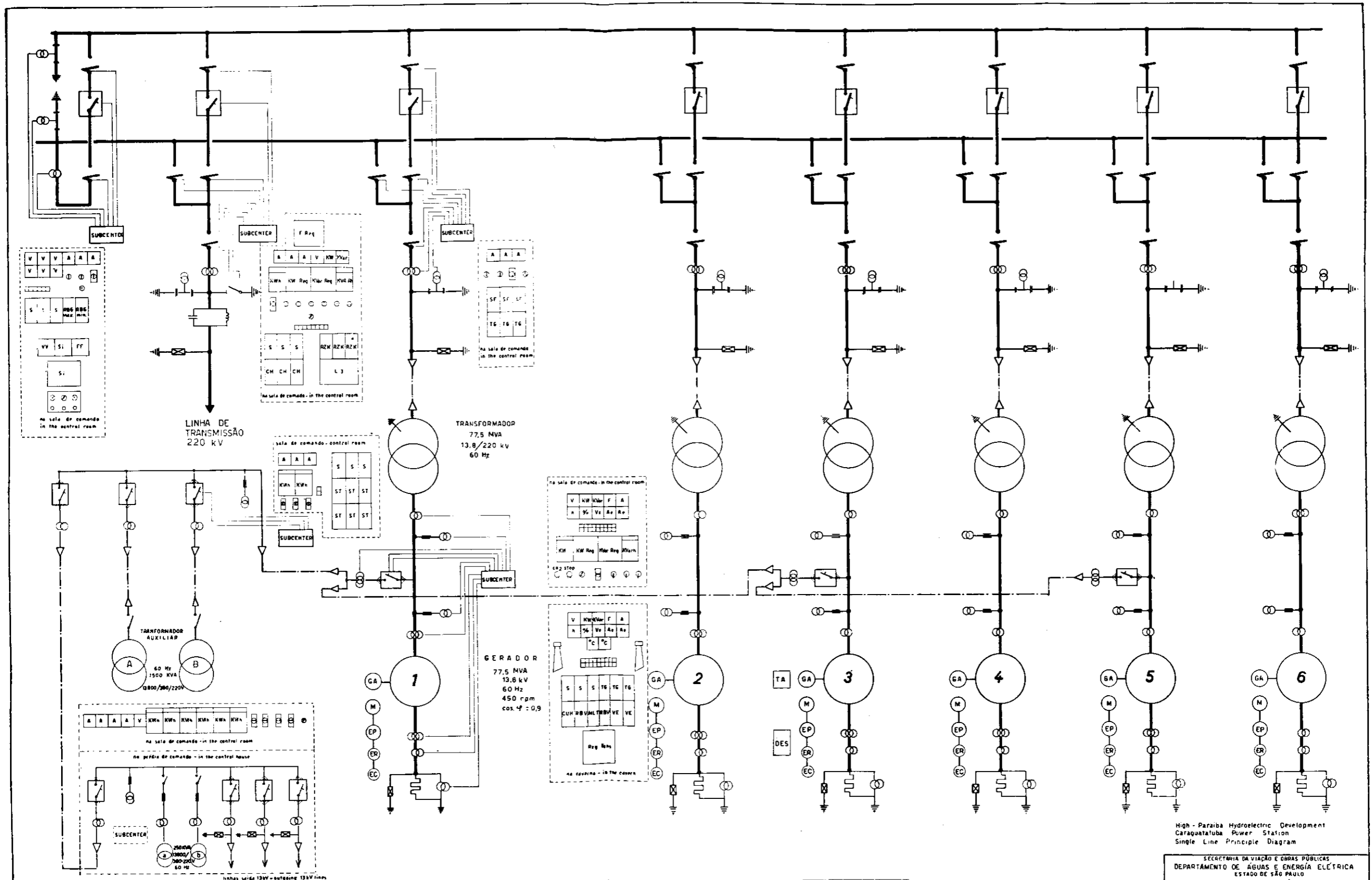
(KILOMETERS)	1 Km	2 Km	3 Km	4 Km	5 Km	6 Km	7 Km	8 Km	9 Km	10 Km
XILOMETROS HECTOMETROS										
DISTANCIAS PROGRESSIVAS (m. m.)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
el TERRENO	300	479	440	410	384	332	210	200	100	100
el ROCHA SA (ELEVAÇÕES)	430	440	384	300	340	327	307	280	190	100
el FUNDO DO TUNEL	38,00	42,72	40,72	38,00	32,00	20,00	27,00	24,00	11,00	22,00

el-UNDERGROUND SURFACE
el-ROCK SURFACE
el-TUNNEL FLOOR

SECRETARIA DA VISÃO E OBRAS PUBLICAS
DEPARTAMENTO DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA
ESTADO DE SÃO PAULO
CONSULTORIA TECNICA
APROVEITAMENTO HIDROELETRICO DO ALTO
PARAIBA
TUNEL DE ACESSO
DA
USINA DE CARAGUATUBA

DESENHO Nº 02-44
(CONTINUA Nº 01-41)

ENGENHEIRO: DRB Wilson R. de Mello
PROF ALFREDO SANDRI
CONSULTORIA TECNICA

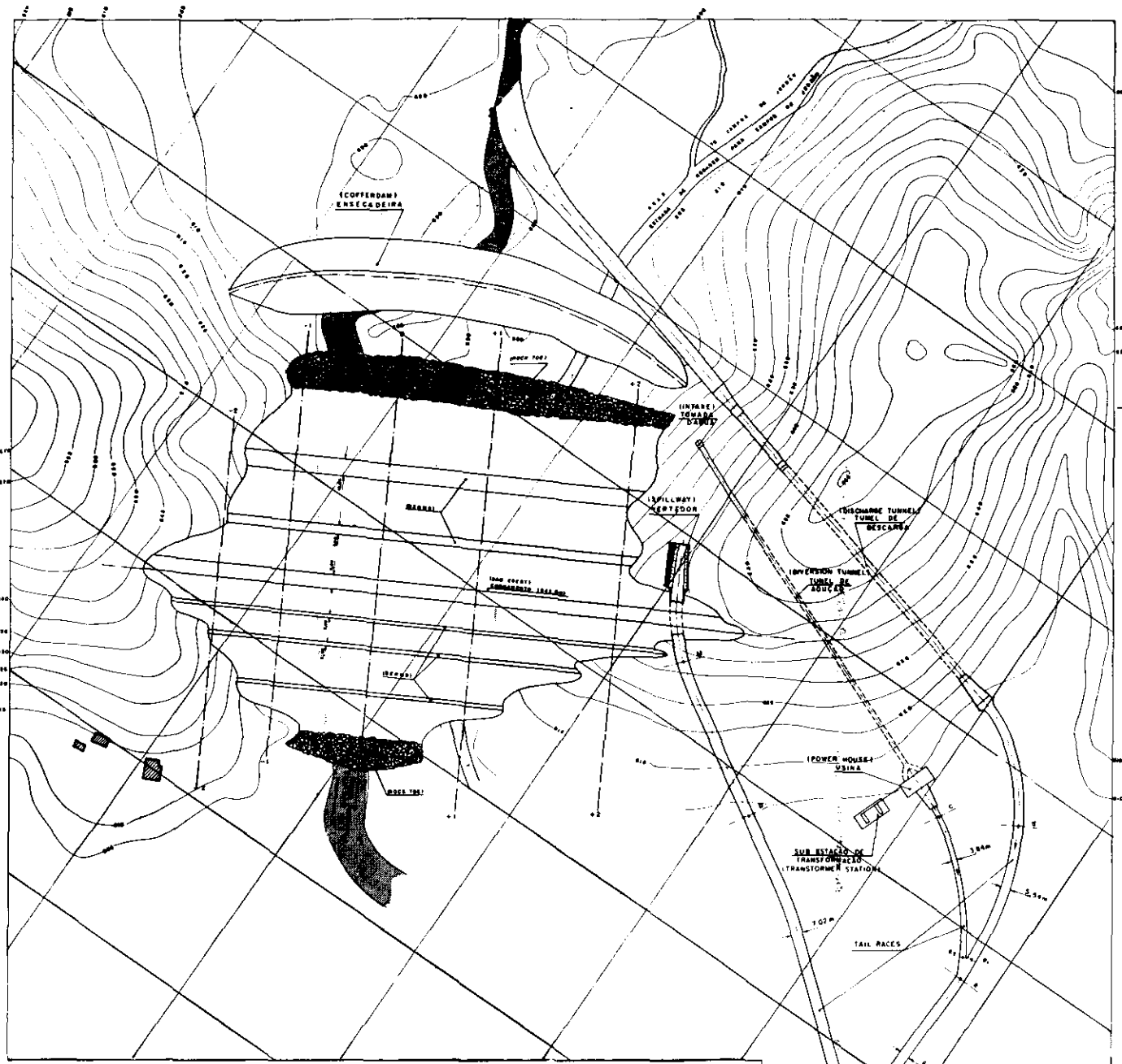


High-Paraíba Hydroelectric Development
 Caraquatuba Power Station
 Single Line Principle Diagram

SECRETARIA DA VIAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS
 DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
 ESTADO DE SÃO PAULO
 CONSULTORIA TÉCNICA
 APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALTO
 PARAÍBA
 DIAGRAMA UNIFILAR
 ESCRITÓRIO TÉCNICO "CF" LTDA.
 RUBENS D'FUCHS - ENG. ELETRICISTA
 PROC. ALFREDO BANDINI
 CONSULTOR TÉCNICO

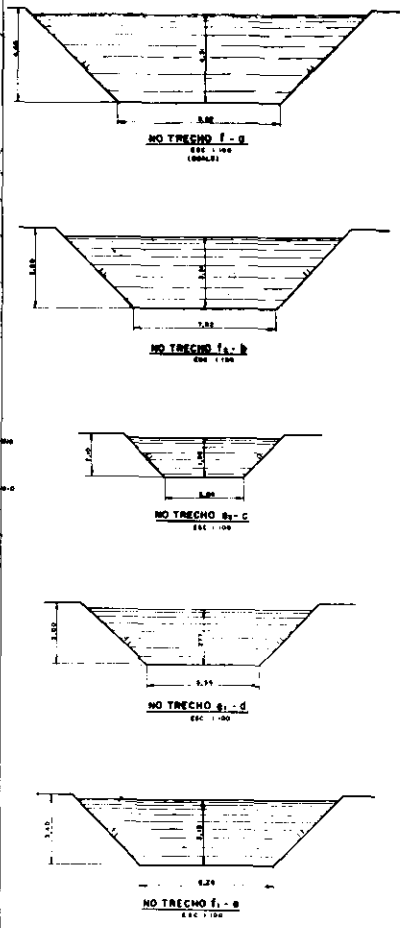
Simbolo	Aparelho Device	Simbolo	Aparelho Device	Simbolo	Aparelho Device	Instrumentos Indicadores Dial Instruments	Registradores Registering devices	Relés Relays	Gerador Alternator
	Transformador de corrente Current transformer		Para-raio Lightning arrester		Fusível média tensão Middle voltage fuse	A Amperímetro Voltmeter	KW Reg. Wattmeter registerer Registering wattmeter	S Corrente máxima Overcurrent	GA Gerador auxiliar Auxiliary alternator
	Transformador de tensão Voltage transformer		Disjuntor Circuit breaker		Trans. capacitivo de tensão Capacitive voltage transf.	MM Ohmímetro Milliammeter	KWh Reg. Variator registerer Registering meter	TG Proteção diferencial Differential	M Motor síncrono Synchronous motor
	Resistência Resistor		Disjuntor extraível Extractable circuit breaker		Seccionador pantógrafo Pantograph isolating switch	W Voltímetro Voltmeter	F Reg. Frequencimetro regisr. Registering frequencymeter	CM Proteção entre eixos. Phol. betw. shafts	EP Excitador principal Principal exciter
						Wm Quietômetro Kilowattmeter	KVh medidor KVh KVarh medidor KVarh	RMV Terra rotar Earth rotator	ER Excitador de choque Impulse exciter
						F Freqüencímetro Cyclometer	S Sincronoscopia auto. Auto. Synchronoscopia	MLT Temperatura Temperature	EC Excitador de choque Impulse exciter
						h Med. de velocidade S.p.m. S.p.m.		VE Terra excitação Earth excitation	TA Regulador auxiliar Auxiliary regulator
						K Aborifera turina Turbine speed		RZK Relógio de direção Rapid reclosing	DES Desexcitação rápida Fast deexcitation
						VV Voltímetro duplo Double voltmeter		L3	
						FF Frequenc. duplo Double cyclometer	ST Relé termico Thermal relay		

DESENHO 12-2 (DRAWING 12-2)



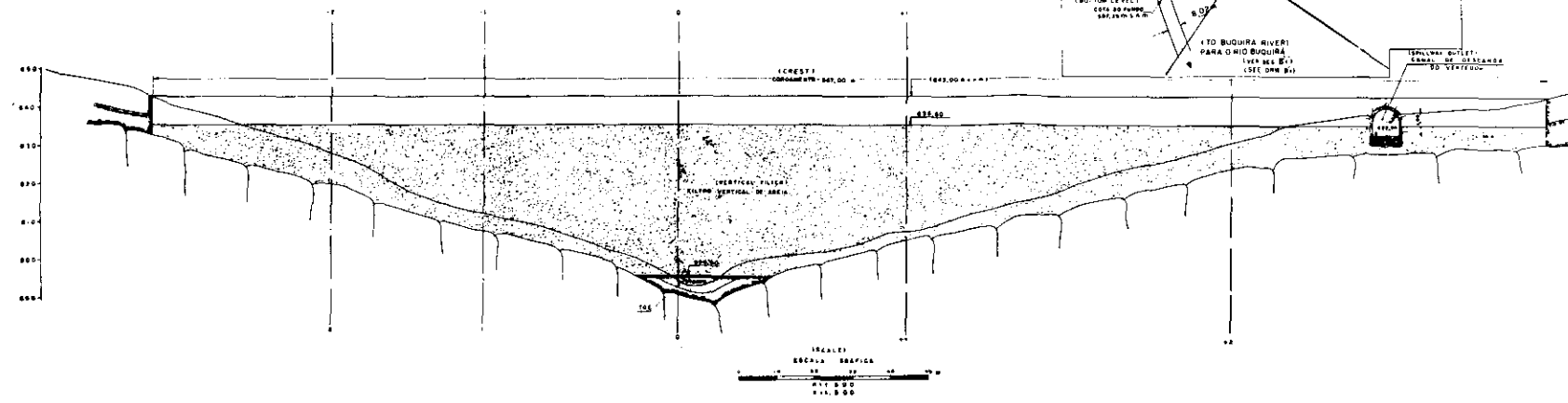
SECCOES TRANSVERSAIS
(CROSS SECTIONS)

(TRECHO = INTERVAL)



(SCALE)
ESCALA GRAFICA
1:1000

POINTS (PONTOS)	DISTANCES
B - F	740.00M
F - C	100.00M
C - B	140.00M
F - B	110.00M
F - D	170.00M



(SCALE)
ESCALA GRAFICA
1:1000

BUQUIRA RIVER HYDROELECTRIC DEVELOPMENT
GENERAL PLANT
DAM SECTION

SECRETARIA DA SAUDE E OBRAS PUBLICAS	
DEPARTAMENTO DE RECURSOS E ENERGIA ELCTRICA	
APROVIMENTO HANDEL ESTUDO DO ALTO PARANA	
PARANAPU - SEINA NO RIO BUQUIRA	
PLANTINGIA GERAL E SECCOES	
CORTE LONGITUDINAL EM CORRESPONDENCIA DO PACTO DE AREA	
PROJ. ARQUIT. GEN. E LIV. SERRAS 2001	PROJ. ALPHEON 2001
PROJ. SERRAS 2001	PROJ. SERRAS 2001
PROJ. SERRAS 2001	PROJ. SERRAS 2001
PROJ. SERRAS 2001	PROJ. SERRAS 2001

fados, serviços vários, prédios para habitações, escritórios, hospedagem, etc., cujos detalhes serão estudados no ato da execução das obras.

Nas proximidades do páteo, está prevista, por sinal, a plataforma da subestação ao tempo.

H) CANALIZAÇÕES DE DESCARGA

1 — TUNEL DE FUGA.

a) O tunel de fuga, com escoamento em superfície livre, consta de dois trechos:

— o primeiro com 6 m de largura, 9,10 m de altura, 96 m de comprimento e declividade de fundo ($i = 0,0016$), constitui o coletor das câmaras de descarga das turbinas;

— o segundo, que é o túnel propriamente dito, tem comprimento de (1,802 m), declividade longitudinal ($i = 0,0016$) e secção transversal em *ferradura* com as seguintes características hidráulicas:

$$h = 4,70 \text{ m}$$

$$x = 4,00 \text{ m}$$

$$z = 0,85$$

$$R_z = 0,3481$$

$$Q = 62 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 3,65 \text{ m/s}$$

b) O túnel atravessa uma camada de rocha firme e, portanto, seu revestimento foi previsto em concreto simples, com reboco adequado, para evitar qualquer erosão, quando da máxima velocidade de 3,65 m/seg.

Eventuais estruturas de reforço que se tornarem necessárias em alguns trechos, em virtude de ações externas, somente poderão ser estudadas no ato da execução, assim como eventuais dispositivos de drenagem das águas de percolação, nos litoclásios da rocha.

2 — CANAL DE DESCARGA.

a) O canal de descarga veicula para o mar as vazões do túnel de fuga e as contribuições da bacia hidrográfica do rio SANTO ANTONIO, avaliadas em, aproximadamente, 15 m³/s.

Com efeito, o rio SANTO ANTONIO será desviado e confluirá no trecho inicial (progressiva 50 m) do canal que substituirá, portanto, o álveo atual do rio a juzante do referido desvio.

Serão, assim, evitadas as inundações da várzea durante as enchentes; problema este que há muitos anos aguardava uma solução, através de providências adequadas do Poder Público Estadual.

b) O canal terá secção trapezoidal, com declividade de taludes (1:1) e, para evitar os revestimentos de proteção, pelo menos nos trechos retilíneos, fixamos como velocidade máxima de escoamento 1,54 m/s; teremos, pois, para a máxima vazão de 77 m³/s, a secção molhada de 50 m².

Em virtude da configuração do terreno, ao longo do eixo longitudinal do canal, foi necessário subdividir o canal em 3 trechos, atribuindo a cada um, o valor z mais conveniente. Tirados, então, de nossas Tabelas os valores R_z , correspondentes, determinamos as declividades dos três trechos, a saber: 0,53‰, 0,45‰, 0,79‰.

Em vista da excessiva declividade longitudinal do terreno, em relação à do canal, foram localizados 4 ressaltos de fundo, totalizando uma altura global de 6,60 m.

O canal será adequadamente protegido por revestimento de concreto ou pedras, à montante e à jusante de cada degrau.

I) ESTIMATIVA DE CUSTO

1) A estimativa de custo do aproveitamento hidroelétrico do PARAIBUNA SUPERIOR (PARAITINGA-PARAIBUNA), de acôrdo com os preços vigorantes em maio do c. a. é a seguinte (os montantes são redondeados para mais):

Obras civis	Cr\$ 9.400.000.000
Equipamento eletromecânico das Usinas de: PARAITINGA, PARAIBUNA, CARAGUATATUBA — (US\$ 10.500.000 a Cr\$ 500 por dolar)	Cr\$ 5.050.000.000
TOTAL	Cr\$ 14.450.000.000

2) Ainda não foi organizado, por motivos óbvios, um programa econômico-financeiro definitivo, visando a realização das obras, dependendo este programa: da modalidade de investimento dos capitais em função da procedência; dos períodos e taxas de amortização, em função dos progressivos aumentos dos capitais; do reemprego dos lucros, etc.

Mas, independente disto, para classificar o aproveitamento sob o ponto de vista da conveniência econômica, basta relacionar o montante acima referido, com a potência global (477.100 kW) instalada nas usinas de: CARAGUATATUBA, PARAIBUNA e PARAITINGA:

$$\frac{14.45 \times 10^9}{4,77 \times 10^5} = 30.300 \text{ Cr/KW instalado}$$

Contudo, mesmo prescindindo da contribuição que o Res. de PARAIBUNA dará para S. BRANCA, não podemos deixar de observar que, o Reservatório de PARAITINGA, para o qual entra um módulo natural de 25 m³/s, deriva, para CARAGUATATUBA, apenas um módulo de:

$$0,825 \times 5 = 4,125 \text{ m}^3/\text{s} = 16,5\% \text{ de } 25$$

ficando os restantes 20,875 m³/s à disposição da bacia do rio PARAIBA, à jusante.

Parece portanto lógico atribuir, ao alto PARAIBA, apenas 20% do custo da barragem de PARAITINGA, avaliada em Cr\$ 1.700.000.000.

O montante total baixaria então para Cr\$ 13.000.000.000 e o custo do kW instalado, para Cr\$ 27.200.

Com o mesmo critério simplificador, supondo-se, com prudência, um fator de carga anual de (0,5) e um período de amortização de 20 anos, o custo das instalações afetaria o custo da produção à razão de 6 centavos por KWh.

Sem comentários — Sublinhando 2 vezes.

J) E agora, para terminar, queremos oferecer uma rápida síntese dos projetos das Barragens — Usinas de JAGUARI e BUQUIRA.

1) BARRAGEM — USINA DE JAGUARI

(Projeto elaborado pelo ESCRITÓRIO TÉCNICO OMF) já aprovado pela DIVISÃO DE ÁGUAS em dez. de 1959.

Barragem — fundada sobre rocha de boa qualidade do tipo *em atêrro* com filtro horizontal e vertical.

Altura máxima	68 m.
Comp. no coroamento	380 m.
Atêrro principal	2.000.000 m ³

Vertedor: com a capacidade de 400 m³/seg.

Na Usina: 2 grupos geradores, de eixo vertical. Turbinas FRANCIS — Potência de cada grupo: 22.500 kVA.

ESTIMATIVA DE CUSTO: Cr\$ 2.000.000.000, as obras civis

Cr\$ 500.000.000, o equipamento eletro-mecânico com US\$=500 cruzeiros.

2) BARRAGEM — USINA DE BUQUIRA (DESENHO B-2a)

BARRAGEM PRINCIPAL — fundada sobre rocha de boa qualidade, do tipo *em atêrro* com filtros, vertical e horizontal.

altura máxima	47 m
comp. no coroamento	367 m
atêrro principal (inclusive as barragens secundárias)	1.100.000 m ³

BARRAGENS SECUNDÁRIAS: 2 na zona direita; 5 na zona esquerda. Em atêrro com filtros.

VERTEDOR, do tipo lateral, livre, com capacidade de escoar — 178 m³/seg (enchente crítica de 1000 anos).

DESCARREGADOR DE FUNDO, tunel em "ferradura", com capacidade de 80 m³/s, funcionando com superfície livre ($z = 0,9$). Durante a construção funcionará como canal de desvio.

TUNEL DE ADUÇÃO, com secção circular. Características:

$$\begin{aligned}n &= 0,014 \\I &= 0,00467 \\Q &= 28 \text{ m}^3/\text{s} \\V &= 3,96 \text{ m/s}\end{aligned}$$

USINA HIDROELÉTRICA — Com dois grupos geradores. Turbinas FRANCIS, rápidas, funcionando cada uma a plena carga com 14 m³/s e 40 m de queda bruta. Fator de carga anual (0,5).

GERADORES SÍNCRONOS e TRANSFORMADORES, trifásicos com potência nominal de 5900 kVA. Tensão no primário 6000 V. Frequência 60 ciclos/seg.

Os desenhos evidenciam, com suficiente clareza, o dispositivo dos canais de descarga.

ESTIMATIVA DE CUSTO:

OBRAS CIVIS	Cr\$ 1.600.000.000
EQUIPAMENTO ELETRO-MECÂNICO	Cr\$ 125.000.000
com US\$ = Cr\$ 500.	

L) MONTANTE TOTAL DOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS:
ALTO PARAIBA — JAGUARI — BUQUIRA.

Obras Civis	Cr\$ 13.000.000.000
Equipamento Eletro-mecânico	Cr\$ 5.875.000.000
Total	Cr\$ 18.875.000.000
	(US\$ = \$500)

Acabo, assim, com minha exposição muito sucinta, esquemática e, necessariamente, incompleta, considerando o tempo disponível, em relação à amplitude do problema que ocupou uma parte não indiferente da nossa atividade, durante os últimos 10 anos.

Desejo mencionar os nomes daqueles que, em épocas diferentes, prestaram valiosa cooperação. *Engenheiros*: H. Yamamoto, J. de Mesquita, A. Paes, G. Alvares Neto, Calil Arbix, J. Espinosa, Waldyr de Moraes, Lais Soares Orsini, Tobias Gross, Rubens D. Fuchs. *Desenhistas*: Srs. M. de Mello, Dulcídio Ribeiro, Benedito Soares. *Funcionários*: Dna. Mercedes P. Guimarães, Dna. Dirce de Paula Nascimento, Sr. Hermes B. de Moraes.

Senhores!

Nós, os técnicos, cumprimos com nossos compromissos. Aguardamos as providências dos Poderes Governamentais, para que as obras projetadas se tornem uma realidade, com benefício indiscutível para a economia de S. Paulo e do Brasil.

Muito obrigado.