



**Comitê Brasileiro de  
Grandes Barragens**

***XVI SEMINÁRIO  
NACIONAL DE  
GRANDES  
BARRAGENS***

Concreto Rolado - Uma Opção para a Futura U.H. Barra Grande

***ANAIS***

***Belo Horizonte, novembro de 1985***

XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS  
BELO HORIZONTE  
NOVEMBRO 1985

CONCRETO ROLADO, UMA OPÇÃO PARA A FUTURA U.H. BARRA GRANDE

TEMA I

ENGº JOAQUIM C.DA CUNHA-ELETROSUL  
ENGº RAUL MARIO PEDRONI -THEMAG  
ENGº FRANCISCO R.ANDRIOLO-THEMAG  
ENGº SELMO C. KUPERMAN -THEMAG  
ENGº JOÃO C. DAL FABBRO -THEMAG

# Í N D I C E

- 1 INTRODUÇÃO
  
- 2 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS E HIDROLÓGICOS
  - 2.1 Geologia/Geotecnia
  - 2.2 Hidro-Meteorologia
  
- 3 ARRANJO GERAL - ALTERNATIVAS ESTUDADAS
  - 3.1 Características Comuns
  - 3.2 Alternativa I - Barragem de Enrocamento com Face de Concreto (EFC)
  - 3.3 Alternativa II - Barragem de Concreto Gravidade - Executada pelo Método do Concreto Rolado (CR)
  
- 4 CRONOGRAMAS
  
- 5 CUSTOS
  - 5.1 Composição
  - 5.2 Custos das Alternativas
  - 5.3 Comparação entre Soluções de Barragem de Enrocamento e Concreto Gravidade
  
- 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7 AGRADecIMENTOS

8 REFERÊNCIAS

## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos de inventário que incluem a Usina Hidrelétrica Barra Grande foram realizados pela ELETROSUL no período de 1977 a 1979 e encontram-se consubstanciados no relatório "Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai - Estudo de Inventário Hidroenergético", outubro de 1979.

Com a inclusão dos aproveitamentos da bacia do rio Uruguai no Plano 2000 da ELETROBRÁS, foi solicitada à ELETROSUL a realização de estudos, a nível de viabilidade, que possibilitassem definir a sequência de implantação das novas usinas, em função da demanda do mercado.

Especificamente, para a Usina Hidrelétrica Barra Grande, os estudos de viabilidade foram iniciados em 1983, encontrando-se atualmente na sua fase final.

Esta usina localizar-se-á no rio Pelotas a 43 km da sua confluência com o rio Canoas, próxima as cidades de Anita Garibaldi e Esmeralda nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, respectivamente (ver Figura 1).

O aproveitamento será composto por uma barragem de 184 m de altura, casa de força com capacidade instalada de 880MW e um vertedouro com capacidade de vazão de 17 300 m<sup>3</sup>/s.

Os estudos realizados até a presente data, conduziram a quatro alternativas principais de arranjos para o aproveitamento. Dentre estas alternativas, resultaram mais interessantes, as correspondentes à barragem de enrocamento com face de concreto e a de barragem tipo gravidade, executada pelo método do concreto rolado.

O presente trabalho, tem como objetivo a apresentação dos aspectos técnico-econômicos considerados, para a alternativa em concreto rolado. Para fins comparativos, são incluídas também as principais informações básicas, relativas à

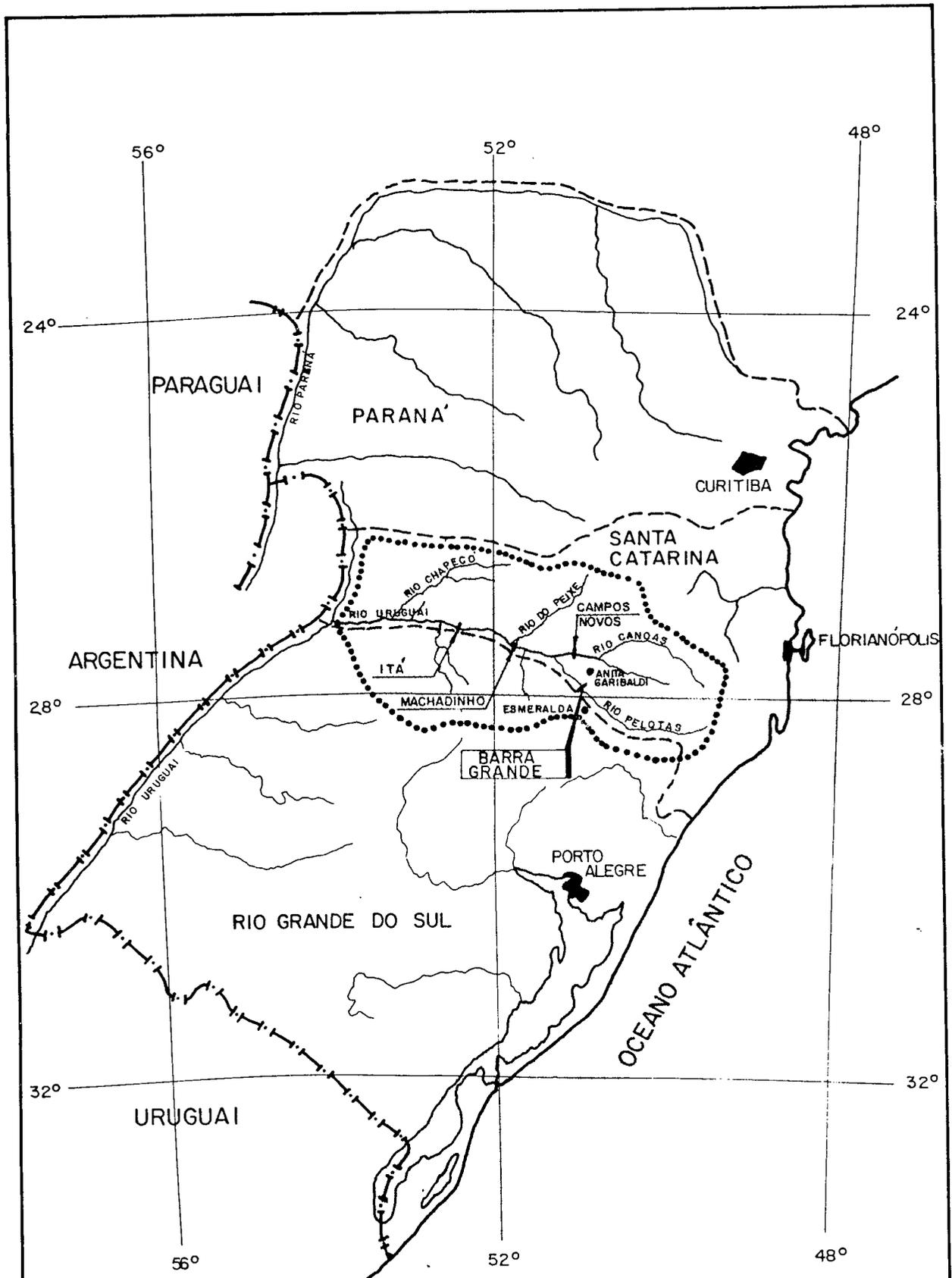


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO  
HIDRELÉTRICO DE BARRA GRANDE

alternativa com barragem de enrocamento.

## 2 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS E HIDROLÓGICOS

### 2.1 Geologia/Geotecnia

A área do aproveitamento de Barra Grande situa-se numa região constituída exclusivamente por derrames basálticos da Formação Serra Geral, constituindo-se o relevo regional por um planalto com ondulações suaves e extensas, sustentado por uma sequência de derrames ácidos, resistentes ao intemperismo.

O vale do Rio Pelotas, apresenta um padrão de erosão jovem, bastante entalhado e profundo, em forma de "v" pronunciado, com declividades em torno de  $30^{\circ}$ , observando-se no trecho de interesse a existência de curvas fechadas e subtrechos retilíneos, de extensão não superior a 3 km, com várias corredeiras com desníveis de até 2 m.

As investigações de campo foram iniciadas por um mapeamento geológico-geotécnico abrangendo a região de implantação do aproveitamento, no qual procurou-se caracterizar as principais feições geológicas e localizar os depósitos de materiais naturais de construção mais promissores. Complementarmente, foi realizada uma campanha inicial de sondagens rotativas, que será ampliada em fase futura, com o objetivo de caracterizar os derrames basálticos detectados. A caracterização dos derrames é um item importante, uma vez que os mesmos são constituídos basicamente de basaltos vesículo-amigdaloidais e brechas basálticas que podem ser susceptíveis à desagregação, condicionando desta maneira, a sua utilização em concreto e/ou enrocamento.

De acordo com as investigações realizadas, constata-se que o capeamento de solos da região é pouco espesso, da ordem de 2 m, e constituído por blocos de rocha imersos em matriz argilosa.

No referente a materiais naturais de construção, verificou-se que são escassos os depósitos de areia e cascalhos. Por outro lado, há uma grande disponibilidade de rocha para a utilização de enrocamento e para a produção de agregados para concreto. Áreas promissoras de empréstimo de solo se localizam a distâncias superiores a 12 km.

## 2.2 Hidro-Meteorologia

### - Climatologia

Os parâmetros climatológicos característicos considerados de maior interesse para o presente trabalho são:

#### . Temperatura

Média : 16° a 17°C

Absolutas: 35° e -9°C

#### . Precipitação

Média anual de aproximadamente 1 500 mm, para a área do futuro reservatório.

### - Fluviometria

Dispõe-se de série de vazões médias mensais no período de 1931 a 1980.

Para esta série, a vazão média anual de longo período é de 255 m<sup>3</sup>/s, verificando-se a existência de períodos distintos onde se concentram respectivamente os máximos e mínimos volumes escoados durante o ano. É importante destacar que, face às peculiaridades da bacia, observa-se uma grande variabilidade interanual de deflúvios mensais.

Os valores para as descargas de enchente em função do período de recorrência, obtidos através do tratamento esta

tístico dos dados de descargas médias diárias máximas anuais são mostrados na Tabela 1, a seguir.

TABELA 1

VAZÕES EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE RECORRÊNCIA

Período de Recorrência (anos)	5	10	200	10.000
Vazão Afluyente (m <sup>3</sup> /s)	4.500	5.700	11.300	19.200

### 3 ARRANJO GERAL - ALTERNATIVAS ESTUDADAS

Em função das características da área de implantação do aproveitamento, foram desenvolvidos estudos de alternativas de arranjos gerais, considerando os seguintes tipos de barramento:

- Enrocamento com face de concreto (EFC).
- Concreto tipo gravidade, executado pelo método do concreto rolado (CR).
- Enrocamento com núcleo argiloso (ENA).
- Concreto em arco dupla-curvatura (ADC).
- Concreto em contrafortes (CC).

Dentre as alternativas estudadas foram selecionadas as duas primeiras (EFC e CR), as quais se mostraram economicamente e tecnicamente as mais interessantes.

A seguir são apresentadas as características principais dos arranjos gerais dessas duas alternativas, enfatizando-se para a alternativa em concreto rolado os critérios adotados para o projeto e a metodologia construtiva concebida.

### 3.1 Características Comuns

As alternativas selecionadas apresentam em comum as seguintes características:

- Altura máxima da barragem, 184 m.
- Largura do vale na crista, 625 m.
- Todas as obras de geração (Tomada d'Água, Condutores Forçados e Casa de Força) estarão localizados na margem esquerda do rio.

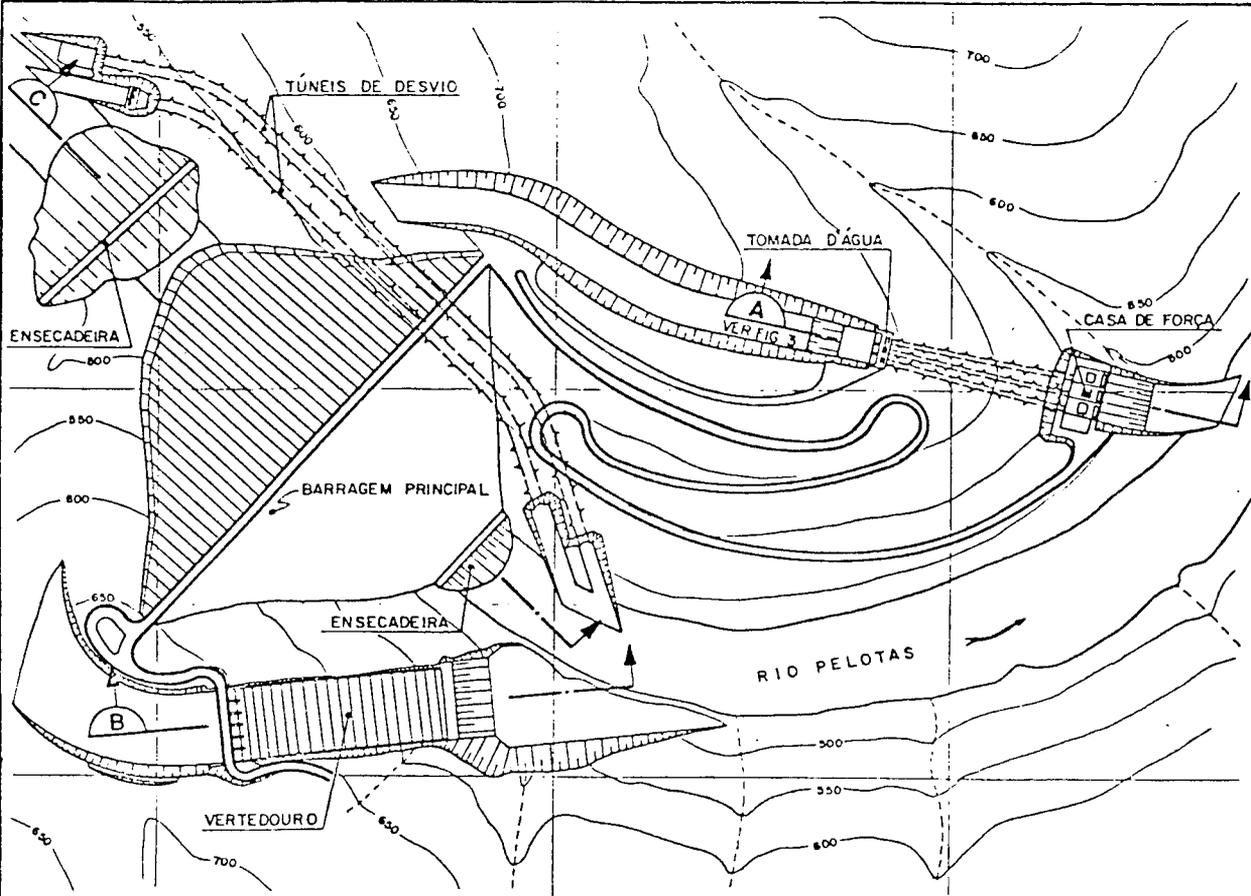
### 3.2 Alternativa I - Barragem de Enrocamento com Face de Concreto (EFC)

Nesta alternativa o arranjo geral é composto de uma Barragem de enrocamento com face de concreto, com um vertedouro de superfície situado na ombreira direita (Figura 2).

A estrutura do vertedouro é do tipo "Creager", com rápido previsto com aeração, e saída em salto de ski. O vertedouro apresenta 6 vãos de 17,0 m de largura cada e comprimento total de 123,0 m. As comportas são do tipo setor, com dimensões de 17,0 m x 17,0 m.

O desvio do rio será realizado com a utilização de ensecadeiras de enrocamento e dois túneis escavados na ombreira esquerda (seção arco-retângulo com diâmetro de 12,8 m). A ensecadeira de montante foi prevista com coroamento para a vazão de 10 anos de recorrência ( $5\,700\text{ m}^3/\text{s}$ ), sendo considerado que a barragem também atuará como ensecadeira, devendo ser alteada até a cota correspondente à vazão com período de recorrência de 200 anos.

A seção transversal apresentada para a barragem, foi idealizada a partir de obras similares já construídas.



ARRANJO GERAL - PLANTA

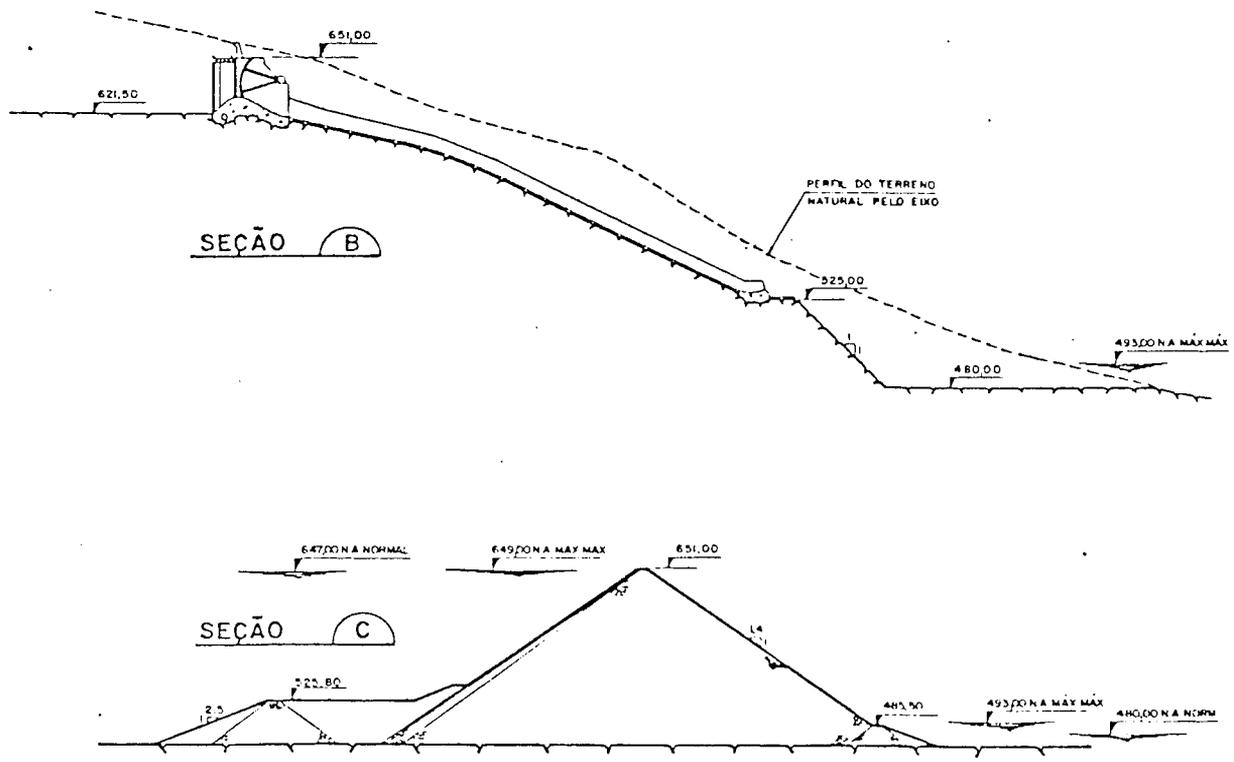


FIGURA 2 - ALTERNATIVA COM BARRAGEM DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO - ARRANJO GERAL

### 3.3 Alternativa II - Barragem de Concreto Gravidade - Executada pelo Método do Concreto Rolado (CR)

#### - Arranjo Geral - Características Principais

O arranjo geral, nesta alternativa, é constituído de uma barragem em concreto do tipo gravidade, a ser executada pelo método do concreto rolado (CR), com o vertedouro incorporado na barragem, descarregando diretamente na calha do rio (Figura 3).

A estrutura do vertedouro apresenta um perfil do tipo "Creager", com rápido previsto com aeração e saída em salto de ski.

Para a sua incorporação à barragem, foi prevista, inicialmente, a execução de uma camada em concreto convencional, resistente a abrasão, a qual será colocada sobre o concreto rolado do barramento, como mostrado na Figura 3. O vertedouro apresenta 6 vãos de 17,0 m de largura cada e comprimento total de 123,0 m. As comportas são do tipo setor, com dimensões de 17,0 m x 17,0 m.

O esquema previsto para o desvio do rio, foi projetado para uma vazão de 4 500 m<sup>3</sup>/s (Tr = 5 anos) e é composto por ensecadeiras de enrocamento e dois túneis seção arco-retângulo com diâmetro de 12,8 m, posicionados um em cada margem do rio.

De maneira análoga à solução (EFC), nesta alternativa a barragem funcionará também como ensecadeira, sendo que num período de 10 meses é possível ser atingida a cota 558,0 m correspondente a um período de retorno de Tr = 200 anos. Levando em conta as características deste tipo de barramento, foi admitida a possibilidade de galgamento da estrutura principal, razão pela qual a ensecadeira foi construída apenas para um Tr = 5 anos.

Pelo fato de se estar, ainda, na fase de Estudos de Viabilidade e em razão de não ter sido construída, no Bra-

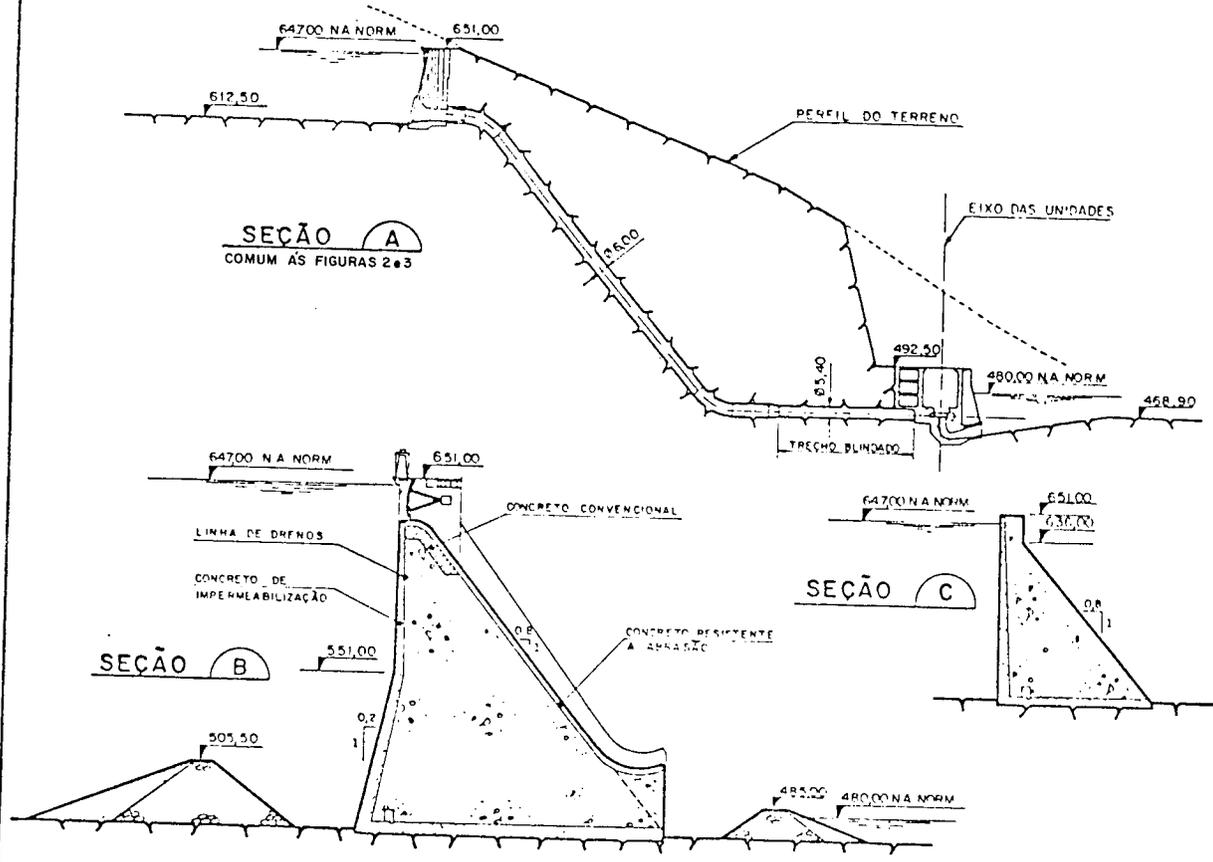
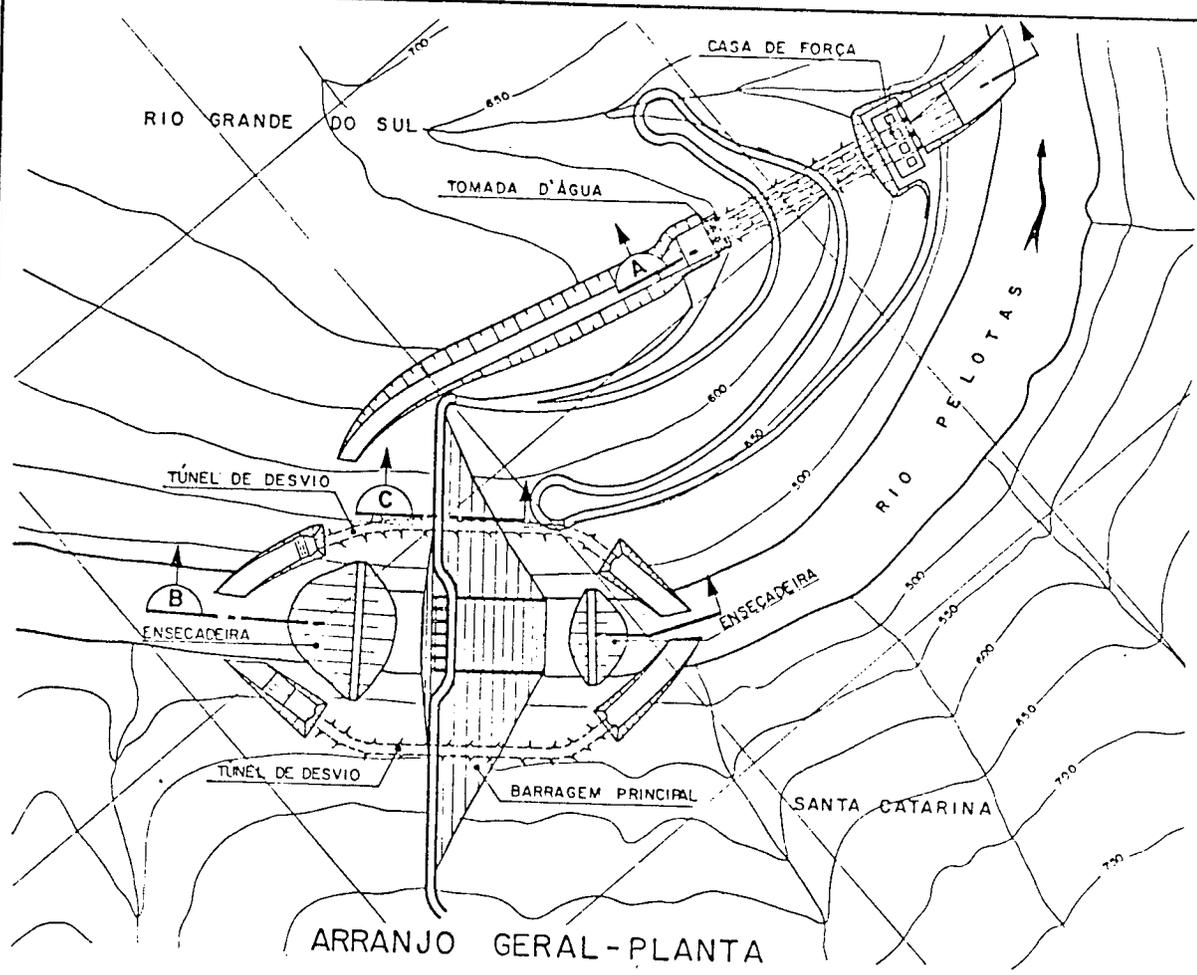


FIGURA 3 - ALTERNATIVA COM BARRAGEM DE CONCRETO GRAVIDADE EXECUTADO PELO MÉTODO DE CONCRETO ROLADO

sil, até hoje, uma barragem inteiramente de concreto ro-  
lado, procurou-se que as concepções de projeto adotadas  
para Barra Grande fossem conservadoras. Esse enfoque te-  
ve como objetivo aumentar a segurança da alternativa con-  
siderada, o que conseqüentemente implicou num acrésci-  
mo dos custos a ela inerentes. Desta forma quaisquer es-  
tudos futuros que venham a otimizar as soluções até en-  
tão adotadas poderão reduzir os custos finais sem prejuí-  
zo da segurança da estrutura.

As principais quantidades dessa alternativa estão apre-  
sentadas na Tabela 2. Para efeito comparativo, incluiu-  
se também nesta tabela, os quantitativos correspondentes  
a alternativa I (EFC).

TABELA 2

PRINCIPAIS QUANTIDADES DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS

DESCRIÇÃO	ALTERNATIVA	
	I (EFC)	II (CR)
ESCAVAÇÃO COMUM	739 500 m <sup>3</sup>	233 700 m <sup>3</sup>
ESCAVAÇÃO EM ROCHA	11 475 000 m <sup>3</sup>	3 975 200 m <sup>3</sup>
SOLO COMPACTADO	500 000 m <sup>3</sup>	-
ENROCAMENTO COMPACTADO	13 269 900 m <sup>3</sup>	282 500 m <sup>3</sup>
VEDAÇÃO DAS ENSECADEIRAS	242 400 m <sup>3</sup>	112 600 m <sup>3</sup>
CONCRETO S/CIMENTO	275 500 m <sup>3</sup>	3 711 400 m <sup>3</sup>
CIMENTO	76 810 t	360 830 t
ARMADURA	18 100 t	7 890 t

NOTA: As quantidades da Tabela 2 não se limitam ao barra-  
mento, correspondendo aos totais do aproveitamento.

## - Fundações

As fundações do barramento são adequadas para suportar as cargas a serem a elas transmitidas, e os tratamentos de fundação preconizados são os convencionais para quaisquer estruturas de concreto tipo gravidade. Assim, a incidência das injeções de consolidação, cortinas de injeção e cortinas de drenagem sobre os custos é, no máximo, idêntica a outra obra de concreto massa locada no mesmo eixo.

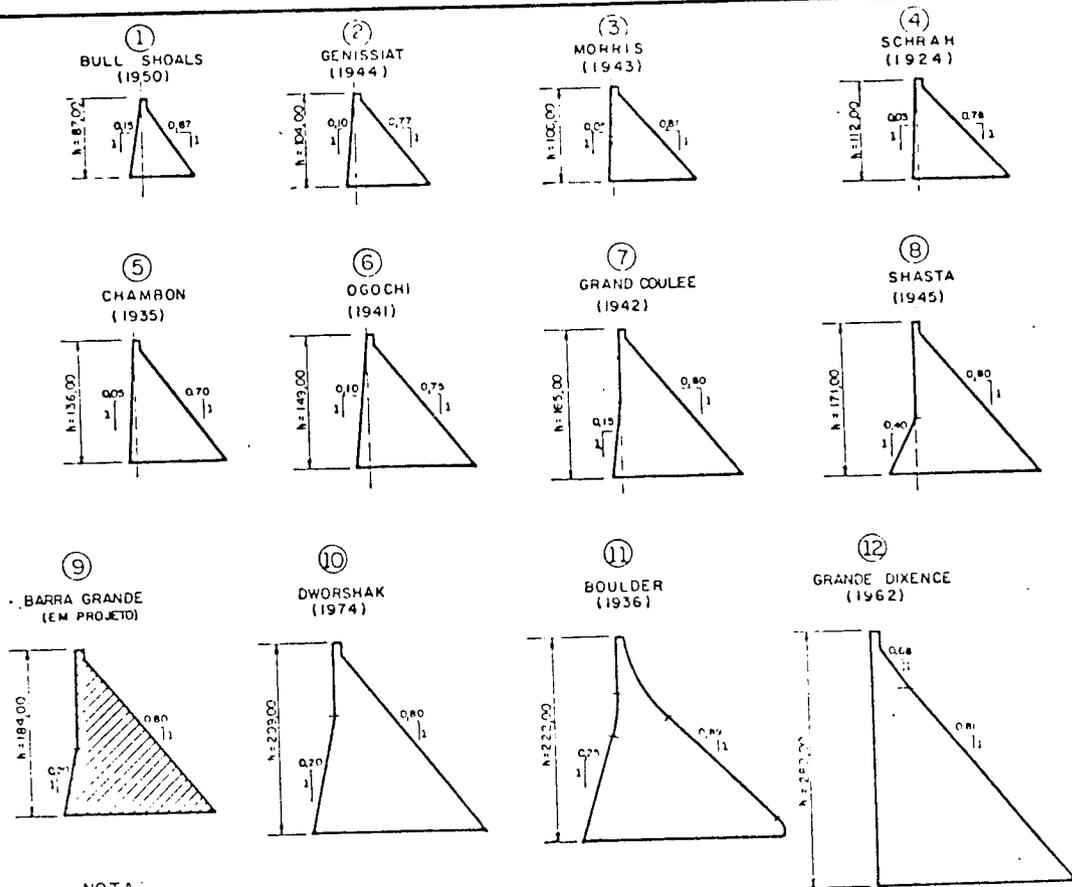
## - Seção Transversal

A seção transversal, como mostrado na Figura 3, foi obtida de análises de estabilidade e verificação de tensões efetuada pelo método clássico de distribuição de tensões, não se levando em conta, portanto, a modificação de distribuição de tensões que ocorre nos planos próximos a fundação, para as seções de maior altura. Futuramente, em fase mais adiantada do projeto, está prevista a realização de cálculos de tensões e deformações pelo método dos elementos finitos, considerando a interação fundação/estrutura de concreto.

Não foi levado em conta, também, a colaboração do formato do vale, admitindo-se, nesta fase dos estudos, que as juntas de contração não fossem injetadas.

A tensão principal máxima de compressão calculada foi de 43,0 kgf/cm<sup>2</sup>, observada no pé de jusante da barragem na seção de maior altura.

Uma comparação do volume de concreto obtido, por unidade de comprimento, efetuada com outras barragens de concreto gravidade é mostrada na Figura 4.



NOTA:

NA BARRAGEM 12 (GRANDE DIXENCE), UM EFEITO TRIDIMENSIONAL FOI LEVADO EM CONTA PARA REDUZIR O VOLUME DE CONCRETO.

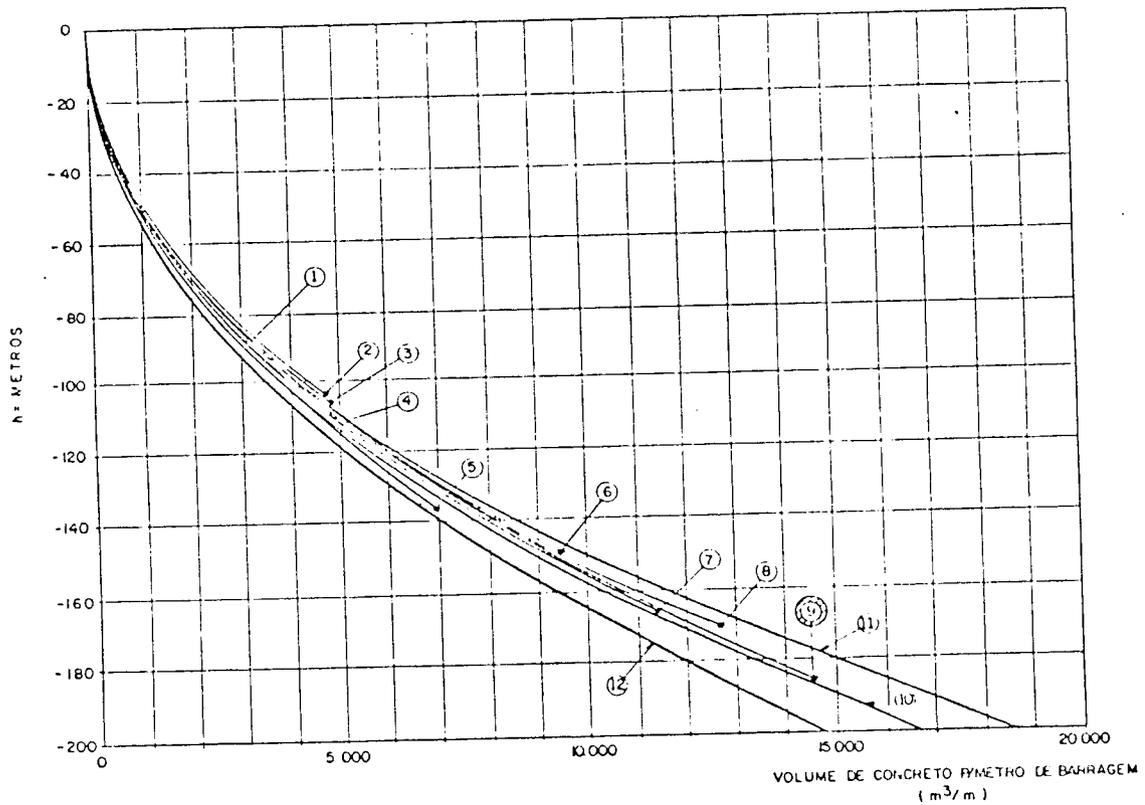


FIGURA 4 - COMPARAÇÃO DE VOLUMES DE CONCRETO PARA BARRAGENS DO TIPO GRAVIDADE

## - Zoneamento do Concreto

As propriedades do tipo de concreto rolado preconizado para Barra Grande são similares às de um concreto massa convencional, para um traço equivalente. Uma comparação entre essas propriedades, fruto de extensa compilação de dados, pode ser encontrada nas referências (1) e (2).

Duas alternativas quanto à concepção executiva da barragem poderiam ser consideradas nesta fase de estudos:

- a) Uso de concreto rolado com baixa permeabilidade, ou seja, com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $10^{-9}$  cm/s.
- b) Uso de concreto rolado com coeficiente de permeabilidade maior que  $10^{-9}$  cm/s no interior, ou núcleo, e concomitante aplicação de concreto massa convencional, de baixa permeabilidade, no paramento de montante e no contato com a fundação.

A segunda alternativa foi, nessa fase de estudos, considerada como a melhor, pois permite entre outras vantagens, a redução do consumo de aglomerantes e dos níveis de tensão de origem térmica.

Supôs-se, a favor da segurança, que os concretos convencionais de paramento e de fundação, fossem 10 vezes mais permeáveis que os normalmente usados para essa finalidade, em barragens brasileiras. Esta consideração de projeto, implica na utilização de uma maior espessura para os concretos de impermeabilização.

Convém ressaltar que, inúmeros testes de permeabilidade de concretos, efetuados no Brasil, indicam coeficientes de permeabilidade inferiores a  $10^{-11}$  cm/s para concretos massa convencionais usados em paramentos de barragens.

As dimensões estimadas para a solução de envelopamento foram calculadas a partir de critérios conservadores, sendo adotada a equação desenvolvida por Bazant para a determinação da espessura de concreto de paramento e de fundação.

$$e = \sqrt{2 \cdot p \cdot k \cdot \frac{t}{\alpha}}$$

Onde: e = espessura de paramento; p = pressão da coluna d'água; k = coeficiente de permeabilidade; t = tempo de vida útil considerado;  $\alpha$  = volume de vazios após a hidratação (%).

Considerou-se para esse cálculo, que o coeficiente de permeabilidade do monolito fosse igual ao de juntas de construção tratadas de maneira convencional ( $10^{-10}$  cm/s) e um tempo de 100 anos para que a água percolasse através apenas do concreto de impermeabilização. Desta maneira, foi dimensionada a colocação de concreto massa convencional no paramento de montante e no contato com a fundação, sendo obtida uma espessura de 4,5 m junto ao pé de montante na seção de maior altura.

O paramento de jusante foi considerado sem forma, ficando o concreto rolado exposto, no próprio ângulo de repouso, para superfícies não sujeitas a escoamento hidráulico. A possibilidade de eliminar o uso de forma para lançamento representa uma das vantagens do método.

#### - Drenagem

Para o Projeto de Barra Grande, além da linha de drenos entre os veda juntas na região do paramento de montante e no paramento de jusante sob a laje do vertedouro, está prevista uma linha de drenos moldados na transição entre o concreto massa convencional do paramento e o concreto rolado, distanciados entre si de 3 a 4 m (ver Figura 5).

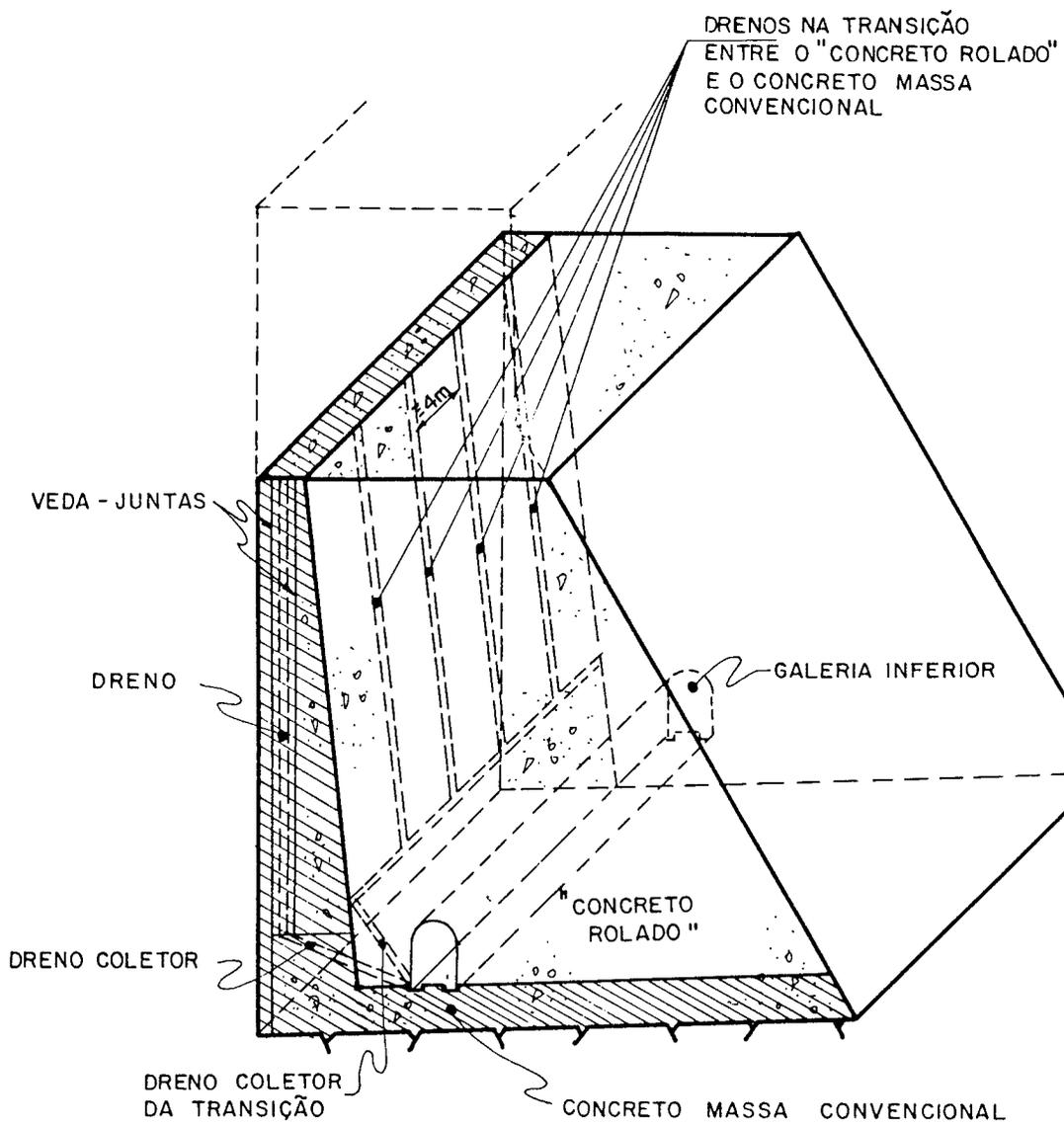


FIGURA 5 - SISTEMA DE DRENOS

Esses drenos, bem como aqueles entre os veda juntas, constituem uma segurança adicional para eventuais falhas na camada de impermeabilização de montante.

#### - Tensões de Origem Térmica

Prevê-se que as tensões de origem térmica geradas serão muito atenuadas e perfeitamente suportáveis pelo material, sem ocorrência de fissuração significativa. Concorrem para isso os seguintes fatos:

- a) Utilização de concreto de núcleo com baixo consumo de aglomerante. Seria razoável prever-se, para o material, uma elevação adiabática de temperatura da ordem de  $15^{\circ}\text{C}$ .
- b) Redução sensível do grau de restrição pelo fato do material ser lançado em camadas, sequencial e continuamente.
- c) Uso de pré-refrigeração do concreto.
- d) Utilização de agregados de origem basáltica, já amplamente estudados para diversas obras no país e que conferem ao concreto capacidade de alongamento e fluência adequadas para fazer frente às eventuais tensões de tração.

#### - Tipologia de Concreto

Para o Projeto de Barra Grande, de acordo com estimativas iniciais, serão exercidas, no corpo da barragem, tensões efetivas de compressão ao redor de  $40 \text{ kgf/cm}^2$ , o que pelos critérios usuais de segurança, leva à resistência característica (mínima requerida) ao redor de  $120 \text{ kgf/cm}^2$  à idade de sollicitação. Esta resistência po-

derã ser facilmente atingida pelo concreto rolado, entre 180 e 360 dias, (2) com consumo de aglomerante (cimento + material pozolânico) inferior a 100 kgf/m<sup>3</sup>, para um concreto com Ø Máx. 100 mm. Entretanto, para efeito de estimativa preliminar adotou-se uma mistura média com Ø Máx. 100 mm, composta por:

MATERIAL	COMPOSIÇÃO (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	90
Material pozolânico	13
Agregado miúdo	650
Agregado graúdo	1 650
Água	70

- Dimensões dos Monolitos - Juntas de Contração

A dimensão dos monolitos, bem como a distância entre juntas de contração, intervalos de lançamento, temperatura de lançamento e alturas de camadas, devem ser estabelecidas com base nas propriedades a serem determinadas no transcorrer dos estudos, bem como no cronograma definido para a obra, nas condições climáticas da região e de restrição da fundação.

É de conhecimento (3) que o lançamento contínuo do "Concreto Rolado" tem um efeito benéfico na redução da fissuração, devido à distribuição uniforme de temperatura, na massa, e na redução do grau de restrição de deformação entre camadas. Entretanto, para o projeto da Usina Hidrelétrica Barra Grande não foram levados em conta essas considerações benéficas, e estabeleceu-se monolitos com largura ao redor de 20 m, sendo o lançamento contínuo com duas subcamadas de 25 cm, dando camadas de altura de 0,50 m, sendo que as juntas de contração serão moldadas com lâmina percussora (2) (4), dispensando o uso de formas para as juntas de contração (a tendência atual é elevar a altura de camadas para valores entre 0,70 e 1,00 m).

## - Metodologia Construtiva

A metodologia construtiva, utilizada para a execução do "Concreto Rolado", permite obter reduções e simplificações sensíveis no sistema de produção e manuseio de materiais, produção, transporte e colocação do concreto, e também no tratamento das juntas de construção (2) (4).

## - Materiais

Os agregados para "Concreto Rolado" podem ser produzidos como uma brita corrida, com separação em apenas duas gamas granulométricas. Para o Projeto de Barra Grande, na fase atual de estudos de viabilidade, optou-se por não se usar dessa simplificação, considerando então, que o Concreto Rolado seja composto por agregados graúdos, nas gamas granulométricas convencionais e agregado miúdo obtido pela britagem de rocha basáltica.

O "Concreto Rolado" pode ser dosado com qualquer tipo de cimento e material pozolânico, que atenda os requisitos para uso no concreto convencional. A escolha do tipo de aglomerante é feita com base nos requisitos estruturais e de durabilidade e não pelo método usado para lançamento e compactação do concreto. Conseqüentemente, a principal diferença na escolha e proporcionamento de cimento e material pozolânico para uso no "Concreto Rolado", em comparação com os concretos massa convencionais, é referente à tendência de usar altos teores de material pozolânico e à reduzida ênfase sobre o efeito do material pozolânico na trabalhabilidade.

No entanto, a determinação da quantidade do material pozolânico (2) (4) deve, além de se fundamentar nas características técnicas, ser avaliada com base nas vantagens econômicas, considerando a atividade pozolânica com o cimento e os custos decorrentes de transporte e manuseio. É importante salientar que, outros países vem usando largas percentagens de material pozolânico em reposição à parte do cimento, para os concretos massa convencional e "Rolado". No Brasil até a época presente (1985) os mate-

riais pozolânicos disponíveis não têm apresentado vantagens que justifiquem o uso de percentuais de reposição (em volume sólido) à parte de cimento, superiores a 15% ou até, eventualmente 30%. Para a estimativa, no Projeto de Barra Grande, optou-se por considerar uma reposição de aproximadamente 15% em volume sólido, para o uso de cinzas volantes.

Para a estimativa em questão, se optou por não considerar o emprego de aditivos no "Concreto Rolado".

- Instalações para Produção de Agregados, Refrigeração e Produção de Concretos

Embora o emprego de "Concreto Rolado" permita substancial simplificação no sistema de produção e beneficiamento de agregados, o que significa em redução de custos, para esta estimativa, como segurança adicional, considerou-se um sistema de beneficiamento de maneira semelhante ao que se teria para concreto massa convencional.

O "Concreto Rolado", pela suas características seca, pelo lançamento contínuo, pelo baixo teor de aglomerantes, e pelas suas propriedades, poderá dispensar o uso de refrigeração do concreto. Entretanto, para a estimativa realizada, foi adotado um sistema de refrigeração de proporções inferiores às correspondentes ao que seria necessário para o concreto massa convencional.

Para a produção do "Concreto Rolado", embora se possa lançar mão de equipamentos mais simples (2) (4) e de maior capacidade, para o projeto, por questões de segurança, optou-se por considerar centrais de concreto do tipo Johnson, de capacidade individual de 200 m<sup>3</sup>/h. Esse equipamento permite a produção do "Concreto Rolado" e dos demais tipos de concretos que poderão ser empregados nas obras.

## - Transporte e Colocação dos Concretos

Para o transporte e lançamento do "Concreto Rolado", foi prevista a utilização de correias transportadoras, que se adequam a esse tipo de material, tendo em vista a sua características seca e seu lançamento contínuo.

O custo horário da correia transportadora, foi calculado com base no custo de aquisição do equipamento desenvolvido pela "ROTEC" Industries Inc., Elmhrust Illinois (5) especificamente para o Projeto de Barra Grande.

É de se ressaltar, todavia, que outros equipamentos podem ser avaliados para o transporte do "Concreto Rolado", o que poderá vir, ainda, a reduzir o custo dessa operação, como por exemplo o plano inclinado, usado nas barragens de Alpe Gera (Itália) e Tamagawa (Japão).

O espalhamento do "Concreto Rolado", nestas estimativas, é previsto ser executado por lanças telescópicas de transferência sobre esteiras (Crawler Mounted Swivel Transfer) e complementado por trator de lâmina tipo D-6 ou similar.

Para o adensamento do "Concreto Rolado", considerou-se o uso de rolos lisos vibratórios do tipo CC e CG da Dynapac, como referência.

## - Tratamento de Juntas

O tratamento das juntas horizontais de construção do "Concreto Rolado" (2) (4) difere daquele das juntas de construção do concreto massa convencional, pois no "Concreto Rolado" o teor de água e pasta é menor. Dessa forma, praticamente não há filme de carbonatação na superfície, ou seja, a água de exsudação normal no concreto massa convencional, ocorre no "Concreto Rolado", em quantidade desprezível.

Tendo em vista essa característica, o tratamento aqui estimado pode ser feito através de vassouras mecânicas com cerdas de aço, acompanhadas por jatos d'água e ar sob baixa pressão (6 a 7 kgf/cm<sup>2</sup>).

As juntas de contração, poderão ser moldadas com auxílio de lâmina percussora, montada em retro-escavadeira. Dessa forma, nos custos ora estimados, foram considerados os equipamentos acima referidos.

#### 4 CRONOGRAMAS

Os cronogramas para cada alternativa (EFC e CR) foram desenvolvidos interrelacionando-se as atividades com as suas durações, em funções de produções médias estimadas.

Estas produções foram obtidas de estudos específicos, considerando-se equipamentos usuais e frentes de trabalho compatíveis com as condições do empreendimento.

No estudo da barragem com face de concreto foi realizada uma análise da defasagem entre frentes de trabalho, optando-se por antecipar ao máximo as escavações obrigatórias de modo a atender as necessidades de enrocamento e minimizar as interferências com as frentes de concretagem. Com essa premissa, conseguiu-se que praticamente toda a escavação fosse concluída antes de se iniciar o lançamento de concreto, e que a necessidade de escavação em pedreira ficasse restrita ao final do empreendimento. Esta metodologia permitiu também uma otimização do esquema de origem e destino dos materiais.

Para o concreto rolado, os critérios foram alterados, considerando que o consumo de rocha se resume basicamente na obtenção de agregados para o concreto. Para evitar um remanuseio de rocha, procurou-se escavar conforme as necessida

des de consumo, levando-se em consideração a interferência do término da escavação com o início da concretagem da respectiva estrutura.

Os cronogramas dessas duas alternativas estão apresentados na Figura 6. Como pode-se observar nesses cronogramas, o menor prazo de execução da barragem em concreto rolado, reduz em 1 ano o período entre o início das obras civis e o início de geração, que leva conseqüentemente a uma importante economia nos juros durante a construção (ver item 5.3 em, - comparação de custos entre as soluções em concreto rolado e enrocamento com face de concreto).

## 5 CUSTOS

### 5.1 Composição

Para a elaboração dos custos unitários foram consultados os fabricantes de equipamentos e obtidos os custos de Materiais e Mão-de-Obra. A partir destes dados básicos foram elaborados os custos horários de equipamentos e posteriormente, a composição dos custos unitários das Obras Civis, considerando-se eventuais de 15%. No custo dos equipamentos eletromecânicos foram considerados 10% como eventuais.

Finalmente com os quantitativos das obras civis foram determinados os custos diretos incluindo a bonificação das despesas indiretas (B.D.I.).

### 5.2 Custos das Alternativas

Na Tabela 6, são apresentados os custos diretos, indiretos e os custos totais com e sem juros durante a construção para as alternativas consideradas.

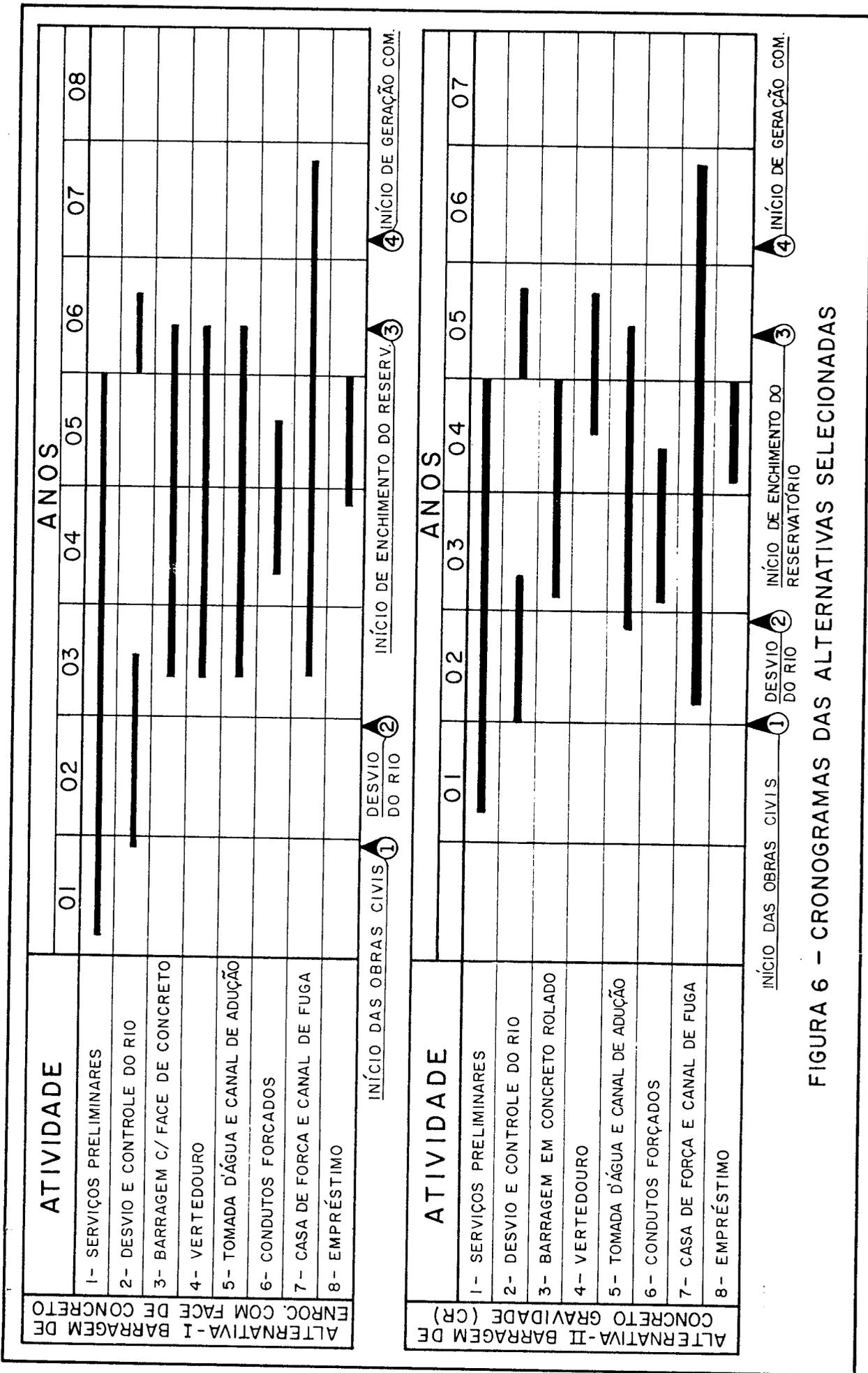


FIGURA 6 - CRONOGRAMAS DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS

TABELA 6

CUSTOS DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS  
 DATA-BASE - JUNHO/83 (US\$ 1,00=Cr\$ 516,82)

DESCRIÇÃO		ALT. I (EFC) Cr\$ x 10 <sup>6</sup>	ALT. II (CR) Cr\$ x 10 <sup>6</sup>
CUSTO DIRETO C/EVENTUAIS	1- Terrenos e Servidões	3 790	3 790
	2- Reservatório	888	888
	3- Desvio e Controle do Rio	4 234	3 591
	4- Barragem e Diques	95 051	92 581
	5- Vertedouro	11 876	5 321
	6- Tomada d'Água e Canal de Fuga	2 768	2 674
	7- Túnel e/ou Conduto Forçado	3 502	3 502
	8- Casa de Força e Canal de Fuga	6 557	6 557
	9- Equipamento de Geração e Acessórios	54 412	54 412
	10-Estradas, Pontes e Aeroportos	2 504	2 504
	11-Benfeitorias e Vila dos Operadores	3 591	3 591
Custo Direto c/Eventuais		189 173	179 411
Custo Indireto		52 893	44 743
Custo Total s/Juros Durante a Const.		242 066	224 154
Custo Total c/Juros (10%) Durante a Const.		319 185	282 378

### 5.3 Comparação entre Soluções de Barragem de Enrocamento e Concreto Gravidade

Como subsídio à análise comparativa de custos, julga-se conveniente tecer algumas considerações preliminares sobre as relações de volumes verificadas entre os tipos de barragem considerados.

Na Figura 7, apresenta-se uma comparação entre volumes por metro de barragem, em função da altura para barragens do tipo gravidade (concreto rolado e concreto convencional) e

de enrocamento (com face de concreto e com núcleo de argila) (6). Pode-se verificar que a diferença de volume, tende a se acentuar à medida que aumentam as alturas. Exemplificando, para alturas em torno de 60 metros, tais como Rouchain (enrocamento com face de concreto) e Willow Creek (concreto rolado), a relação de volume está em torno de 3. Já para Barra Grande é de 3,6 e para uma altura de 250 metros seria de 4. O fato é melhor visualizado através da Figura 8, onde a curva representa a relação entre os volumes dos dois tipos de barramento em função da altura.

- Comparação de Custos

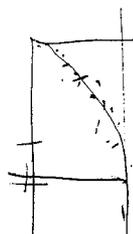
Na comparação de custos, obviamente não é possível a definição de critérios gerais que permitam a determinação "a priori" do tipo de barramento mais adequado. Existem não obstante, estudos recentes (ver Figura 9) que fornecem indicações comparativas para os custos unitários do concreto rolado e concreto massa convencional.

Para o caso específico da Usina Hidrelétrica Barra Grande, foram realizadas duas análises referentes a custos comparativos, que são apresentadas a seguir:

. Comparação de Custos Unitários entre Concreto Massa Convencional e Concreto Rolado

A análise comparativa de custo efetuada para os dois tipos de concreto, apresentou a relação (Custo CR): (Custo Convencional) da ordem de 0,55. A diferença obtida a favor do concreto rolado provém basicamente dos seguintes itens principais:

ITEM (i)	$\frac{(\text{CUSTO CONVENCIONAL})_i - (\text{CUSTO CR})_i}{\text{CUSTO CONVENCIONAL}}$
Materiais	16%
Equipamentos	14%
Mão-de-Obra	11%
Diversos	4%



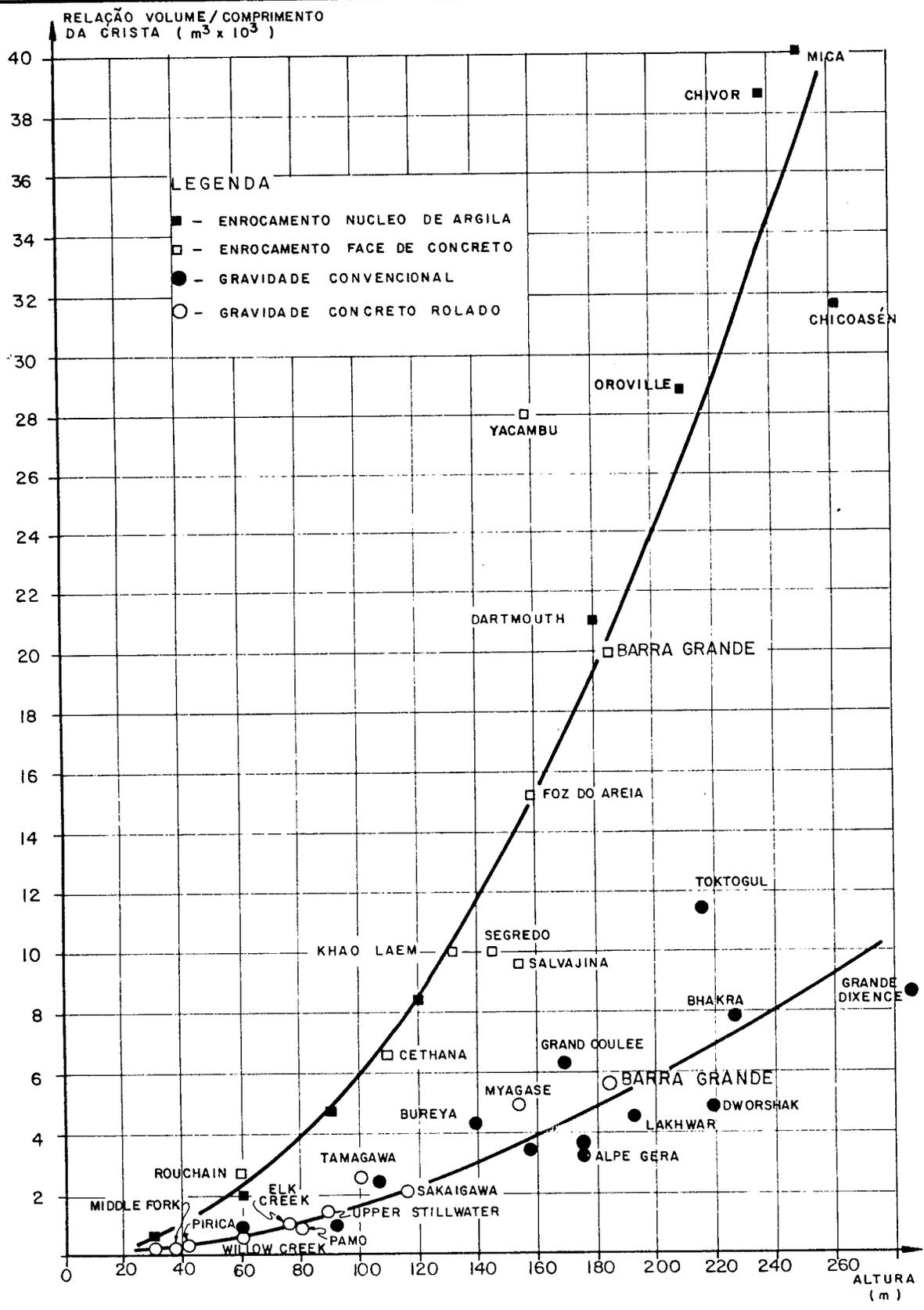


FIGURA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE VOLUMES/COMPRIENTO DA CRISTA E ALTURAS DE BARRAGENS DE CONCRETO GRAVIDADE E ENROCAMENTO

URUGUAI - ARG

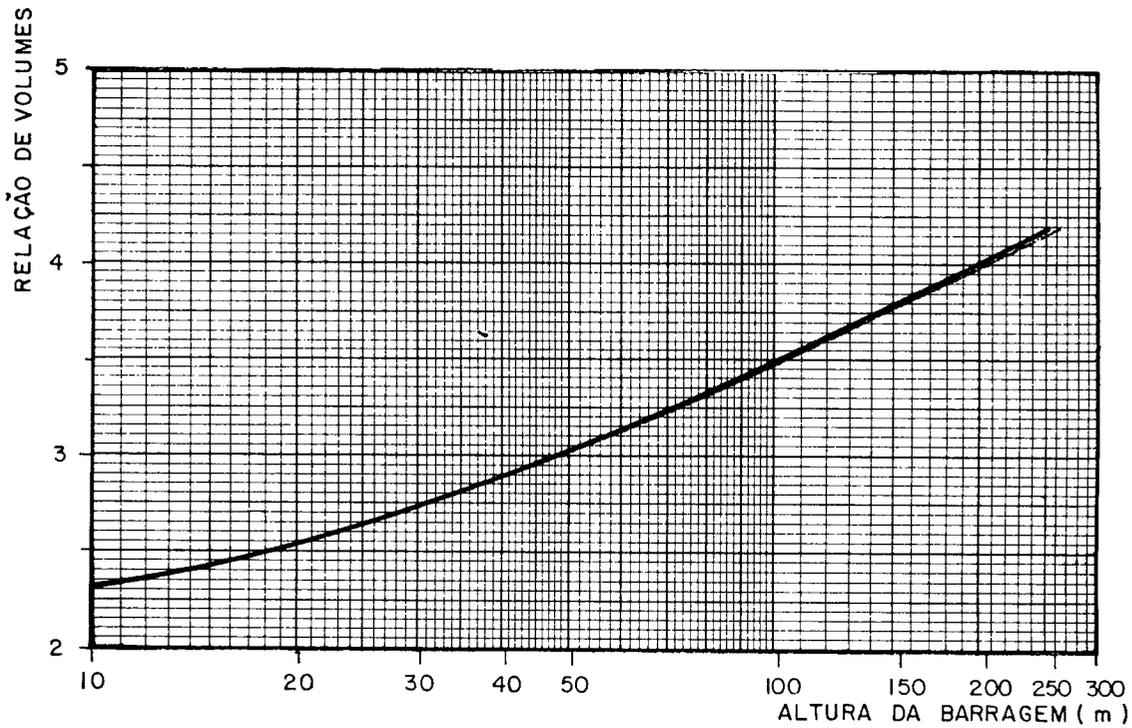


FIGURA 8 - RELAÇÃO ENTRE VOLUMES DE BARRAGENS DE ENROCAMENTO E DE CONCRETO ROLADO

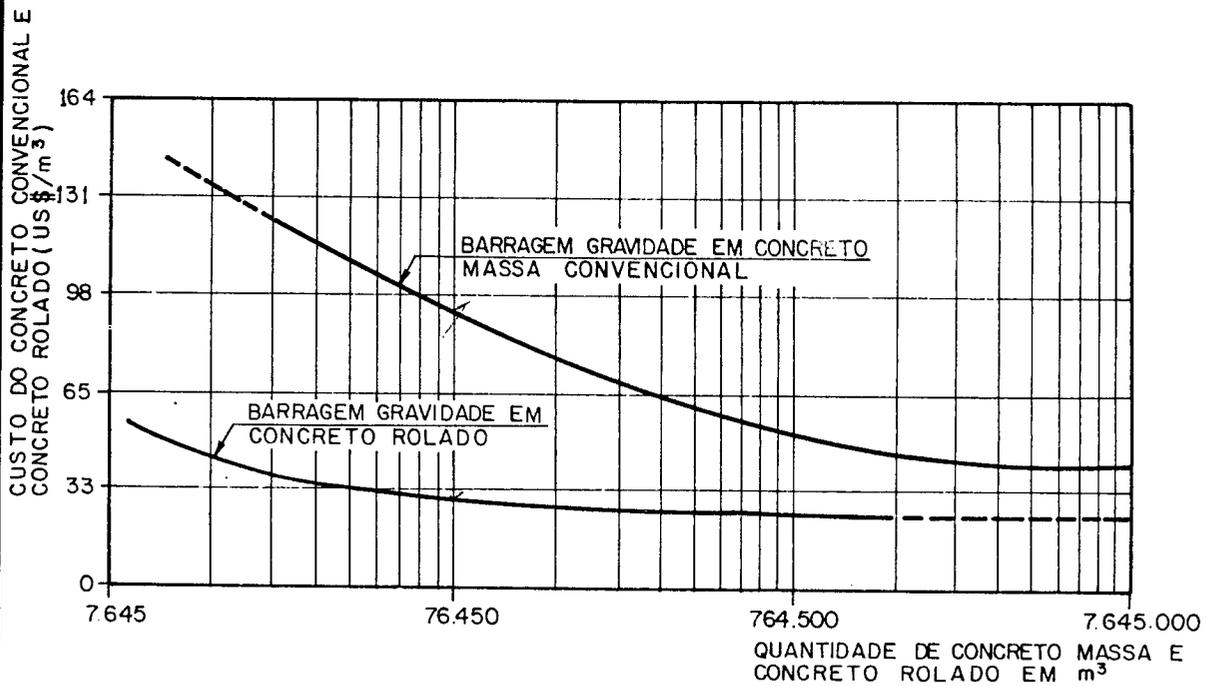


FIGURA 9 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE O CONCRETO ROLADO E CONCRETO MASSA CONVENCIONAL  
(WORLD WATER / JUNE 85)

A diferença no consumo de materiais entre estes dois métodos de execução refere-se basicamente ao índice de formas e à quantidade de cimento e areia artificial. No relativo à equipamentos e mão-de-obra, observa-se que a execução do concreto rolado é realizada com equipamentos de grande produção, utilizados na construção de maciços de terra e rocha, o que por si só explica a vantagem obtida nesses itens.

. Comparação de Custos entre as Soluções em Concreto Rolado e Enrocamento com Face de Concreto

Na Tabela 6, são apresentados os custos das alternativas CR e EFC, verificando-se uma diferença de 5,4% nos custos diretos, correspondente basicamente aos seguintes itens:

Desvio do rio

As características do barramento em CR permitem diminuir os custos das obras de desvio, face à necessidade de um menor comprimento para os túneis, e redução das obras de ensecamento, para um risco equivalente, em função de menor tempo de exposição.

Barragem

A relação de volumes e custos, beneficia a solução CR.

Vertedouro

Na alternativa CR o vertedouro é incorporado à Barragem.

A partir do custo direto, foram calculados o custo indireto e os juros durante a construção, que em função do menor prazo de execução para a solução em CR, acentua a diferença de custo entre as alternativas. A comparação do custo total do empreendimento com juros du-

rante a construção entre essas duas alternativas, resultou uma economia de 13% em favor da alternativa em concreto rolado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos realizados, julga-se importante destacar dois aspectos principais.

O primeiro aspecto, diz respeito à diferença global de custos entre as alternativas, a qual, apesar de não ser elevada em termos percentuais, demonstrou a competitividade da solução em Concreto Rolado, não obstante terem sido adotados critérios em geral conservativos para esta solução. Dessa forma, verifica-se a importância do prosseguimento dos estudos relativos à tecnologia do "Concreto Rolado", e principalmente o estabelecimento de um programa que possibilite a realização das investigações necessárias à otimização do projeto.

O segundo aspecto refere-se a exequibilidade, no Brasil, de uma barragem em concreto rolado com as características de Barra Grande, levando em conta que a experiência brasileira neste tipo de execução ainda é limitada a poucas obras.

Considera-se que, de imediato, a viabilização da execução de uma obra de tal porte, no Brasil, enfrentaria grandes problemas. No entanto, considera-se também que o prazo previsto para o início da construção do empreendimento seja suficiente para o desenvolvimento de uma tecnologia brasileira, além da ampliação da experiência internacional, para que o Concreto Rolado, atualmente já consagrado como processo construtivo, tenha a sua viabilidade confirmada para a futura Usina Hidrelétrica Barra Grande.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. (ELETROSUL), em particular a sua Diretoria de Engenharia e Construção e a THEMAG Engenharia Ltda., pelo incentivo e apoio para a elaboração e publicação do presente trabalho.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ROLLCRETE - An Economical Alternative for New Projects - International Conference on Development of Low Cost and Energy Saving Construction Materials and Application - S.C. Kuperman - O.F. Menezes - L. Scandiuzzi - F.R. Andriolo - Julho/1984.
- (2) Concreto Adensado com Rolo Vibratório - Sugestões para Projeto e Construção - XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens - Belo Horizonte -1985- F.R. Andriolo.
- (3) Roller Compacted Concrete - A.C.I. Committee 207 - Report Nº ACI-207-5R-80 - ACI - Journal - July/August - 1980.
- (4) THEMAG - Concreto Adensado com Rolo Vibratório - Características e Vantagens de Uso, Setembro 1984.
- (5) ROTEC - Barra Grande Dam Project, March 1984.
- (6) LOGIE, C.V. - Economic Considerations in Selection of a Roller Compacted Concrete Dam, ASCE Symposium, May 1985.
- (7) Revista - World Water - June 1985.
- (8) ELETROSUL - Barra Grande Project, Board of Consultants Meeting Nº 1, April 1985.

São Paulo, 23 de fevereiro de 1987

Ao

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS  
Rua Real Grandeza, 219 - Botafogo  
22281 Rio de Janeiro, RJ

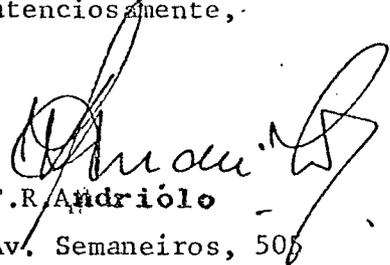
At. Dr. Epaminondas M. do Amaral Filho

Assunto: COMUNICAÇÃO PARA O XVII S.N.G.B.

De acordo com entendimentos telefônicos mantidos, e contando com a vênia de V.Sa., vimos por meio desta, apresentar a comunicação "URUGUA-Í: UMA BARRAGEM EM CONCRETO ROLADO", para o XVII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS.

Contando com a costumeira atenção e apreciação de V.Sa., em nome dos autores,

atenciosamente,



F.R. Andriolo

Av. Semaneiros, 505

05463 São Paulo, SP

Tel.: (011) 211.4657