

ESCAVAÇÕES CUIDADOSAS PERMITEM IMPLANTAÇÃO SEGURA DO VERTEDOURO COMPLEMENTAR DA UHE MASCARENHAS DE MORAES COM A USINA EM OPERAÇÃO

* Carlos M. Nieble
* Benedicto H. Cintra

** Eliuberto Antonio Martorelli
** Fernando Chein Muniz
** Sérgio Eduardo Scarpim

* Matra Engenharia e Consultoria S/C Ltda.
** Construtora Norberto Odebrecht S/A.

Trabalho apresentado no XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, BA, 2003.

Resumo

Em função das alterações das características do projeto original, e por ter sido construída anteriormente às usinas do atual Sistema FURNAS, a UHE Marechal Mascarenhas de Moraes funcionava como um elemento restritivo à melhor operacionalidade deste trecho do rio Grande, causando estrangulamento da cascata.

Objetivando eliminar as restrições operacionais, a Construtora Norberto Odebrecht construiu um vertedouro complementar no maciço rochoso da ombreira esquerda, precedido de um canal de aproximação, conforme apresentado na Foto 1.

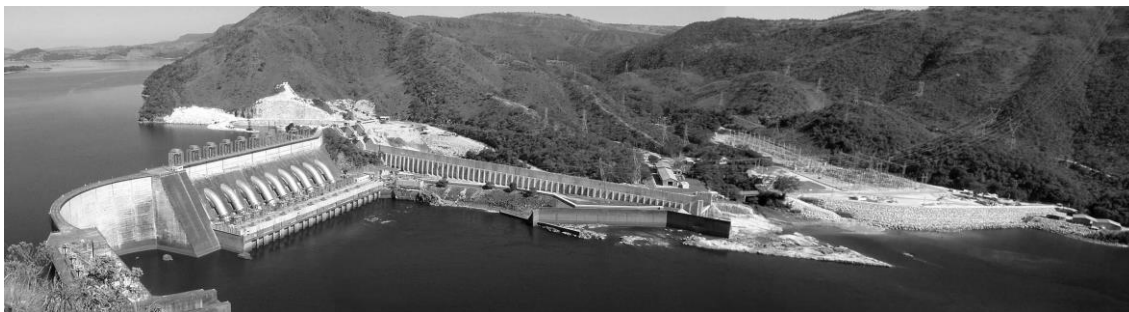


Foto 1 - Vista da UHE Mal. Mascarenhas de Moraes a partir da margem direita.

Photo 1 – View of Marechal Mascarenhas de Moraes Power Plant from right embankment.

Abstract

Marechal Mascarenhas de Moraes Hydroelectrical Power Plant represented a restrictive element to the better operation of Rio Grande River, due to changes along time verified on the original design and have being built before the actual FURNAS system.

In order to eliminate the operation restrictions, Construtora Norberto Odebrecht built for Furnas a new spillway on the left abutment with an entrance channel, as can be seen on photo 1.

1. Introdução

A Construtora Norberto Odebrecht executou, de junho/2000 a janeiro/2002, para Furnas Centrais Elétricas, as obras de implantação do vertedouro auxiliar da Usina Hidrelétrica Mascarenhas de Moraes.

As escavações do canal de aproximação, vertedouro e canal de restituição foram executadas a céu aberto, deixando-se um septo rochoso à montante, servindo de proteção para execução da parte das obras e montagem das novas comportas, que foi retirado posteriormente, após equalização dos níveis d'água de jusante e montante.

Os desmontes com explosivos foram executados cuidadosamente, visando à segurança da linha de transmissão, dos relés, das turbinas, equipamentos eletromecânicos e das estruturas de concreto quanto às vibrações e pressões hidrodinâmicas, estas transmitidas pelos desmontes subaquáticos.

Este trabalho apresenta a sistemática adotada para a execução e controle de qualidade dos trabalhos realizados, que exigiram cuidados especiais para a preservação da antiga usina, das turbinas em funcionamento e do novo vertedouro.

2. Características do Projeto

A foto 2 mostra as duas fases da escavação para implantação do vertedouro auxiliar.

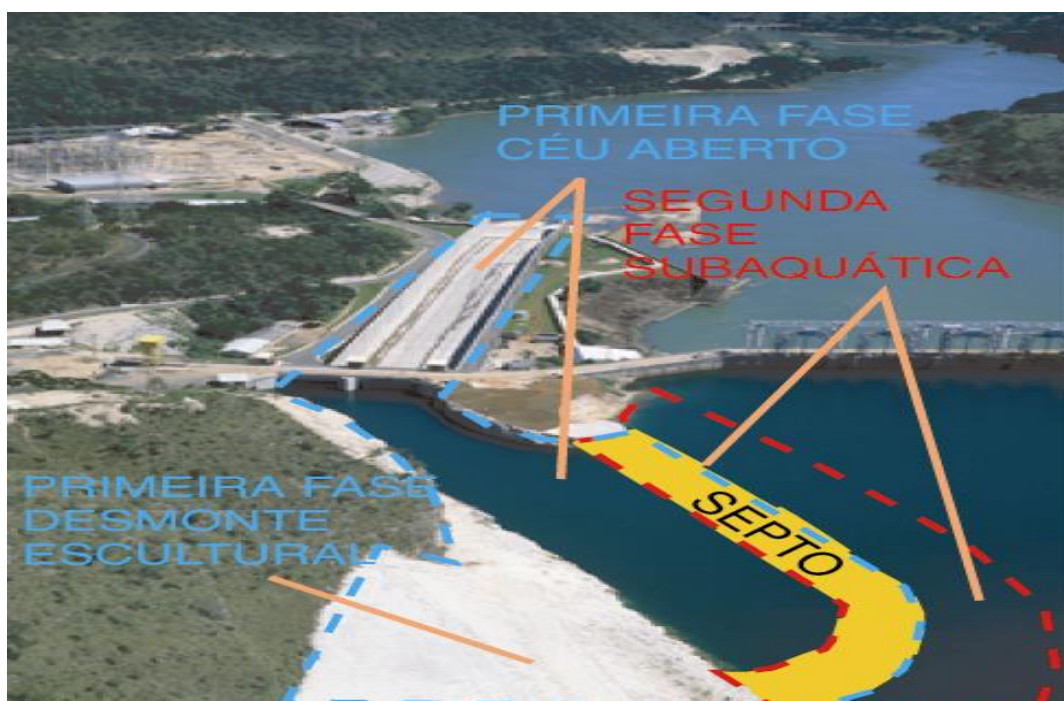


Foto 2

O projeto de escavação envolveu a escavação de 58.000m³ de rocha em duas fases, a saber:

A primeira fase constou escavação a céu aberto com bancadas que variaram de 5 a 17m de altura.

Deixou-se assim um septo de rocha de aproximadamente 10m de largura, que serviu de proteção aos trabalhos de obras civis e eletromecânicas do novo vertedouro, retirado com explosivos numa segunda fase.

Cerca de 60% da escavação da segunda fase foi executada sob aterro composto de grandes blocos e os 40% restantes foram escavados na modalidade subaquática.

A profundidade do desmonte subaquático em relação à superfície foi da ordem de 9 a 10 metros, apresentando áreas localizadas com 18 metros de profundidade.

3. Escavações do Vertedouro

3.1 Principais interferências

As escavações do Canal de Aproximação, Vertedouro e Bacia de Dissipação foram executadas com desmonte em bancadas. A foto 3 apresenta as escavações realizadas nesta fase.



Foto 3

As principais interferências das escavações do vertedouro envolveram:

- possibilidades de ultralanchamento em torre de alta tensão e instalações.
- Provável dano das vibrações ao concreto, relés, turbinas, vertedouro e tomada d'água da Usina existente, em operação.

3.2 Testes e Critérios de Segurança

Executaram-se testes iniciais de captação de vibrações, inclusive aquelas originadas pela própria usina, que mostrou valores inferiores a 0,1 mm/s.

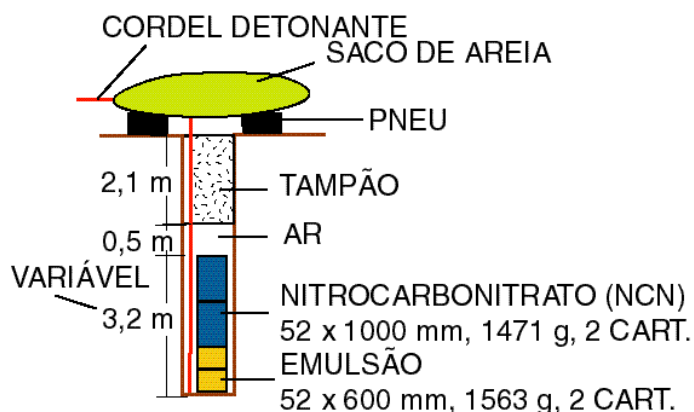
Analisou-se a probabilidade de ressonância entre a vibração imposta pelo desmonte e a frequência fundamental da usina, considerando-se que não havia probabilidade de ressonância construtiva.

Testes mostraram que obtenção dos melhores resultados de fragmentação e lançamento para remoção do material nos desmontes à céu aberto (1ª etapa) com escavadeira, sem possibilidades de ultralancamento, devido à grande proximidade da linha de transmissão e da usina antiga, requereram o seguinte:

- carga de base de explosivo tipo Emulsão ensalsichada, peso específico igual a 1,1 g/cm³.
- carga de coluna de explosivo tipo NCN (Nitrocarbonitrato), ensalsichado na obra, peso específico igual a 0,6 g/m³.
- Iniciação por cordel detonante de 10 g/m.
- temporização por retardo de cordel.
- coluna de ar de 0,5 m entre a carga e o tampão.
- tampão de alta resistência dinâmica (pedra 1) com no mínimo 2 m de comprimento.
- razão máxima de carregamento de 300 g/m³.
- Um pneu e sobre ele um saco de areia, forneceram segurança quanto ao ultralancamento vertical, além da camada de ar mantida no furo.
- Os desmontes esculturais foram conduzidos com furos de 2,5 polegadas de diâmetro e cartuchos de explosivos de 1 polegada de diâmetro espaçados em cordel detonante de 10 g/m e resultando razão de carga de 250 g/m² e espaçamento de 0,6 m.
- Os desvios dos furos foram minimizados com a adoção de:
 - meio avanço.
 - Bit retractil.
 - Haste guia.

A figura 1 mostra o esquema para as detonações a céu aberto.

DESMONTE A CÉU ABERTO



diâmetro do furo = 76 mm
afastamento = 1,5 m
espaçamento = 3,0 m
subperfuração = 1,3 m
altura de bancada = 4,5 m (variável)
razão de carregamento = 0,280 a 0,300 kg/m³ sólido

Figura 1 – Detonação a Céu aberto

Os critérios de segurança para a primeira etapa foram os seguintes:

Estrutura	Velocidade de vibração(mm/s)
Comporta do Vertedouro	100
Concreto	150
Conduto forçado da turbina	60
Relé da turbina	36

3.3 Monitoração

VIBRAÇÃO

A equação de propagação da velocidade da partícula (equação de máxima energia, com 95% de confiança), adotada após os testes iniciais e confirmada pelos desmontes executados é a seguinte (ver figura 3):

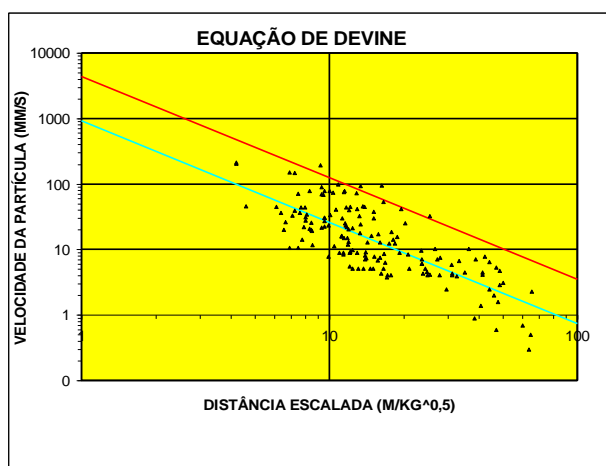


Figura 2 – Equação de Propagação de Vibrações

$V_p = 4381 \times (DE)^{-1.55}$ com coeficiente de correlação de 77%.

Onde: V_p é a velocidade de vibração em mm/s

DE é a distância escalada ($D/Q^{0,5}$), sendo D a distância em m e Q a carga por espera em Kg.

Foram executadas, nesta fase, escavações à céu aberto a menos de 7m dos relés das turbinas, cujo critério limite de velocidade de vibração de partícula era de 36mm/s, sem que houvesse acionamento dos mesmos, devido ao refinamento introduzido nos planos de fogos implantados.

4. Escavação do Septo de Montante

O septo de montante é apresentado na foto 4.



Foto 4

4.1 Critérios de segurança: vibrações e pressões hidrodinâmicas

A escavação do Septo de Montante, conforme mostrado na foto 3, envolveu:

- carga confinada em furos.
- cargas de contato. (Como o próprio nome em preto indica, o explosivo é colocado em direto contato com a rocha e sua ação contra a mesma é exclusivamente devido à ação da onda de choque. O trabalho executável pela pressão gasosa inexistente neste caso).

VIBRAÇÃO - carga confinada em furos ou carga de contato

Nesta etapa todas as detonações foram subaquáticas.

A figura 3 mostra o limite do septo rochoso e as distâncias críticas as estruturas, relés, terminais e equipamentos eletromecânicos.

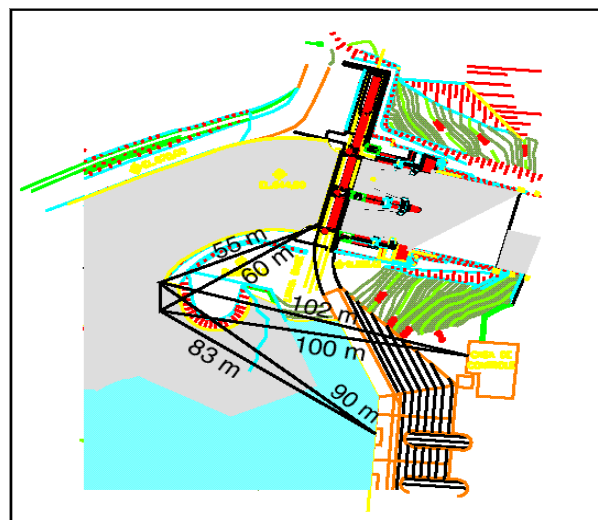


Figura 3 – Distâncias críticas do desmonte subaquático.

Os critérios de segurança para a segunda etapa foram os seguintes:

Estrutura	Velocidade de vibração(mm/s)
Nova comporta	100
Concreto	300
Conduto forçado da turbina	60
Relê	36

PRESSÃO HIDRODINÂMICA - carga confinada em furos ou carga de contato

Muitos trabalhos já foram realizados no Brasil nos quais foram medidas as pressões hidrodinâmicas transmitidas pelos desmontes subaquáticos. Em especial, a implantação da IV etapa da UHE Cachoeira Dourada e o Lake Piercing (rolha) da Barragem de Pirapora foram monitorados pelos engenheiros da Matra Engenharia.

Isto permitiu traçar, para explosivos confinados em furos (que é muito diferente de cargas de contato, praticamente desconfinadas), a lei de previsão de Nieble/Cintra, que será apresentada adiante.

Os critérios de segurança para a segunda etapa foram os seguintes:

Estrutura	Pressão Hidrodinâmica (Atm)
Nova comporta	1,7
Concreto	3,0
Conduto forçado da turbina	1,6

4.2 Planos de fogos e monitoração

Foi utilizado explosivo a base de NG (nitroglicerina), com diâmetro de 51 mm. A perfuração foi feita em diâmetro de 76 mm com método OD (Overburden Drilling) e o diâmetro interno do revestimento foi de 64 mm. O afastamento foi da ordem de 1,5 m.

O capeamento de solo variou de 0 a 8 metros para uma bancada de 10 metros e a subperfuração de 1,5 a 2,0 m. O comprimento da carga variou de 4,3 a 8,5 metros e o tampão mínimo era de 3,0 metros.

- Foi adotado o método de iniciação envolvendo linha dupla de cordel de 10 g/m.
- Por motivos de segurança o circuito (ligações de acessórios na superfície) sempre foi fechado. Isto evitou falhas por roubo de furos ou por falha do próprio acessório.
- Evitou-se que qualquer detonação caminhasse em direção às instalações em operação. Isto minimizou vibrações, impacto de ar e pressão hidrodinâmica nas estruturas. Veja figura.

A figura 4 apresenta um esquema típico destas detonações.

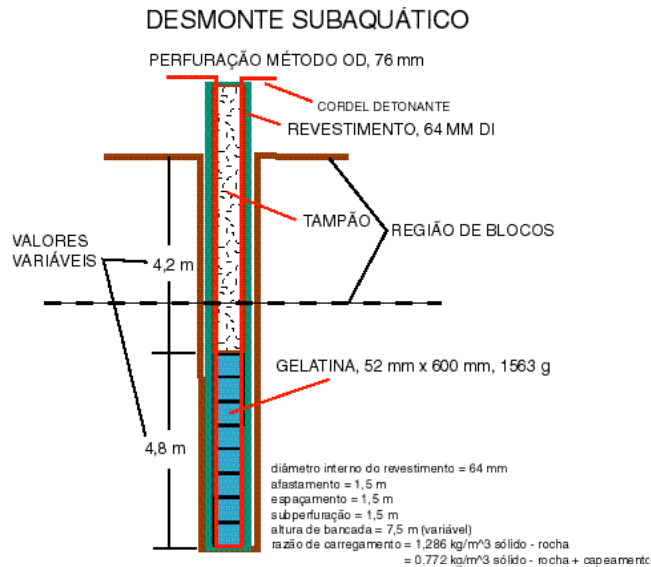


Figura 4 – Detonação Subaquática

VIBRAÇÃO - carga confinada em furos

Todas as detonações se nortearam pela equação de máxima energia da primeira etapa.

- Apenas uma medida realizada se situou acima da equação de previsão, o que está perfeitamente dentro do nível de confiança (95%) da mesma.
- A vibração da maioria das detonações subaquáticas se situou abaixo da previsão, talvez causada pelo menor número de furos detonados. Quanto maior o número de furos, maior é a probabilidade de sobreposição entre furos e conseqüente maior vibração.
- A vibração das detonações subaquáticas para retirada do repé foi muito abaixo das previstas, talvez causada pelo menor número de furos detonados e pela direcionalidade das detonações. A propagação das detonações neste caso eram em sentido contrario as estruturas a serem protegidas.

Todos os critérios de segurança foram atendidos em todas as detonações.

VIBRAÇÃO – carga de contato

Algumas medidas de vibração foram feitas para cargas de contato. Os valores medidos estavam dentro do intervalo de previsão da equação de propagação da velocidade da partícula para a primeira etapa (valor máximo e valor mais provável).

PRESSÃO HIDRODINÂMICA - carga confinada em furos

Todas as detonações se nortearam pela equação de máxima energia com 95% de confiança, conforme figura 5.

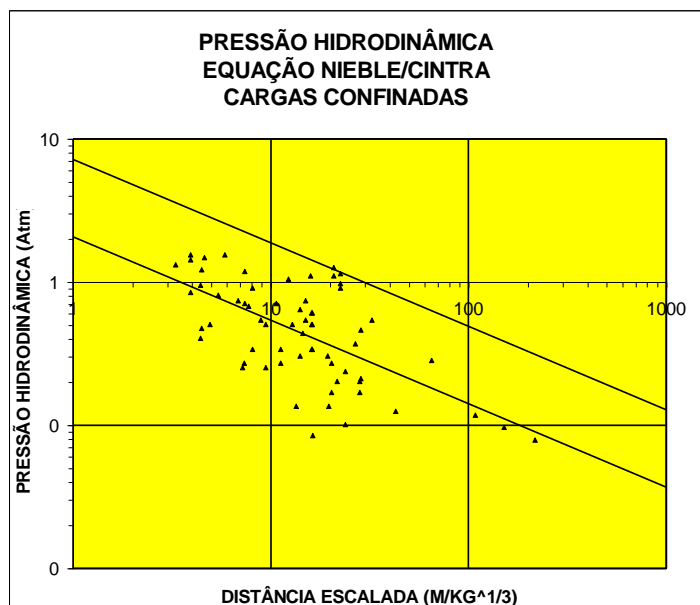


Figura 5 – Pressão Hidrodinâmica

Esta equação de máxima energia de Nieble/Cintra é dada por:

$$Ph = 7,2 \times (DE)^{-0,58} \text{ com coeficiente de correlação de } 62 \%$$

Dos registros concluímos:

- Algumas medidas revelaram valores maiores do que os valores previstos.
- A pressão hidrodinâmica da maioria das detonações subaquáticas se situou abaixo de 2,7 Atm, consideradas seguras para as estruturas.

Todos os critérios foram atendidos em todas as detonações.

PRESSÃO HIDRODINÂMICA - carga de contato

Poucos testes com cortinas de ar comprimido foram realizados, evidenciando que elas não são eficientes na diminuição da pressão hidrodinâmica.

A pressão hidrodinâmica da maioria das detonações subaquáticas se situou abaixo de 3,9 Atm (cerca de 40 % mais do que cargas confinadas). E não causaram nenhum problema às estruturas, incluindo o conduto de alta pressão da Usina existente.

5. Dificuldades inerentes às atividades

Em função do rigoroso controle do ultralançamento na primeira etapa, foi necessário diminuir em muito a razão de carregamento, o que causou fragmentação inadequada para otimizar o tempo de limpeza.

O controle rigoroso da vibração na primeira e segunda etapas e o controle rigoroso da pressão hidrodinâmica na segunda etapa provocaram

também uma certa redução da eficiência nos desmontes, em consequência da limitação do diâmetro máximo de perfuração e de explosivo, acarretando maiores custos unitários devido principalmente ao custo incidente de acessórios.

6. Conclusões

Do trabalho realizado concluído, como se pode ver na foto 5, que pode-se tirar as seguintes observações:



Foto 5

- escavações cuidadosas permitiram implantação segura do vertedouro complementar da UHE Mascarenhas de Moraes com a usina em operação e sem nenhuma interrupção do abastecimento de energia quer por ultralancamento ou efeito da vibração e/ou pressão hidrodinâmica.
- escavações cuidadosas e esculturais permitiram melhorar o aspecto visual dos taludes em rocha, em especial do paredão rochoso à montante da usina.
- no desmonte subaquático, ocorreram repés na remoção do septo de montante que foram devidamente retirados posteriormente.

Os trabalhos foram integralmente executados com a segurança estabelecida pelo controle de qualidade da CNO, e aprovados por Furnas.

7. Bibliografia

- Nieble, C. M. "Escavação em rocha para fundações de barragens" Simpósio Sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná, São Paulo, ABGE, ABMS, CBMR, 1983
- Nieble, C. M., Aquino, A., Cintra, B.H. "Desmontes sem ultralancamento permitem escavações seguras na 2ª etapa da U.H.E. TUCURUI, XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza, Ceará, 2001.
- Konya J. Calvin and Edward J. Walter - Seminar on Blasting and Overbreak Control - Precision Blasting Services - May - 1985.
- Konya J. Calvin and Edward J. Walter - Seminar on Blasting and Overbreak Control - Precision Blasting Services - May - 1985.
- Favreau, R.F. e Chung,S. - Field Measurement of Rock\properties - Technical Conference on Dry Blasting, Abril 1969.