

Perfuração de Sistema Revestido de Drenagem de Fundação em Barragens de Concreto

Drilling of Coated Foundation Drainage System in Concrete Dams

Victor Hugo Souza Oliveira

*Eng. Civil, Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
victorh.souzaoliveira@gmail.com*

Resumo

A barragem da Usina Hidrelétrica de Rosal se localiza no rio Itabapoana, no município de São José do Calçado, Espírito Santo. Construída em 1999, a barragem de Rosal é do tipo concreto gravidade e está fundada em rocha sã. Em 2018 foi realizada a Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPS) de Rosal, que tratou de verificar as condições gerais de segurança da barragem, considerando os conhecimentos e critérios atuais de engenharia e as melhores práticas. A estabilidade global das estruturas de concreto da UHE Rosal foi avaliada como requisito da RPS e para tal análise adotaram-se fatores de segurança, ações e combinações de carregamento baseados nos Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (Eletrobrás/CBDB (2003)). No âmbito desses estudos foi verificado que os blocos do vertedouro não atendem aos fatores de segurança estabelecidos, sendo necessária a execução de drenos a partir da galeria de visita. A barragem de Rosal é do tipo gravidade de Concreto Compactado a Rolo (CCR), fato que exigiu a necessidade de se prever um revestimento adequado a esses novos drenos para a proteção do concreto da barragem e do próprio sistema de drenagem. Sua fundação é em rocha sã, entretanto foram mapeadas ocorrências pontuais de alterações avançadas do maciço rochoso (caixas de falhas), o que resultou na necessidade de se prever revestimento também para os trechos em rocha dos novos drenos. Neste trabalho são descritos os procedimentos, métodos, ações e decisões tomadas ao longo do processo para garantir a perfuração de drenos e o bom desempenho desse sistema de drenagem considerando as dificuldades de se atuar a partir de uma galeria com dimensões reduzidas e de se realizar a compatibilização executiva dos dois tipos de revestimento, objetivando a adequação dos blocos do vertedouro aos Critérios de Projeto da Eletrobrás - 2003.

Palavra-Chave: Estabilidade Global, Drenagem de Fundação, Revestimento de drenos, Barragem CCR

Abstract

The dam of Rosal Hydroelectric Power Plant is located on the Itabapoana river, São José do Calçado, Espírito Santo. Built in 1999, Rosal is a gravity concrete dam type and its foundation is a good quality rock mass. In 2018, the Periodic Safety Review of the Dam (PSR) of Rosal was carried out, which sought to verify the general safety conditions of the dam, considering current engineering knowledge and criteria. The global stability of the concrete structures of the Rosal HPP was evaluated as a requirement of the PSR and for this analysis, safety factors, actions and loading combinations were adopted based on the Civil Design Criteria for Hydroelectric Power Plants (Eletrobrás/CBDB (2003)). Within the scope of these studies, it was verified that the spillway blocks do not meet the established safety factors, requiring that drains were drilled from the visit gallery. Rosal dam is a roller-compacted concrete (RCC) gravity type, a fact that required the need to provide an adequate coating for these new drains to protect the dam's concrete and the drainage system itself. Despite the good quality of the rock foundation, occasional occurrences of advanced alterations of the rock mass were mapped, which resulted in the need to provide a coating also for the rock sections of the new drains. This work describes the procedures, methods, actions and decisions taken throughout the process to guarantee the effective drilling of the drains and the good performance of this drainage system, considering the difficulties of working from a gallery with reduced dimensions and the challenge of carrying out the executive compatibility of two different types of coating, aiming at the adequacy of the spillway blocks to the Eletrobrás Project Criteria - 2003.

Keywords: Global Stability, Foundation Drainage, Drain Coating, RCC Dam

1 Introdução

1.1 Aspectos Gerais

Rosal é uma usina hidrelétrica com potência instalada de 55 MW, cujas estruturas civis compreendem: Barragem da Margem Direita, Barragem da Margem Esquerda e Vertedouro de Superfície Central em concreto compactado a rolo (CCR), Tomada D'água, Casa de Força, Chaminé de Equilíbrio, Túnel Adutor e Condutos Forçados.

O arranjo geral da usina compreende as barragens da margem direita e da margem esquerda e o vertedouro de superfície central, todas construções do tipo CCR – Concreto Compactado a Rolo. Além da tomada d' água, casa de força, chaminé de equilíbrio, túnel adutor e condutos forçados.

O sistema extravasor da UHE Rosal é composto por um vertedouro de crista livre com soleira em degraus. Situada na região central do barramento, esta estrutura conta com 55,00 m de comprimento e capacidade de descarga máxima de 1205 m³/s, superior à cheia de projeto com tempo de recorrência de 10.000 anos, que é de 879 m³/s. Com o intuito de manter uma vazão mínima no trecho de vazão reduzida, tem-se também uma válvula dispersora localizada à direita hidráulica do vertedouro da UHE Rosal.



Figura 1 - Arranjo Geral do barramento da UHE Rosal

1.2 Aspectos Geológicos Locais e Tratamento da Fundação

A Usina Hidrelétrica de Rosal encontra-se inserida em terrenos de idade Pré-Cambriana, pertencentes à Associação Paraíba do Sul. Destacam-se desta associação quatro unidades geológicas, de acordo com a predominância de uma determinada litologia, quais sejam: complexo gnáisse-migmatítico, gnáisse-charnockítico, gnáisse-granítico ou

granitóides e quartzitos. Pôde-se destacar, ainda, outra unidade constituída pelos sedimentos aluviais mais recentes (ENGEHIDRO (1999)).

Na área da UHE Rosal, o relevo moderadamente acidentado, com atitudes entre 400 e 950 m, é suportado essencialmente por rochas charnockíticas e gnáissicas. A Serra dos Aguires se destaca com o acidente geográfico local, com cerca de 950 m de altitude, ao longo da qual se desenvolve grande parte do túnel de adução, com seus 4.690 m de extensão. Ao longo deste túnel foram observadas algumas falhas geológicas, em sua maioria com rocha muito alterada no interior da caixa de falha, com espessura entre 1,0 a 20,0 cm, com paredes lisas e com estrias de fricção, denotando a movimentação da rocha. Em muitas delas ocorriam forros de água classificados como W3, ou seja, com vazão < 30 l/min (ENGEHIDRO (1999)).

As fraturas principais, além das juntas de alívio que ocorriam principalmente na região da ombreira direita da barragem, se apresentaram com persistência de médio a grande porte, a saber, com 3,0 a 20,0 m de extensão, preenchidas com material de alteração/oxidação e saturado, com até 20 cm. Nas caixas de falha o material cataclasado, extremamente alterado, se mostrava com espessura de alguns metros, chegando a atingir até 7 m na região da calha do rio. Além destas falhas mais espessas, com caixa de falha, várias outras foram mapeadas na superfície de fundação, com contado rocha-rocha ou espessura de alguns centímetros.

Na região da ombreira direita havia apenas 5 destas falhas, mais uma caixa de falha com cerca de 6,0 m, enquanto na ombreira esquerda foram mapeadas 18 falhas “secas”. Na região do leito do rio, durante o período de escavações da fundação, foram detectados 7 pontos de surgência d’água, sendo 4 deles localizados na região mais a montante, conforme pode-se depreender do mapeamento realizado ao final das escavações.

A seguir apresentam-se alguns registros típicos das caixas dos testemunhos de sondagem, que fazem parte da documentação sobre o projeto da usina de Rosal.

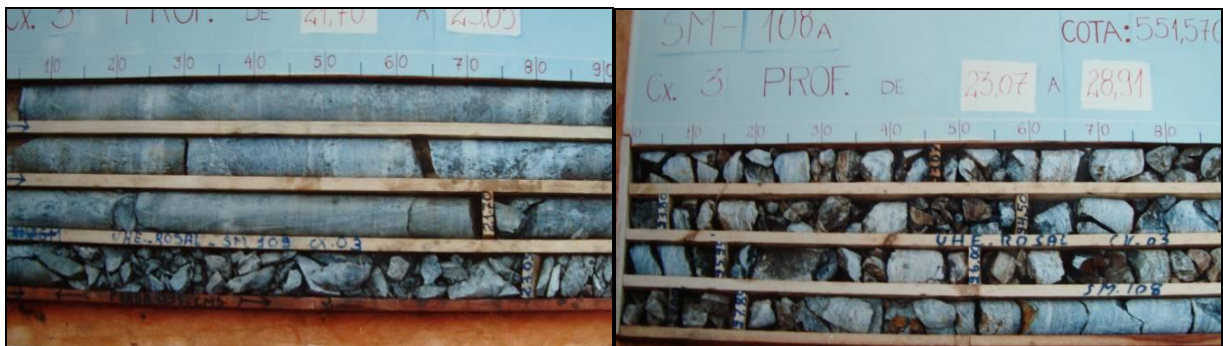


Figura 2 - à esquerda o furo SR-205 (época da construção) entre cerca de 22 e 25 m de profundidade, com rocha pouco fraturada acima de rocha extremamente fraturada. À direita o SR-108A em trecho de rocha muito fraturada com juntas parcialmente alteradas (SOLOTOP (1998)).

Na região das caixas de falha, onde a rocha se apresentava muito alterada e com elevada deformabilidade, o tratamento foi rigoroso, com escavação da rocha e preenchimento das cavidades com concreto. Sobre as falhas principais do leito do rio e ombreira direita houve

preocupação com recalques diferenciais durante a construção da barragem, então, nestes locais, empregou-se uma espessa camada em concreto convencional armado.

Para melhorar as condições de permeabilidade da rocha foi executada cortina de injeção, a qual atingiu cerca de 10 m de profundidade na região das ombreiras, e cerca de 20 a 25 m na região do leito do rio. Complementando o tratamento no barramento, foram executados drenos a partir da superfície da fundação, antes da concretagem, empregando-se um sistema de meia-canais de concreto ao longo da extensão da barragem, com algumas derivações para jusante.

Destaca-se que o maciço rochoso de fundação da barragem, em termos gerais, se apresenta contínuo, com exceção da região com falhas, e com boas características geomecânicas globais, em termos de capacidade de suporte, resistência ao cisalhamento e deslizamento.

2 Revisão Periódica de Segurança da Barragem UHE Rosal

Em 2018 foi realizada a Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPS) de Rosal, que tratou de verificar as condições gerais de segurança da barragem, considerando os conhecimentos e critérios atuais de engenharia, bem como as melhores práticas. Os estudos foram realizados por equipe multidisciplinar composta por especialistas em geotecnia, geologia, estruturas de concreto, hidráulica, hidrologia, entre outros. Durante as análises do comportamento global da estrutura, os profissionais envolvidos levaram em consideração todo o contexto em que ela está inserida, uma vez que há correlações entre as áreas do conhecimento referentes à segurança de barragem.

A estabilidade global das estruturas de concreto da UHE Rosal foi avaliada como requisito da RPS. Para tal análise adotaram-se fatores de segurança, ações e combinações de carregamento baseados nos Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas – Eletrobrás/CBDB de 2003.

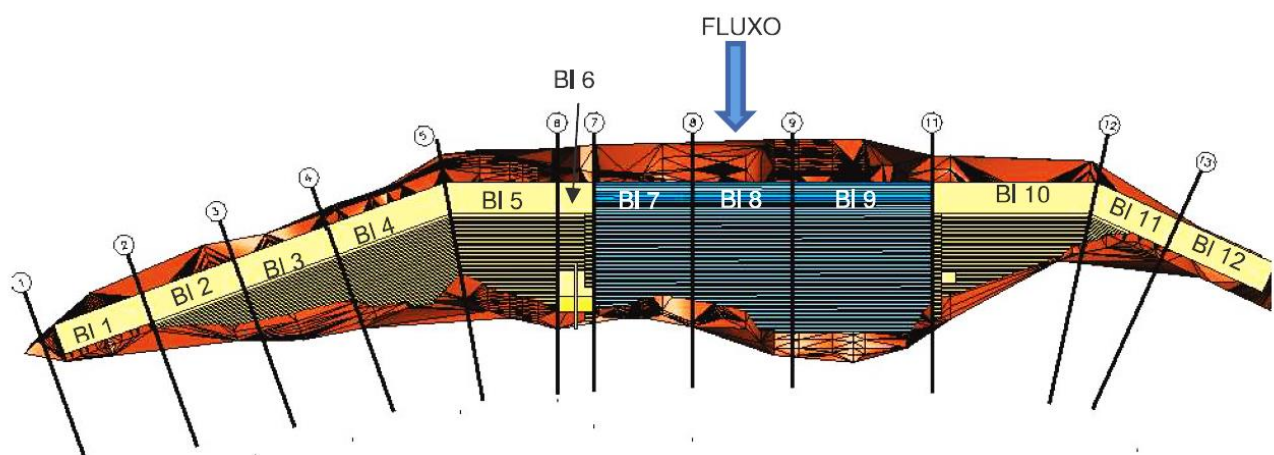


Figura 3 - Seções analisadas no âmbito dos estudos da Revisão Periódica de Segurança de 2018

A geometria do barramento foi reproduzida em um desenho tridimensional a partir dos desenhos “Como construído – ENGEHIDRO (1999)”. O modelo digital tridimensional da fundação foi obtido a partir da interpolação entre as 21 seções transversais e 3 longitudinais do barramento disponíveis no referido documento. A Figura 4 apresenta as seções utilizadas na construção do modelo tridimensional da fundação:

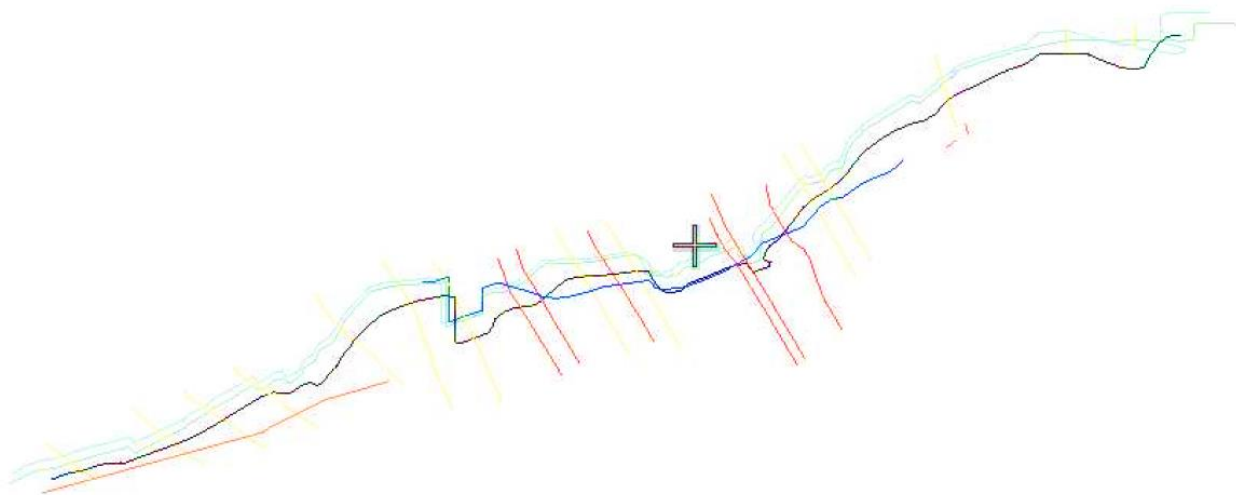


Figura 4 - Modelo tridimensional da fundação obtido a partir da interpolação de 21 seções extraídas do projeto as built.

O sistema de drenagem da fundação é conformado por um meia-cana com diâmetro de 0,40 m pré-moldada em concreto, conforme se apresenta no desenho DS-ROS-19C-009 RevCC (ENGEHIDRO (1999)). A percolação proveniente dos drenos de fundação da barragem é conduzida para jusante por canaletas meia-cana, dispostas longitudinalmente ao longo do maciço (Figura 5).

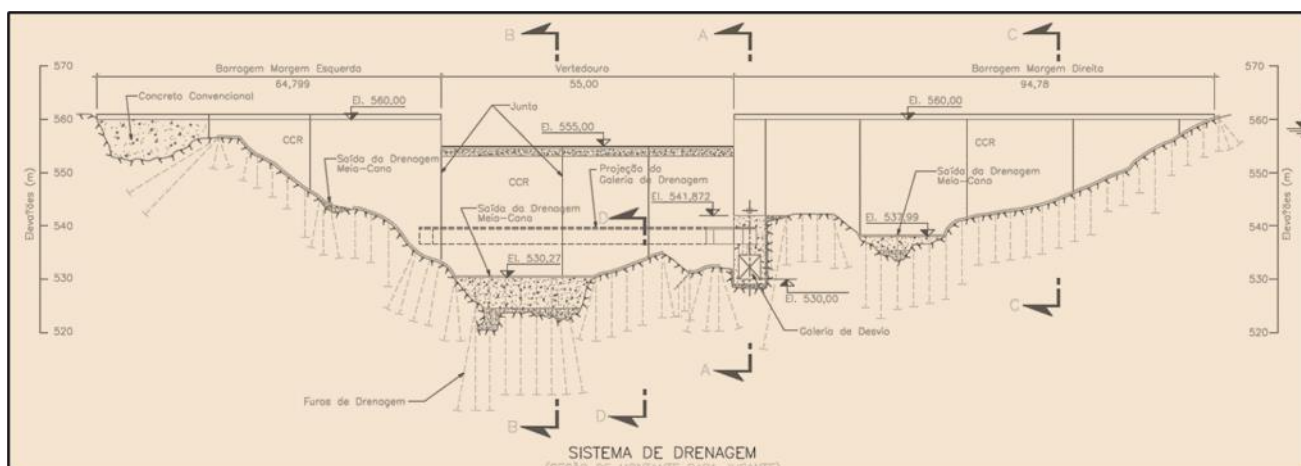


Figura 5 - Projeto executivo do sistema de drenagem, formado por drenos de fundação confinados pela meia cana, que acompanha longitudinalmente o recorte da rocha

Nas Figuras 6 e 7 se verificam registros do processo de execução do sistema:



Figura 6 - Perfuração dos drenos de fundação, conformados pela meia cana.



Figura 7 - Execução da meia cana ao longo da ombreira direita.

Diante da impossibilidade de realizar o processo de limpeza e/ou substituição dos furos de drenagem, os cálculos apresentados no supracitado estudo desconsideram a drenagem da fundação, conforme recomendam os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (ELETROBRÁS (2003)):

Critérios para verificação da drenabilidade do furo antes e após enchimento do reservatório e a necessidade de submetê-lo a processos de limpeza ou de substituição por outro.

Figura 8 – Aspecto que deve ser considerado no projeto de drenagem da fundação, de acordo com o documento Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2003)

Portanto, desconsiderando o alívio de subpressões pelo sistema de drenagem do projeto, foi verificado que os Blocos 7, 8 e 9 não atendem aos fatores de segurança estabelecidos, sendo necessárias intervenções para que toda estrutura atenda aos critérios de projeto atuais.

3 Adequações Propostas

Decorrente do não atendimento aos critérios para o caso de tombamento dos Blocos 7, 8 e 9 do vertedouro, foi realizada a análise considerando a perfuração de duas linhas de drenos, a montante e a jusante, localizadas a partir do piso da galeria, com espaçamento de 3 metros entre eles e profundidade variável.

Definiu-se que a linha de montante deveria ter inclinação de modo que se buscasse alcançar, na linha de fundação, a meia cana de drenagem existente e profundidade adequada para não interceptar a linha de injeção a montante da referida meia cana.

A linha de jusante deveria ter um ângulo reto em relação à horizontal e a profundidade seria definida pelo geólogo do projeto.

Considerando as premissas supracitadas, os fatores de segurança se mostraram adequados para todos os cenários de carregamento.

Para a implementação dessa solução, se fez necessário o encamisamento dos furos de drenagem ao longo da estrutura de concreto (CCR), de forma que a drenagem ocorresse apenas em função da água percolada pela fundação e pelo contato concreto/rocha. Desse modo seria mantida também a integridade do concreto das paredes do furo ao longo do trecho em CCR.

4 Perfuração dos Drenos de Fundação da Barragem da UHE Rosal

Os serviços de perfuração foram executados pela empresa Barros Engenharia no período compreendido entre 12/07/2021 e 31/01/2022.

Em 19/07/2021 houve a visita técnica/reconhecimento do local, sendo destacada a primeira equipe para a execução da canaleta de drenagem de jusante, uma vez que as contribuições da galeria eram conduzidas apenas por uma canaleta, localizada a montante.

4.1. Execução da Canaleta de Drenagem de Jusante

Para a adequada condução das vazões dos drenos de jusante que viriam a ser perfurados, foi executada uma canaleta de drenagem na base da parede de jusante, com comprimento total de 62m, seção retangular, com largura de 0,20m e profundidade máxima de 0,30m, conforme indicação do croqui da Figura 9:

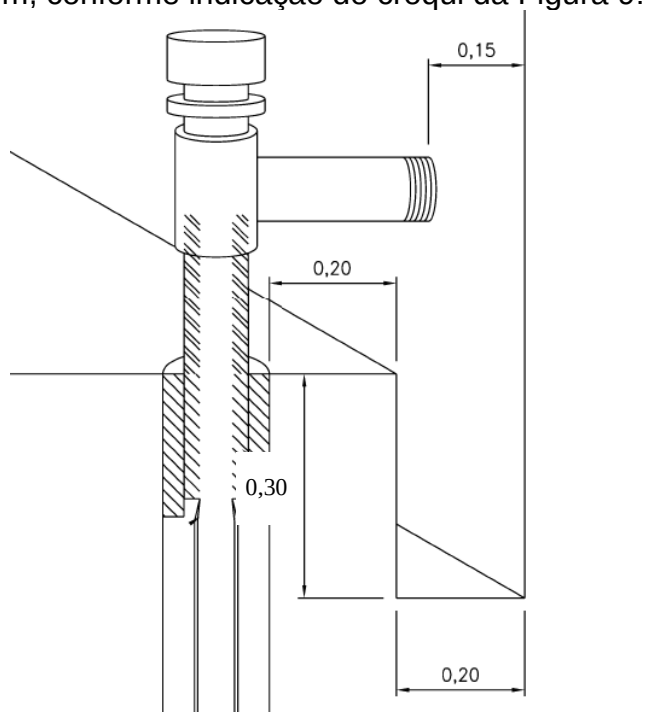


Figura 9 - Croqui esquemático da canaleta de jusante – Sem Escala.



Figura 10 - Canaleta executada antes do início da execução dos drenos.

A canaleta foi executada utilizando-se um disco diamantado de 7" acoplado a uma serra mármore e rompedores de diversos tamanho e peso, equipados de talhadeiras e ponteiros metálicos.

A solução adotada para o acabamento foi o revestimento de argamassa composto por cimento e areia, traço 1:3 (um volume de cimento por três de areia), com adição de aditivo acrílico MASTERFIX da fabricante BASF, proporção 1:2 (adesivo / água).

Para a adequada condução das vazões da canaleta de jusante para a canaleta de montante, especificou-se um trecho de canaleta de ligação de 2,30m conforme o croqui da Figura 11. Sobre a canaleta deveria ser instalado um ralo linear do tipo grelha, cujo material deveria ter resistência compatível com o trânsito de pessoas e equipamentos no local.

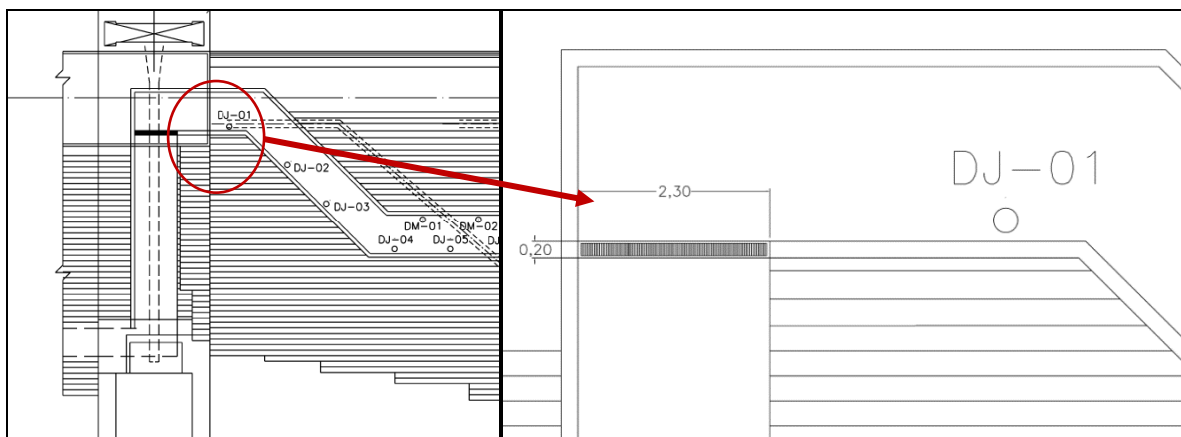


Figura 11 - Canaleta de Ligação inicialmente prevista

Durante os serviços a fiscalização foi acionada pela equipe técnica da empreiteira devido à constatação da presença de uma barra de aço componente da armadura não indicada nos projetos. Os serviços foram imediatamente suspensos e o recorte do piso teve sua locação alterada de forma que não interceptasse nenhuma barra de aço.

Neste trecho da condução das vazões de jusante para montante, foi instalada uma tampa metálica de chapa xadrez 3/16", com cantoneiras de abas iguais 2" x 3/16", dimensionada para o trânsito de equipamentos pesados. Após a limpeza das ferragens, o material recebeu tratamento anticorrosivo PRIMER SUMADUR SP 530 (fundo anticorrosivo) e duas demãos de tinta SUMATANE (cor amarelo segurança).

Os resíduos gerados com a abertura da canaleta foram acondicionados na área externa adjacente à entrada da galeria e destinados a reparos das estradas internas de acesso à usina durante o período chuvoso.

4.2. Topografia

A locação dos furos de sondagem foi realizada pela subcontratada AST – Almeida Serviços Topográficos, com o devido acompanhamento e orientação da fiscalização. Foram utilizados GPS, estação total e nível ótico para a locação dos furos.

4.3. Perfuração dos Drenos de Jusante e de Montante

Como pontos de atenção para a execução da perfuração, destacavam-se as dimensões reduzidas da Galeria de Drenagem e Acesso (2,50 m x 2,70 m) e a presença de instrumentos instalados ao longo da extensão da estrutura. Por este motivo, antes do início dos serviços a contratada realizou uma visita ao local da usina, visando avaliar as reais condições de campo e prever a logística adequada para a execução da intervenção.

Adicionalmente, apesar de não serem consideradas espaço confinado em condições normais de operação, a ventilação existente do local é insuficiente para remover contaminantes gerados no decorrer da perfuração, favorecendo a formação de condições inseguras de trabalho. Por este motivo, caracterizou-se o local como espaço confinado, tendo sido necessária, portanto, a implementação de todas as medidas mitigadoras de riscos exigidas pela NR-33, inclusive com o monitoramento da qualidade do ar durante toda a execução da obra.

Para possibilitar a perfuração e as manobras de saque dos testemunhos em inclinações que variavam de 0 a 90°, limitadas ainda as dimensões da galeria em 2,50m x 2,70, a contratada realizou um trabalho importante de escolha e adaptações das perfuratrizes.

- Para as perfurações mais profundas e com inclinações verticais e subverticais foi utilizada a Sonda elétrica JKSMIT&SONS-International modelo Sueco. Foram dimensionadas e confeccionadas novas composições de hastes e barriletes sob encomenda para este serviço;
- Para as perfurações mais superficiais e com inclinações sub-horizontais utilizou-se a sonda elétrica Hilt DD200;



Figura 12 - Sonda JKSMIT&SONS adaptada (à esquerda) e Hilt DD200 (à direita)

Nos períodos de maior produção, quando estavam sendo realizadas apenas as atividades de sondagem, foram utilizadas quatro perfuratrizes simultaneamente. Cumpre destacar, entretanto, que a produtividade se mantinha altamente relacionada à qualidade do concreto na região do bloco do vertedouro. Por ter sido construída em Concreto Compactado a Rolo, diversas regiões apresentavam vazios que prejudicavam o desempenho das coroas. Se fez necessária a fabricação de maior quantidade de coroas, além da constância de testes ao longo de todo o período de execução dos furos para se dimensionar a liga mais adequada para cada região de sondagem.



Figura 13 - Coroa danificada devido aos vazios do concreto.

Foram executados 34 furos de sondagem rotativa, com recuperação total dos testemunhos, a partir da Galeria de Drenagem e Acesso, considerando uma linha a montante com 16 drenos inclinados e uma linha a jusante com 18 verticais, com espaçamento da ordem de 3,0 m entre furos, totalizando 562,69m, conforme locação indicada na Figura 14 e detalhes da Tabela 1.

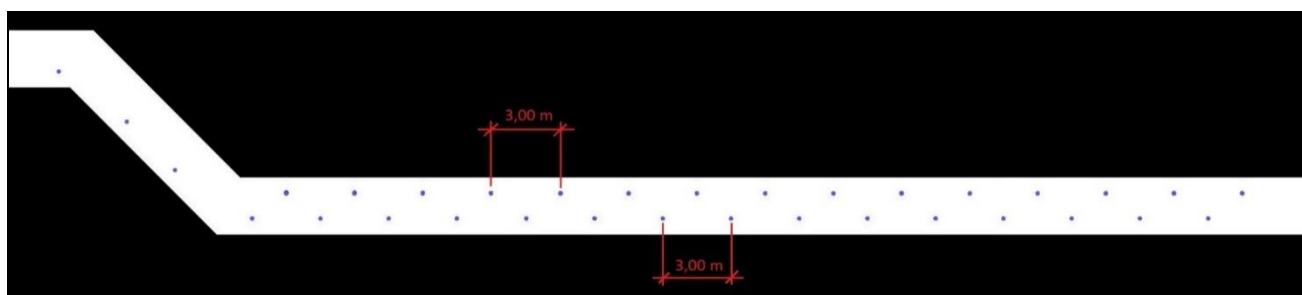


Figura 14 – Croqui esquemático da disposição dos furos ao longo da Galeria de Drenagem e Acesso

As profundidades de perfuração em concreto/rocha foram inicialmente estimadas a partir dos desenhos de projeto tiveram seus valores atualizados à medida em que os furos foram realizados.

Para a linha de drenos de montante, a diretriz estabelecida era a de se buscar interceptar a meia cana do sistema de drenagem original de projeto. Neste sentido, a contratada forneceu, a partir de visita prévia, a locação dos pontos de perfuração na galeria, assumindo como premissa a não interferência em relação aos pontos de instrumentação

existentes. De posse dos dados de locação dos pontos de sondagem, a equipe técnica da fiscalização calculou as inclinações e profundidades necessárias de perfuração para que os furos interceptassem a meia cana, e no caso da impossibilidade desta, interceptasse o contato.

O ponto de atenção nesta etapa foi a limitação da profundidade desses drenos inclinados, uma vez que em hipótese alguma a sondagem poderia atravessar a cortina de injeção da fundação. Houve, deste modo, um trabalho minucioso de cálculo das inclinações e profundidades a partir da sobreposição dos dados dos projetos de instrumentação, de formas e de mapeamento topográfico da fundação, todos advindos do projeto executivo.

Durante a perfuração foram coletadas as informações de: posição dos furos, diâmetro, inclinação, cota de boca e de fundo do furo, profundidades, fotos dos testemunhos com a identificação das profundidades e equipamento utilizado. Estes dados constam em boletins de sondagens e as principais informações estão apresentadas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Informações principais da etapa de sondagem dos drenos

DRENOS DE JUSANTE						
Identificação	Inclinação	Profundidade (m)				
		Concreto (m)	Diâmetro	Rocha (m)	Diâmetro	Total (m)
DJ-01	90°	4,17	4" - HW	12,00	4" - HW	16,17
DJ-02	90°	5,29	4" - HW	11,98	4" - HW	17,27
DJ-03	90°	5,73	4" - HW	11,94	4" - HW	17,67
DJ-04	90°	6,83	4" - HW	10,54	4" - HW	17,37
DJ-05	90°	6,45	4" - HW	9,95	4" - HW	16,40
DJ-06	90°	3,98	4" - HW	11,94	4" - HW	15,92
DJ-07	90°	4,20	4" - HW	12,18	4" - HW	16,38
DJ-08	90°	5,46	4" - HW	12,10	4" - HW	17,56
DJ-09	90°	5,10	4" - HW	12,46	3" - NW	17,56
DJ-10	90°	14,30	4" - HW	15,34	3" - NW	29,64
DJ-11	90°	14,75	4" - HW	15,00	3" - NW	29,75
DJ-12	90°	14,30	4" - HW	15,00	3" - NW	29,30
DJ-13	90°	14,64	4" - HW	6,06	3" - NW	20,70
DJ-14	90°	14,25	4" - HW	15,55	3" - NW	29,80
DJ-15	90°	15,50	4" - HW	15,50	3" - NW	31,00
DJ-16	90°	13,39	4" - HW	4,38	3" - NW	17,77
DJ-17	90°	6,32	4" - HW	15,27	3" - NW	21,59
DJ-18	90°	2,87	4" - HW	12,08	3" - NW	14,95
TOTAL DRENOS JUSANTE		157,53		219,27		376,80
DRENOS DE MONTANTE						
Identificação	Inclinação	Profundidade (m)				
		Concreto (m)	Diâmetro	Rocha (m)	Diâmetro	Total (m)
DM-01	44°	6,20	4" - HW	1,10	4" - HW	7,30

DM-02	28°	4,53	4" - HW	1,17	4" - HW	5,70
DM-03	39°	5,52	4" - HW	0,95	4" - HW	6,47
DM-04	45°	6,80	4" - HW	0,75	4" - HW	7,55
DM-05	50°	7,43	4" - HW	0,67	4" - HW	8,10
DM-06	54°	8,60	4" - HW	0,60	4" - HW	9,20
DM-07	64°	8,87	4" - HW	1,50	4" - HW	10,37
DM-08	72°	16,85	4" - HW	0,55	4" - HW	17,40
DM-09	71°	14,52	4" - HW	0,92	4" - HW	15,44
DM-10	71°	14,15	4" - HW	0,90	4" - HW	15,05
DM-11	71°	14,50	4" - HW	0,65	4" - HW	15,15
DM-12	71°	16,20	4" - HW	0,60	4" - HW	16,80
DM-13	77°	17,17	4" - HW	3,05	4" - HW	20,22
DM-14	69°	12,90	4" - HW	0,50	4" - HW	13,40
DM-15	62°	7,45	4" - HW	2,99	4" - HW	10,44
DM-16	51°	6,20	4" - HW	1,10	4" - HW	7,30
TOTAL DRENOS MONTANTE		167,89		18,00		185,89
TOTAL GERAL		325,42		237,27		562,69

Todas as sondagens foram executadas conforme preconiza o Manual de Sondagens - Boletim Nº 3 da ABGE (1999). As amostras foram coletadas e acondicionadas em local na área industrial da usina.

Os testemunhos foram armazenados em caixas próprias para este uso e para transporte, com tampa, compostas por material resistente e durável, com a identificação das profundidades e do respectivo furo.

4.4. Revestimento dos Furos de Drenagem

Considerando o grau de alteração do maciço rochoso da fundação nas regiões das caixas de falhas e objetivando a proteção do concreto das paredes ao longo do trecho em concreto do furo, foram especificados dois tipos de revestimentos a serem executados nos novos drenos:

- Revestimento do trecho perfurado em concreto com tubo geomecânico de PVC rígido de 4";
- Proteção dos trechos em rocha nas regiões intensamente fraturados e com forte tendência à instabilidade e/ou erodibilidade com tubo geomecânico de PVC rígido de 4", do tipo filtro, perfurado e recoberto por duas camadas de Tela de Nylon com malha de 60 micras;

Durante a execução dos serviços, entretanto, foi verificado que o diâmetro das coroas HW da contratada, de 99,26mm, era incompatível com os diâmetros de tubos de revestimentos geomecânicos de DN100 disponíveis no mercado, cuja dimensão mínima do diâmetro externo se inicia em 117mm, conforme se verifica no catálogo abaixo:

DN	d _{em} (mm)	Quantidade mínima	h mínimo (mm)
100	117,0	110	2,0
150	174,0	160	2,0
200	231,0	210	2,0
250	285,0	180	2,5
300	335,0	210	2,5

Figura 15 – Especificações Técnicas de revestimentos geomecânicos disponíveis no mercado (ABNT (1996)).

Deste modo, procedeu-se às seguintes substituições:

- O revestimento de tubo geomecânico rígido de 4" (diâmetro externo de 117mm) destinado ao trecho em concreto foi substituído pelo tubo de PEAD parede grossa de 90mm;
- O revestimento de proteção dos trechos de rocha alterado do tipo filtro com tela de nylon foi substituído pelo tubo de PEAD parede grossa de 63mm com aberturas confeccionadas em campo e envolto com duas camadas de tela de nylon com malha de 60 micras;

Devido à nova diferença entre os diâmetros do tubo de revestimento do concreto e do furo de sondagem, foi necessária a utilização de calda de cimento para a consolidação do concreto do entorno do furo. Esta calda teria duas funções principais: preencher os vazios do concreto CCR e chumbar o revestimento para a inserção do revestimento da fundação.

Para possibilitar o posicionamento do tubo sem que ocorressem deslocamentos do revestimento do concreto e sem que a calda de cimento escorresse para o trecho em rocha, foi inserido um obturador do tipo inflável, comumente utilizado inspeções de tubulações hidráulicas, mas adaptado para o serviço.

A adaptação consistiu na remoção da válvula do dispositivo e na sua instalação na extremidade de uma mangueira transparente com diâmetro 5/16". A outra extremidade da mangueira foi fixada no obturador, transformando-a em uma extensão da válvula. Dessa forma o obturador, instalado 10 cm abaixo do contato entre a fundação e o concreto, poderia ser inflado e desinflado a partir do nível da galeria. Para que a calda de cimento não chumbasse também o obturador, foi lançada uma camada de areia acima do obturador até o nível de alguns centímetros acima da boca do revestimento do concreto. A calda (a/c 1,0) era injetada e após o endurecimento o obturador era desinflado e removido do furo.



Figura 16 - Instalação da mangueira extensora no obturador



Figura 17 - Inserção do revestimento do concreto e lançamento de calda de cimento para seu chumbamento e para a consolidação do concreto do entorno.

Para concluir os serviços, após a instalação do revestimento do trecho em concreto (PEAD 90mm), inseria-se pelo seu interior o revestimento da rocha (PEAD 63mm).



Figura 18 - Confecção das aberturas do tubo e instalação de malha ASTM 60micra – Revestimento do trecho da fundação para a proteção da rocha.

5 Quadro resumo da execução dos drenos

Ao final dos serviços, tem-se as seguintes tabelas com o resumo das principais informações dos drenos executados na fundação do bloco do vertedouro da barragem de Rosal:

Tabela 2 - Quadro acompanhamento revestimento drenos de Jusante

Dreno	Revestimento Concreto Tubo PEAD Liso 90mm		Revestimento Rocha Tubo PEAD Filtro 63mm		Inclinação
	Diâmetro	Profundidade (m)	Diâmetro	Profundidade (m)	
DJ 01	4" - HW	4,17	4" - HW	12,00	90°
DJ 02	4" - HW	5,29	4" - HW	11,98	90°
DJ 03	4" - HW	5,73	4" - HW	11,94	90°
DJ 04	4" - HW	6,83	4" - HW	10,54	90°
DJ 05	4" - HW	6,45	4" - HW	9,95	90°
DJ 06	4" - HW	3,98	4" - HW	11,94	90°
DJ 07	4" - HW	4,20	4" - HW	12,18	90°
DJ 08	4" - HW	5,46	4" - HW	12,10	90°
DJ 09	4" - HW	5,10	3" - NW	12,46	90°

DJ 10	4" - HW	14,30	3" - NW	15,34	90°
DJ 11	4" - HW	14,75	3" - NW	15,00	90°
DJ 12	4" - HW	14,30	3" - NW	15,00	90°
DJ 13	4" - HW	14,64	3" - NW	6,06	90°
DJ 14	4" - HW	14,25	3" - NW	15,55	90°
DJ 15	4" - HW	15,50	3" - NW	15,50	90°
DJ 16	4" - HW	13,39	3" - NW	4,38	90°
DJ 17	4" - HW	6,32	3" - NW	15,27	90°
DJ 18	4" - HW	2,87	3" - NW	12,08	90°

Tabela 3 - Quadro acompanhamento revestimento drenos de Montante

Dreno	Revestimento Concreto Tubo Liso PEAD 90mm		Trecho em Rocha Sem Revestimento		Inclinação
	Diâmetro	Profundidade (m)	Diâmetro	Profundidade (m)	
DM 01	4" - HW	6,20	4" - HW	1,10	44°
DM 02	4" - HW	4,53	4" - HW	1,17	28°
DM 03	4" - HW	5,52	4" - HW	0,95	39°
DM 04	4" - HW	6,80	4" - HW	0,75	45°
DM 05	4" - HW	7,43	4" - HW	0,67	50°
DM 06	4" - HW	8,60	4" - HW	0,60	54°
DM 07	4" - HW	8,87	4" - HW	1,50	64°
DM 08	4" - HW	16,85	4" - HW	0,55	72°
DM 09	4" - HW	14,52	4" - HW	0,92	71°
DM 10	4" - HW	14,15	4" - HW	0,90	71°
DM 11	4" - HW	14,50	4" - HW	0,65	71°
DM 12	4" - HW	16,20	4" - HW	0,60	71°
DM 13	4" - HW	17,17	4" - HW	3,05	77°
DM 14	4" - HW	12,90	4" - HW	0,50	69°
DM 15	4" - HW	7,45	4" - HW	2,99	62°
DM 16	4" - HW	6,20	4" - HW	1,10	51°

6 Conclusões, observações e recomendações

Apesar do notório fato de que as estruturas civis da Barragem Principal sempre tenham apresentado um desempenho satisfatório, não havendo quaisquer evidências de anomalias que pudessem comprometer a integridade das estruturas do barramento, cumpre-se enfatizar que as condições de estabilidade das barragens tipo gravidade normalmente estão diretamente relacionadas ao nível das subpressões na fundação. No caso específico de Rosal, o principal ponto de atenção considerado pelas equipes técnicas responsáveis pela segurança da barragem dizia respeito à impossibilidade de manutenção futura do sistema de drenagem.

Durante uma a duas décadas não se previam não conformidades a este fato relacionadas, mas a partir do instante que se constatasse a perda de eficiência dos

drenos, através do aumento das subpressões na base da barragem, não haveria a possibilidade de se executar a sua limpeza. Dado o sucesso da intervenção, atualmente os blocos do vertedouro compreendem duas linhas de drenos monitoráveis e passíveis de limpeza e de manutenção, o que garante o atendimento aos fatores de segurança estabelecidos nos Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas – ELETROBRÁS (2003).

Cumprir, ainda, que são necessárias ainda algumas medidas para garantir o adequado desempenho das estruturas. Recomenda-se o acompanhamento das vazões em cada furo na ocasião das Inspeções de Segurança Rotineiras e Regulares da Barragem para a identificação de quaisquer variações. Adicionalmente, recomenda-se sua associação aos valores de subpressão mensurados a partir da piezometria instalada e sua associação ainda aos valores adotados nos cálculos de estabilidade das estruturas do barramento, para o monitoramento e a avaliação do seu comportamento.

7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. **Manual de Sondagens - Boletim Nº 3 - 4ª edição**. São Paulo, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13604, Filtros e tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos**, São Paulo, 1996

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - ELETROBRÁS/CBDB. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**, 2003

ENGEHIDRO. **Memória de cálculo de estabilidade e Barragem/Vertedouro - MC-ROS-19C-001-Ver.A**, 1997

ENGEHIDRO. **Relatório das Condições de Fundação na Área do Barramento, No RE-ROS-19G-002-R0**, 1999

SOLOTOP. **Relatório de Investigações Geológico-Geotécnicas**, 1998