

Análise da eficiência do sistema de vedação da fundação em granito de uma barragem de concreto

Marieli Biondo Lopes
UFOP, Ouro Preto, Brasil, marybiondo@hotmail.com

André Pacheco Assis
UnB, Brasília, Brasil, aassis@unb.br

RESUMO: O Brasil possui um dos maiores parques hidrelétricos do mundo, com capacidade de geração de energia comparado à posição da Arábia Saudita na extração de petróleo. Com isso é importante avançar em conceitos e técnicas, indo além das metodologias já consagradas. Este estudo aprofunda os conhecimentos sobre a eficiência de tratamentos de vedação em fundações de maciços rochosos de barragens de concreto, com o uso de cortinas de injeção com calda de cimento. Tratamentos como este permitem a redução do coeficiente de permeabilidade do maciço, além do efeito da subpressão. Para atestar a real eficiência dos serviços de vedação no vertedouro da UHE Jirau (RO), foram realizadas três análises: a primeira sobre a redução do coeficiente de permeabilidade; a segunda, redução da absorção de calda de cimento; e a terceira e última, redução do efeito de subpressão. Na primeira análise, observando a permeabilidade antes (furos de sondagem e furos obrigatórios de injeção) e depois (furos de verificação), concluiu-se que o maciço possui boas características mecânicas e hidráulicas (mesmo com a presença de fraturas sub-horizontais) por possuir coeficientes de permeabilidade baixos, sendo que a injeção auxiliou em uma pequena redução deste coeficiente, passando da ordem de 10^{-5} cm/s para 10^{-6} cm/s. Na segunda análise, através do acompanhamento *pari passu* de consumo de calda, verificou-se uma redução de absorção de calda de 27% e com isso a atividade de injeção foi funcional. Na terceira e última análise, verificando as leituras de piezometria, estas constataram que a subpressão não ultrapassou os limites referenciados em projetos, porém como não foi utilizado o método racional com retroanálise, não foi quantificada a contribuição da cortina de injeção para estes valores. De forma geral, adotando o critério apresentado por Cruz (2004), que prescreve que fundações com coeficientes menores que 5×10^{-4} cm/s não há necessidade de tratamento, conclui-se que as atividades de injeção na UHE Jirau poderiam ter sido reduzidas ou anuladas, diminuindo o prazo e custo destes serviços.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Tratamento, Permeabilidade, Absorção, Subpressão.

1 INTRODUÇÃO

Uma barragem se destina a barrar um curso d'água e criar um reservatório com desnível de montante para jusante (Muller, 1995 apud Silva, 2014), podendo ser construída de concreto, solo ou enrocamento. Independentemente do tipo de estrutura e do seu material constituinte, qualquer obra de engenharia transfere grandes esforços à sua base de apoio, sendo ela apoiada

em uma fundação de solo ou rocha.

O ideal é que as fundações das obras de concreto sejam apoiadas em maciços rochosos mediante a sua qualidade superior, podendo-se construir estruturas mais esbeltas. Porém obras de terra também levam vantagens em ser apoiadas em rocha, por eliminam problemas como recalques, deslizamentos ou erosão interna, causados por defeitos nas fundações (Lagos Filho & Geraldo, 1998).

2 FUNDAÇÕES EM MACIÇOS ROCHOSOS

O maciço rochoso possui duas características importantes: o seu comportamento mecânico e o seu comportamento hidráulico.

2.1 Comportamento mecânico

Em relação ao comportamento mecânico dos maciços rochosos, uma das formas mais tradicionais de analisar a sua qualidade são as classificações geomecânicas. Elas foram elaboradas devido as limitações encontradas na realização de ensaios em campo que medissem a sua resistência e deformabilidade. O sistema mais utilizado é o RMR de Bieniawski (1976), que foi atualizado em 1989 (Costa, 2009).

Além do RMR, Barton et al. (1974 apud Costa, 2009) propuseram o índice de qualidade Q para determinar as características do maciço e indicar tratamentos de suportes do mesmo.

A partir destes dois sistemas de classificação geomecânica, Hoek (1994 apud Costa, 2009) definiu o GSI, que pode ser calculado tanto para fins de RMR, como Q. O GSI tem por objetivo apenas estimar os parâmetros do maciço rochoso, enquanto os outros estimam parâmetros e soluções para os problemas de engenharia.

Com relação a resistência e deformabilidade, Fiori & Carmignani (2009) afirmam que as descontinuidades são o principal fator no controle delas e que a resistência de um maciço rochoso depende mais destas descontinuidades do que da própria resistência da rocha intacta.

No caso de barragens, existe ainda a interferência do reservatório (enchimento e estabilização) no processo de deformação, o qual é influenciado pelo tempo, em parte pelo fato de existir uma solicitação permanente que é do peso próprio da barragem na fundação e ombreiras de apoio e das solicitações hidrostáticas, e, por outro lado, dos maciços rochosos mais alterados, onde os mesmos podem exibir fluência apreciável, mesmo sob tensões moderadas. Com isso, normalmente se pode observar nas fundações de barragens (em particular de concreto com alturas de 50 m a 100 m) deformações em função do tempo.

2.2 Comportamento hidráulico

Diferentemente dos solos em que a percolação de água se dá pelos vários poros existentes, a água no maciço rochoso percola pelas suas descontinuidades. Gama (2012) afirma que no solo a permeabilidade se dá pela característica do corpo como um todo (tamanho dos grãos, vazios, forma dos grãos, etc) enquanto que no maciço rochoso a permeabilidade é condicionada às suas falhas ou fraturas (abertura, espaçamento e preenchimento).

Dos possíveis parâmetros geométricos das descontinuidades, como direção e inclinação, o grau de interação das descontinuidades é um dos mais importantes, e um dos mais difíceis de serem avaliados (Fiori & Carmignani, 2009).

Não se pode tratar individualmente cada uma das descontinuidades presentes no maciço e, para determinar os parâmetros hidráulicos dos maciços, utilizam-se dois métodos: amostragem de fraturas e ensaios hidráulicos de campo (Celestino, 1986 apud Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

O primeiro método consiste em obter informações acerca do sistema de faturamento do maciço (como o número de famílias, orientação, abertura, espaçamento, preenchimento etc.), a partir das quais é obtido um tensor de permeabilidade, através de determinação analítica.

Já, os ensaios hidráulicos de campo foram desenvolvidos principalmente para se conhecer o coeficiente de permeabilidade (k) do maciço rochoso. Dentre estes ensaios, pode-se destacar o ensaio de perda d'água sob pressão (furo único), infiltração, e o mais recente que é o tridimensional (múltiplos furos).

Atualmente, o melhor método para determinação destes parâmetros, consiste na injeção ou bombeamento de água em um trecho de um furo e observação em trechos de furos circunvizinhos (Azevedo Albuquerque Filho, 1998). Este é o método denominado de tridimensional, ou ensaio de furos múltiplos, para obtenção de uma rede tridimensional de condutividade.

Porém, o ensaio mais usado é o de perda d'água sob pressão de furo único, que consiste

em injetar água sob pressão em um trecho de um furo de sondagem e medir a quantidade de água que penetra pelo maciço em um determinado tempo, sob uma dada pressão. O ensaio se realiza em vários estágios de pressão em que cada um destes estágios é mantido durante um período mínimo para se obter uma vazão constante, conseguindo desta forma um fluxo permanente. A absorção de cada estágio é anotada em termos de vazão (l/min), e para cada conjunto de valores absorção x pressão, é possível obter-se resultados de permeabilidade do trecho ensaiado (Oliveira, Silva & Ferreira, 1975).

3 TRATAMENTO PROFUNDO DE FUNDAÇÃO COM CALDA DE CIMENTO

O tratamento das fundações de uma barragem por meio de injeções consiste em fazer penetrar nos vazios do maciço natural (solo ou rocha) um produto líquido que tenha a propriedade de endurecer depois de certo tempo de aplicação (Costa, 2012).

As injeções com calda de cimento são consideradas um procedimento versátil para melhoria de fundações, mas Gama (2012) alerta ao fato de que os avanços nesta área vêm de experiências “in situ” e cita como principais objetivos deste tratamento:

- a) Redução da permeabilidade/percolação: continua sendo uma das principais tarefas do tratamento, em que se pretende uma redução permanente da permeabilidade como é no caso das barragens, ou o impedimento da entrada da água dentro de um túnel, por exemplo;
- b) Aumento da capacidade resistente: quando o maciço está altamente fraturado, a injeção pode devolver a ele suas características iniciais, aumentando com isso sua resistência e deformabilidade.

Existem três tipos de injeções (Costa, 2009): colagem, consolidação e cortina de injeções. As injeções de colagem têm por objetivo eliminar ou reduzir os vazios existentes entre o maciço e a estrutura de concreto. As injeções de consolidação melhoraram as condições de resistência superficial das fundações e obras subterrâneas, embora também tenham uma

função impermeabilizante. E as cortinas de injeção têm como principal objetivo controlar a percolação da água através das fundações.

Antes da definição de qualquer tipo de cortina de injeção, malha e características especiais é preciso conhecer a fundação em que se irá construir a barragem. Este conhecimento acontece no início da fase de projeto a partir das sondagens.

Cabe aqui mencionar uma técnica de reconhecimento de subsolo que ainda não está totalmente difundida na prática brasileira de grandes projetos de barragens, mas que já vem sendo pesquisada e usada em alguns casos, que é a geofísica que tem por objetivo identificar as estruturas geológicas subterrâneas e é realizada observando na superfície do terreno ou pelo ar, campos de força que podem ser naturais ou produzidos artificialmente, em que determinadas anomalias neste campo indicam irregularidades devido algumas propriedades físicas do material, salientando que o conhecimento do maciço não depende somente das propriedades físicas conhecidas através da geofísica, mas precisa também de dados geológicos (Chiossi, 2013).

Sobre as caldas de cimento utilizadas neste trabalho de injeção, elas precisam ter boa penetrabilidade, economia e resistência (Weaver & Bruce, 2007). Comumente, escolhem-se as caldas com cimento e água por possuírem as melhores características físicas e econômicas para este tipo de trabalho (Bruce et al, 1999 apud Gama, 2012).

Assim como nos ensaios de perda d'água sob pressão, a pressão ideal de injeção, para um determinado maciço rochoso de fundação, é a pressão máxima que não cause movimentação do maciço e, portanto é função da profundidade da zona injetada, estrutura da rocha, atitude das fraturas e da sobrecarga devido à estrutura (Infanti Jr. & Nitta, 1978 apud Levis, 2006).

Por fim, a eficiência de um tratamento de injeção em rocha depende, dos seguintes fatores: planejamento da perfuração e da injeção, tipo de calda, pressão de injeção, cuidados operacionais e controle de eficiência (Costa, 2012).

4 SUBPRESSÃO

Até o final do século XIX, o efeito da subpressão nas fundações de barragens não era levado em consideração nos projetos hidráulicos (Levis, 2006). Quando se tomou consciência da existência da subpressão, a maior preocupação era voltada ao plano de contato estrutura-fundação, devido ao fato desta região não haver segurança quanto à completa impermeabilização (Osako, 2002). Nesta época, quando a fundação era constituída de “rocha-dura”, a preocupação era impermeabilizar e não aliviar os esforços de subpressão.

Então, após o acidente de Bouzey (1895), Maurice Levy indicou que as causas do acidente foram as pressões de água instaladas na rocha e a força de subpressão atuante sob a fundação da barragem, e a partir daí o termo subpressão passou a ser considerado nos projetos de barragem de gravidade, tanto nas estruturas quanto nas suas fundações (Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Com isso, conclui-se que a observação da ação da subpressão na fundação de barragens de concreto é de importância relevante, visto que a estabilidade dessas estruturas, em relação a escorregamentos, tombamentos ou flutuação, é diretamente afetada pelo nível de pressão piezométrica na interface concreto-rocha (Silveira, 2003).

Define-se, então, como efeito de subpressão, a pressão exercida pela água no sentido de baixo para cima, que se infiltra pelas discontinuidades do maciço rochoso da fundação (Lagos Filho & Geraldo, 1998).

O sistema de drenagem, no que diz respeito a redução do efeito de subpressão, é um dos meios mais eficientes para se assegurar o coeficiente de segurança das estruturas de concreto de uma barragem. Levantaram-se algumas experiências com as barragens do TVA – Tennessee Valley Authority – e após alguns anos de operação se verificou aumentos significativos na subpressão, em decorrência da colmatagem destes drenos de fundação por partículas sólidas carregadas pela água de drenagem, o que exige com o tempo, a limpeza dos drenos de fundação e reperforação de novos

drenos, para assegurar condições adequadas de estabilidade (Silveira, 2003).

5 ESTUDO DE CASO

A Usina Hidrelétrica de Jirau teve sua construção iniciada em 2008 com previsão de término em 2016, juntamente com a UHE Santo Antônio, ambas no complexo do Rio Madeira (RO) e está em 5º lugar na lista das 10 maiores hidrelétricas do país, segundo Chiossi (2013).

Jirau está situada no local denominado Ilha do Padre, a 120 km da capital do estado, Porto Velho e terá capacidade instalada de 3.750 MW e garantia física de 2.184,6 MW, o suficiente para abastecer mais de 10 milhões de residências (Brasil, 2015).

Todas as estruturas que compõe o AHE Jirau estão apoiadas em formações de granitos da Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas, solos e rochas de conglomerados da Formação Palmeiral, ambos do Pré-Cambriano, e sedimentos de terraço fluvial atribuídos à Formação Jaciparaná, do Quaternário, além de aluviões e coluviões recentes (Brasil, 2009, 1020-JI2-ET-USC/GG-007).

A barragem estudada foi o verteduro, construído em concreto armado, com 18 vãos e capacidade de vazão de 82.600 m³/s. A Figura 1 apresenta a seção típica do vertedouro e a Figura 2 a posição da estrutura no conjunto do AHE Jirau.

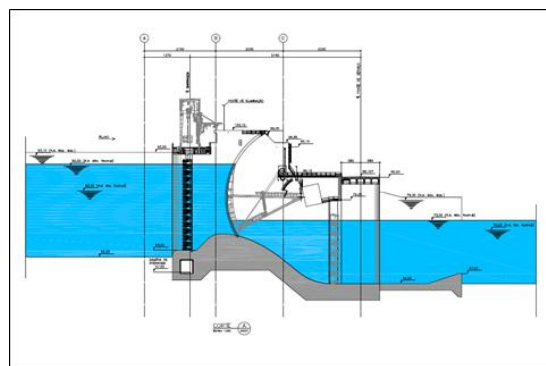


Figura 1. Seção típica do vertedouro (Brasil, 1020-JI2-DE-VTA/AR-00010, 2010).



Figura 2. Posicionamento do vertedouro no AHE Jirau (Brasil, 1020-JI2-DE-USA/UR-00011, 2012).

Em várias regiões da obra, com maior ênfase no vertedouro, surgiram durante as escavações em rocha, expressivas feições de origem geológica. Estas feições segmentam o maciço rochoso granítico através de estruturas subverticais Zx, sub-horizontais Dx, e inclinadas Ix, gerando problemas de projeto relativos a deslizamento de blocos nos taludes de escavação, à percolação de água, subpressão e resistência ao cisalhamento das fundações das estruturas, além de tensões internas (Matra, 2009).

Como as estruturas DXs estão localizadas no sentido do fluxo, para efeito de permeabilidade, o seu estudo aprofundado se fez necessário.

Houve ainda, a ocorrência de diques diabásicos na região dos blocos 08 e 09 do vertedouro, com extensão até a barragem da Ilha do Padre.



Figura 3. Detalhe da espessura das feições subhorizontais DXs (Matra, 2009).



Figura 4. Dique diabásico na fundação do bloco 09 do vertedouro (Brasil, 1020-JI2-RT-VTC/GG-00054, 2011).

Sobre o tratamento de fundação especificado para o vertedouro de Jirau, o método sugerido foi o tradicional, com sistema de abertura de malha *Split-Spacing*, onde o projeto é composto por três linhas de furos na galeria de drenagem montante (75 mm) para cortina de injeção, todas com 20 m de profundidade contadas da vertical (que é aproximadamente o mesmo valor que a altura do reservatório), que varia conforme sua inclinação (linha montante – 20°/ sentido montante; linha central – 15°/ sentido montante; linha jusante – 10°/ sentido montante). Destas três linhas, a que se localiza à montante da galeria de drenagem serve como cortina principal com todos os furos, da ordem primária à terciária, obrigatórios. As demais linhas são denominadas eventuais, que foram abertas somente quando um dos furos adjacentes, em qualquer trecho, consumiu mais que 30 kg/m de calda de cimento. Ou seja, se um furo da linha obrigatória ultrapassasse este limite, era necessário ser aberto dois furos da linha central, um à esquerda e outro à direita do furo montante. Da mesma forma para um furo da linha central, onde seriam abertos dois furos da linha jusante. A profundidade dos furos adicionais atingem a cota de projeto, com exceção de consumo nos últimos 3 m do furo de alta absorção, onde se ultrapassa 3 m no furo adicional, além da cota final de projeto. Na estrutura do vertedouro não foram previstas injeções de consolidação (de 6 m a 9 m), salvo algumas áreas fora da região da cortina de injeção de impermeabilização, onde as escavações provocaram abertura nas fraturas

superficiais e injeções até 5 m foram executadas juntamente com instalação de chumbadores. Porém, estas injeções não foram consideradas neste estudo. As injeções de colagem, ou contato, como comumente são conhecidas, foram executadas juntamente com as injeções de impermeabilização. Quando as perfurações foram iniciadas no maciço rochoso ou concreto de regularização com menos de 1 m de espessura, os 3 primeiros metros do furo foram deixados abertos para posterior injeção (quando houvesse uma camada de concreto maior que 1 m para que a pressão da injeção não provocasse levantamento da estrutura). Quando as perfurações eram iniciadas em camadas de concreto maiores que 1 m, a injeção de contato seguiu o processo normal.

O vertedouro de Jirau foi instrumentado com diversos aparelhos para controlar o seu comportamento em várias fases da construção e da operação. No caso deste estudo, foram analisados somente os piezômetros que monitoram a pressão d'água na fundação e no contato concreto-rocha.

Os piezômetros foram instalados nas cotas mais permeáveis identificadas no testemunho/televisionamento e somente foram instalados após a conclusão dos trabalhos de injeção em uma distância mínima de 20 m.

Para o projeto da usina de Jirau, segundo os critérios de projetos civis (Brasil, 1020-JI2-CP-USC/GR-00001-00, 2009), não foram previstas análises de percolação, e com isso a determinação dos diagramas de subpressão obedeceram às seguintes diretrizes:

- As ações quantificadas pelos diagramas de subpressão são permanentes, variáveis ou excepcionais, de acordo com o nível de água que as definem;
- O nível piezométrico de montante corresponde ao nível de água a montante. Assim ocorre também com a jusante;
- Na galeria de montante, o nível piezométrico é estabelecido em função do desnível do NA de montante e jusante ou o nível do piso da galeria, considerando o valor mais alto entre eles;
- A cota piezométrica na galeria corresponde na linha de drenos à 1/3 deste desnível,

sendo a drenagem responsável por uma redução de 2/3 desta carga;

- Os diagramas de subpressão no contato (rocha-concreto) são determinados a partir da linha piezométrica entre montante e jusante;
- A condição de drenos inoperantes são consideradas somente na avaliação da segurança em relação ao Estado Limite de Perda de Equilíbrio como corpo Rígido.

6 ANÁLISE DE PERMEABILIDADE

A análise da permeabilidade do maciço rochoso foi baseada nos resultados dos ensaios de perda d'água de furo único, por meio dos coeficientes de permeabilidade calculados para cada trecho de 3 m, adotando-se sempre o maior valor de cada trecho. Para identificar qual a permeabilidade do maciço antes do tratamento, utilizaram-se os valores de permeabilidade dos furos de sondagem e furos de injeção primários obrigatórios. Já, para analisar a permeabilidade pós-tratamento, foram utilizados os valores de coeficiente de permeabilidade dos furos de verificação.

Salienta-se que o número dos furos de verificação é menor comparado ao número de furos exploratórios que analisam a permeabilidade do maciço. Assim, podem ocorrer algumas diferenças na compilação dos resultados, como se observa nas cotas 40 e 37 da Figura 5 (apresenta o resultado da análise de permeabilidade antes e depois do tratamento), onde houve acréscimo da permeabilidade ao invés de redução.

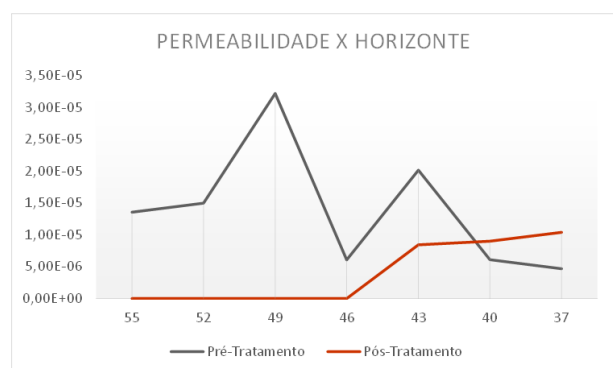


Figura 5. Redução da permeabilidade do maciço após o tratamento de vedação (k x cota).

7 ANÁLISE DO CONSUMO DE CALDA DE CIMENTO

Esta análise ocorreu juntamente com o processo de injeção na cortina (*pari passu*), por este monitoramento outros furos vão sendo abertos até que a cortina se feche e se garanta impermeabilização do maciço.

O comportamento do maciço rochoso em relação à permeabilidade, foi estudado dividindo-o em horizontes com trechos de 3 m, mas para a análise da cortina adota-se como redução e eficácia dos serviços de injeção, a análise do maciço de forma geral, porque entende-se que a fundação foi homogeneizada e que houve decréscimo de necessidade de calda conforme outros furos foram abertos.

Ressalta-se que as ordens de furos analisadas foram todos os furos obrigatórios de montante, todos os eventuais executados da linha central e jusante, os furos adicionais solicitados pela projetista durante a execução dos trabalhos em regiões de grande consumo ou presença de fraturas muito espessas e furos de verificação, todos destinados à impermeabilização do maciço, sendo que os furos de consolidação executados fora da galeria de montante foram desconsiderados do estudo.

A Figura 6 apresenta o resultado da análise, onde a barra cinza mostra o consumo real nos furos e a barra preta, o consumo descontando o valor de preenchimento do furo, ou seja, o consumo efetivo dentro das fraturas do maciço.

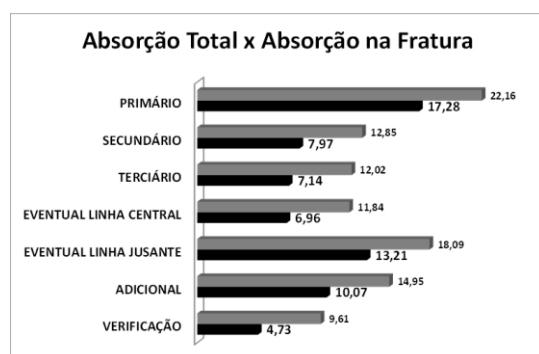


Figura 6. Redução da absorção de calda de cimento por ordem de furos.

8 ANÁLISE DA SUBPRESSÃO

Esta análise foi realizada através dos resultados das leituras de piezômetros instalados na fundação do vertedouro.

Assim apresentam-se resultados das leituras de subpressão e nível de água dos instrumentos para cada bloco com leituras desde a sua instalação até a última data de manutenção do reservatório na cota mínima de operação.

Também foram analisadas as leituras de quatro datas consideradas como marco que são:

- 17/08/2011: data de instalação dos instrumentos;
- 03/10/2011: primeira leitura após o desvio do rio, que ocorreu pelo método das ogivas rebaixadas, criando assim, reservatório à montante e jusante e alterada a leitura do instrumento referente a subpressão;
- 15/04/2013: elevação do NA de montante para a cota 82,50 m, que é a cota mínima de operação;
- 27/12/2013: Estabilização do NA com média na cota 82,90 m.

A Figura 7 apresenta o resultado das leituras de piezometria da fundação do Vertedouro.

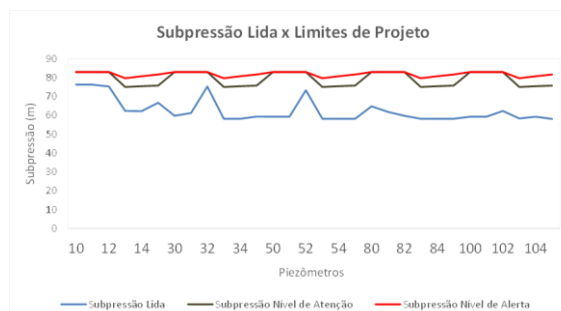


Figura 7. Leitura real dos piezômetros em 27/12/2013 comparados com as leituras limites indicadas em projeto.

9 CONCLUSÃO

Com esta pesquisa, foi possível concluir a respeito da eficiência do sistema de vedação na fundação em granito do AHE Jirau, que:

- No caso da permeabilidade, o maciço possui boas condições, pois o coeficiente de permeabilidade do tratamento de vedação antes do tratamento está na ordem de 10^{-5} cm/s e após a injeção ficou em 10^{-6} cm/s, o que não significa uma grande redução

- b) Não foi constatada interferência das fraturas DXs e do dique diabásico com as permeabilidades do maciço (analisando-se posicionamento x trechos de maiores consumos);
- c) Considerando o coeficiente do maciço antes do tratamento como 10^{-5} cm/s e adotando o critério de Cruz (2004), o qual afirma que para fundações com permeabilidade menor que 5×10^{-4} cm/s, não há necessidade de tratamento, devendo atentar para a vazão para cada tipo de barragem. Neste caso poderia ter sido reduzido do projeto as cortinas de injeção (ou em caso extremos, eliminado), reduzindo o tempo de trabalho destinado com esses serviços e economizar cerca de R\$ 600.000,00;
- d) Com a cortina de injeção executada, verifica-se uma eficácia no sistema a partir da redução de consumo de calda na ordem de 27% (Figura 6);
- e) No caso da subpressão, como não houve retroanálise para quantificar a representatividade da cortina de injeção, a análise foi limitada aos valores piezométricos indicados em projeto. Com os valores destes instrumentos, atesta-se que mesmo com aumento no NA e uma estabilização em cota já de operação, a subpressão se manteve sempre abaixo dos limites de atenção e alerta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Energia Sustentável do Brasil e a Construções e Comércio Camargo Correa pela liberação dos dados necessários para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, A. A. e Albuquerque Filho, J. L. *Águas subterrâneas*. In: Oliveira A. (1998). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- Brasil E. S. *A Usina*. Disponível em <<http://www.energiasustentaveldobrasil.com.br>> Acesso em 15 de dezembro de 2015.
- Brasil E. S. (2009). *Critério de Projeto – Critério de projeto civil*. Documento nº: 1020-JI2-CP-USC/GR-00001-00.
- Brasil E. S. (2012). *Desenho – Arranjo Geral - Implantação*. Documento nº: 1020-JI2-DE-USA/UR-00011-05.
- Brasil E. S. (2010). *Desenho – Seção típica do vertedouro – Bloco 2 - Arquitetura*. Documento nº: 1020-JI2-DE-VTA/AR-00010-01.
- Brasil E. S. (2009). *Especificação Técnica – Instalação de instrumentos nas estruturas de concreto – Piezômetros*. Documento nº: 1020-JI2-ET-USC/GG-007.
- Brasil E. S. (2011). *Relatório Técnico – Vertedouro – Bloco 09 – Relatório de liberação de fundação*. Documento nº: 1020-JI2-RT-VTC/GG-00054.
- Chiassi, N. J. (2013). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Costa, T. A. V. (2009). *Caracterização Geológico-Geotécnica e modos de ruptura do minério friável nas minas da Vale, Borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero – MG*. Dissertação – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Costa, W. D. (2012). *Geologia de Barragens*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Cruz, P. T.. (2004). *As 100 Barragens Brasileiras: Casos históricos, materiais de construção e projeto*. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Fiori, A. P. e Carmignani, L. (2009). *Fundamentos de mecânicas dos solos e das rochas : aplicações na estabilidade de taludes*. 2 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- Gama, P. S. S.(2012). *Injeção de caldas de cimento em fundações rochosas de barragens: revisão crítica de metodologias*. 2012. Dissertação - Lisboa: FCT.
- Lagos Filho, P. M. e Geraldo, A. *Barragens e Reservatórios*. In: Oliveira, M. S e De Brito, S. N. A. (1998) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- Levis, S. D. (2006). *Verificação da eficácia dos sistemas de vedação e drenagem em fundações de barragens de concreto*. Dissertação –Escola de Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Matra, E. C. (2009). *Modelo geomecânico e desmonte de rochas – Relatório Técnico CJ111109*. São Paulo.
- Oliveira, A. M. S. e Silva, R. F. F. (1975). *Jayme. Ensaio de Perda D'água sob pressão – Diretrizes – Boletim 02*. São Paulo: ABGE.
- Osako, C. I.(2002). *A manutenção dos drenos nas fundações de barragens: O caso da Usina Hidrelétrica de Itaipu*. Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Silva, P. J. (2014). *Usinas Hidrelétricas do século 21: Empreendimentos com restrições à hidroeletricidade*. Engenharia, São Paulo, N° 619.
- Silveira, J. F. A. (2003). *Instrumentação e comportamento de fundações de Barragens de Concreto*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Weaver, K. D. e Bruce, D. A.(2007). *Dam Foundation Grouting: revised and expanded Edition*. Nova Iorque: American Society of Civil Engineers.