

Acompanhamento Técnico da Implantação de Barragem de Rejeitos de Minério de Ferro em Aterro Compactado

Eng. Danieli Aparecida Ferreira
ENGERCORS, São Paulo, Brasil, danieli.ferreira@engecorps.com.br

Eng. Claudio Michel Nahas
ENGEORPS, São Paulo, Brasil, nahas@engecorps.com.br

Eng. Flaviano Lucas
VALE, Belo Horizonte, Brasil, flaviano.lucas@vale.com

Eng. Pedro Aurélio F. Coutinho
VALE, Belo Horizonte, Brasil, pedro.aurelio@vale.com

Eng. Ricardo Leão de Castro Muniz
VALE, Belo Horizonte, Brasil, ricardo.leão@vale.com

RESUMO: Esse artigo tem como objetivo apresentar os principais resultados do acompanhamento técnico obtidos durante a implantação de uma barragem de contenção de rejeitos com altura total de 60,0 m construída em aterro compactado, e como essas informações permitiram adequações no processo construtivo. Essa barragem faz parte de um complexo minerador de propriedade da empresa VALE, situado na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais, e encontra-se em fase de licença para operação.

PALAVRAS-CHAVE: barragem, rejeitos, mineração, escavações, compactação.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo procura apresentar os problemas encontrados, as avaliações desenvolvidas para caracterizar adequadamente estes aspectos, assim como os ajustes implementados durante a fase de construção do maciço da Barragem Laranjeira Montante, que faz parte do sistema de disposição de rejeitos da Mina Brucutu da VALE, no Estado de Minas Gerais.

O artigo demonstra, entre outros aspectos, a importância de que obras do porte desta Barragem tenham a Assistência Técnica – ATO durante a fase de implantação das obras pela empresa que desenvolveu o projeto executivo.

2 ARRANJO GERAL

A Barragem Laranjeira Montante está

implantada no Córrego Laranjeira, no Município São Gonçalo do Rio Abaixo em Minas Gerais.

O arranjo geral da barragem constitui-se por um aterro em solo compactado implantado em etapa única, e um Vertedouro na ombreira esquerda para assegurar as descargas de cheias tanto durante a fase operacional como após a desativação da Barragem. O sistema de disposição de rejeitos no reservatório foi definido para lançamento a partir das cabeceiras da bacia do Córrego Laranjeira, após o cruzamento da Serra Tamanduá entre a Usina de Beneficiamento e a Barragem, por um Túnel de Adução. O túnel, também, tem como função agregar a tubulação de retorno referente ao sistema de captação de água do reservatório.

Para evitar a fuga dos rejeitos para a Bacia do Córrego do Tanque, foi implantado três

diques no divisor de águas das Bacias dos Córregos Laranjeira e do Tanque, com comprimento total de 1.080,0 m.

A Barragem foi implantada sem promover o desvio do Córrego Laranjeira. Para garantir o escoamento da vazão sanitária a jusante de 25,1 l/s foi implantado um sistema de bombeamento através da ombreira direita. Por outro lado, visando garantir a segurança do empreendimento, a porção a montante da Barragem foi alteada rapidamente até a elevação 697,00m para acomodar os volumes de água afluentes do período de estiagem no reservatório formado.

O barramento tem coroamento na elevação 720,00m, crista com largura de 10m e extensão de 569,0 m.

O talude de montante apresenta inclinação 1V:2H até a elevação 708,0 m. Durante a implantação foi analisado e aceite que o talude acima desta cota fosse alterado para 1V:1,8H. O talude de montante foi protegido, conforme definido em projeto, com random até a elevação 711,3 m e a partir desta com enrocamento de proteção.

A Figura 1 apresenta o arranjo geral das obras e a Figura 2 a seção típica do Barramento.

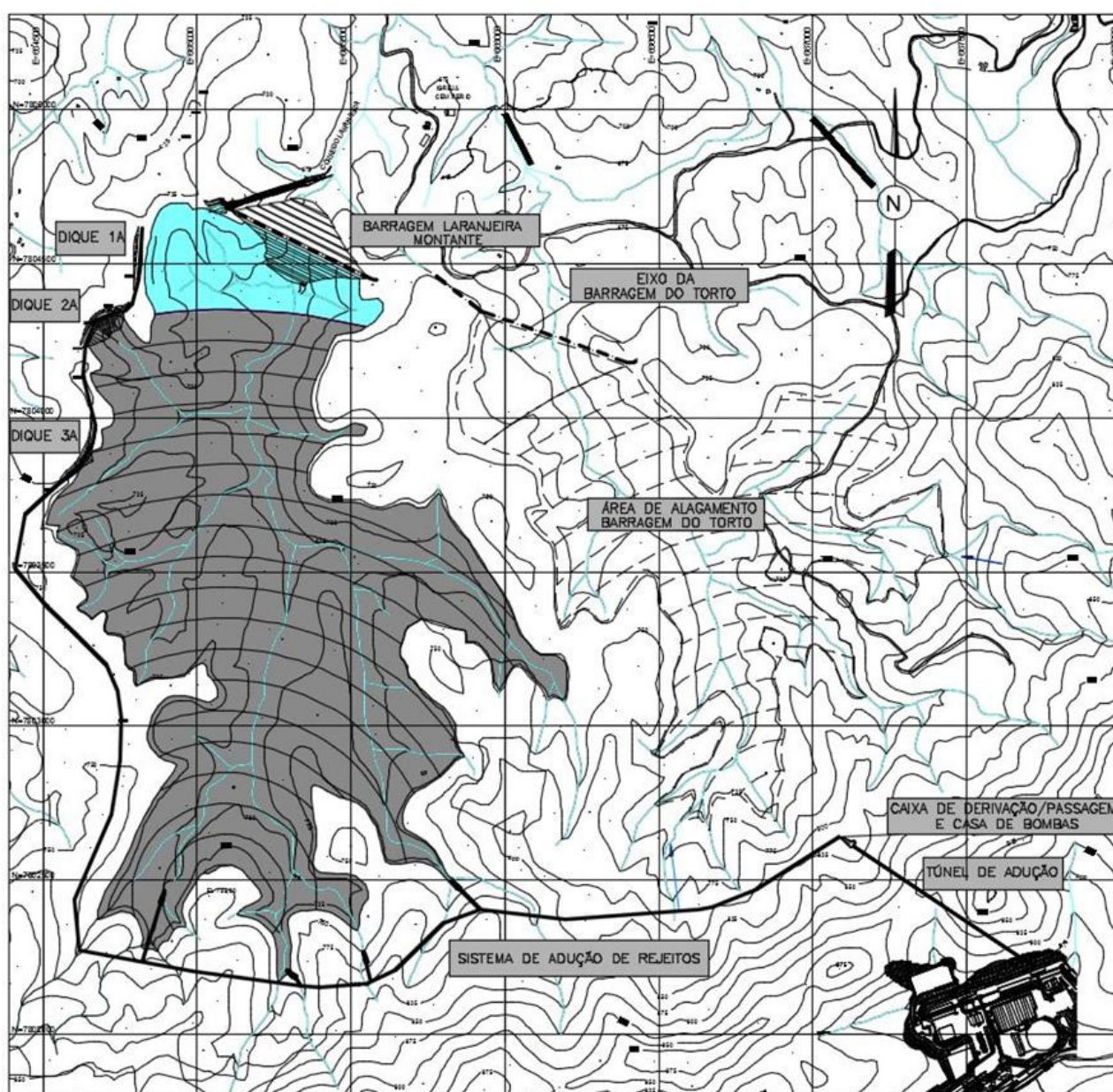


Figura 1 – Arranjo Geral das Obras

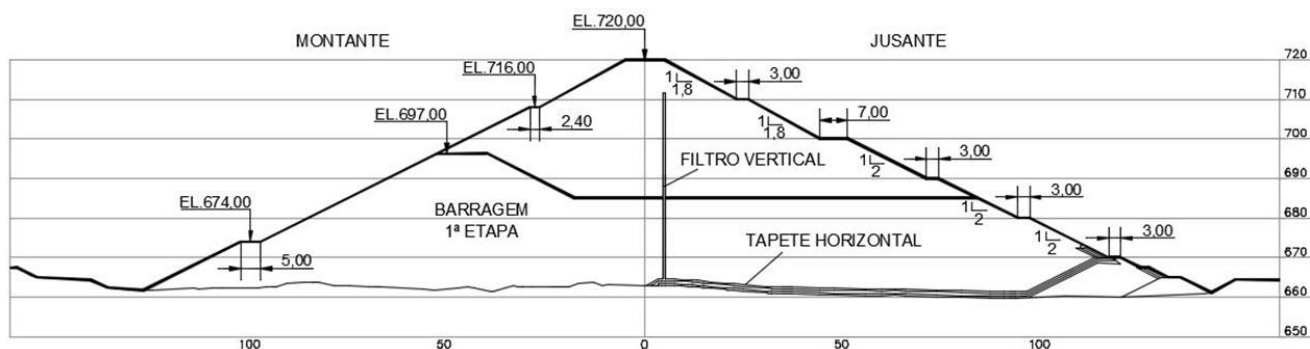


Figura 2 – Seção Típica da Barragem

3 FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

A área onde a Barragem Laranjeira está implantada insere-se nas rochas do embasamento granito-gnáissico arqueano.

Este complexo é formado por rochas granitóides gnaissificadas com intercalações de alguns corpos metabásicos intrusivos. Ocorrem em superfície solos saprolíticos e saprolitos e coberturas colúvio-aluvionares.

Os aluviões dispõem-se ao longo das linhas de drenagem, com constituição areno-argilosa e colorações claras. Os solos coluvionares, mais argilosos e com coloração avermelhada apresentam-se dispersos e descontínuos, com pouca representatividade. Os solos saprolíticos e saprolitos de matriz silto-arenosa e textura remanescente da rocha matriz podem atingir espessuras expressivas na área.

O projeto definiu a escavação mínima de 2,0 m na fundação, com remoção de solos com SPT inferior a 10 golpes. Nas ombreiras a escavação consistiu na remoção da camada superficial do colúvio, com espessura variável.

4 ATERRO COMPACTADO

O aterro compactado da Barragem Laranjeira foi iniciado em meados de 2014 e foi finalizado em agosto de 2015. O alteamento do maciço de montante até a elevação 697,00 foi finalizado em outubro de 2014.

Os solos para construção do aterro foram obtidos em áreas de empréstimo localizadas integralmente na área do reservatório. Estes solos são constituídos por argilas vermelhas, argilas siltosas amarelas a rosa e argilas siltosas a areno-siltosas, em geral com teores de argilas entre 40 a 50%, além de siltes argilosos a

arenosos de cor rosa, com teores de argila em torno de 20% e índice de plasticidade entre 15 e 20%.

O aterro a montante foi executado totalmente em material argiloso, enquanto parte do aterro a jusante, entre as elevações 680,0 m a 701,0 m, foi construído em solo siltoso, envelopado no contato com o filtro vertical e na face do talude de jusante com solo argiloso.

5 ASPECTOS RELEVANTES DA CONSTRUÇÃO DO MACIÇO DA BARRAGEM

Durante a fase inicial da construção do maciço da barragem houve uma grande dificuldade de ajustar o processo executivo as especificações técnicas do projeto.

Essas dificuldades geraram uma grande dispersão nos resultados de controle de compactação até que o maciço atingisse a elevação 684,0 m, ora com valores que indicam supercompactação, ora com camadas pouco compactadas.

Com a preocupação de avaliar as condições do maciço da barragem até essa cota, a Projetista e o ATO recomendaram a execução de programa de investigações no aterro em construção, a fim de avaliar a possível heterogeneidade do aterro até então executado.

Após a análise dessas dificuldades, foi implantado junto a Construtora um extensivo programa de acompanhamento da liberação das camadas pela Fiscalização e ATO, e os procedimentos construtivos foram ajustados mediante maior rigor na liberação dessas camadas do aterro, podendo-se citar:

- Alterações no processo de gradeamento dos solos lançados;

- Utilização de novos equipamentos de compactação;
- Ajuste do número de passadas por camada;
- Melhor controle na umidade das camadas lançadas.

No Figura 3 apresenta-se os valores de graus de compactação medidos no aterro de montante antes e após o ajuste do processo construtivos. Os símbolos circundados na figura indicam camadas não liberadas pela Construtora fora da

faixa admissível para variação do grau de compactação, recomendável entre 95% e 100% (CRUZ, 1996).

Verifica-se que o procedimento adotado resultou na adequação da construção do aterro, pois pode-se observar que o número de camadas não liberadas foi sensivelmente reduzido acima da elevação 685,0 m, o que possibilitou também melhorar a produtividade da Construtora.

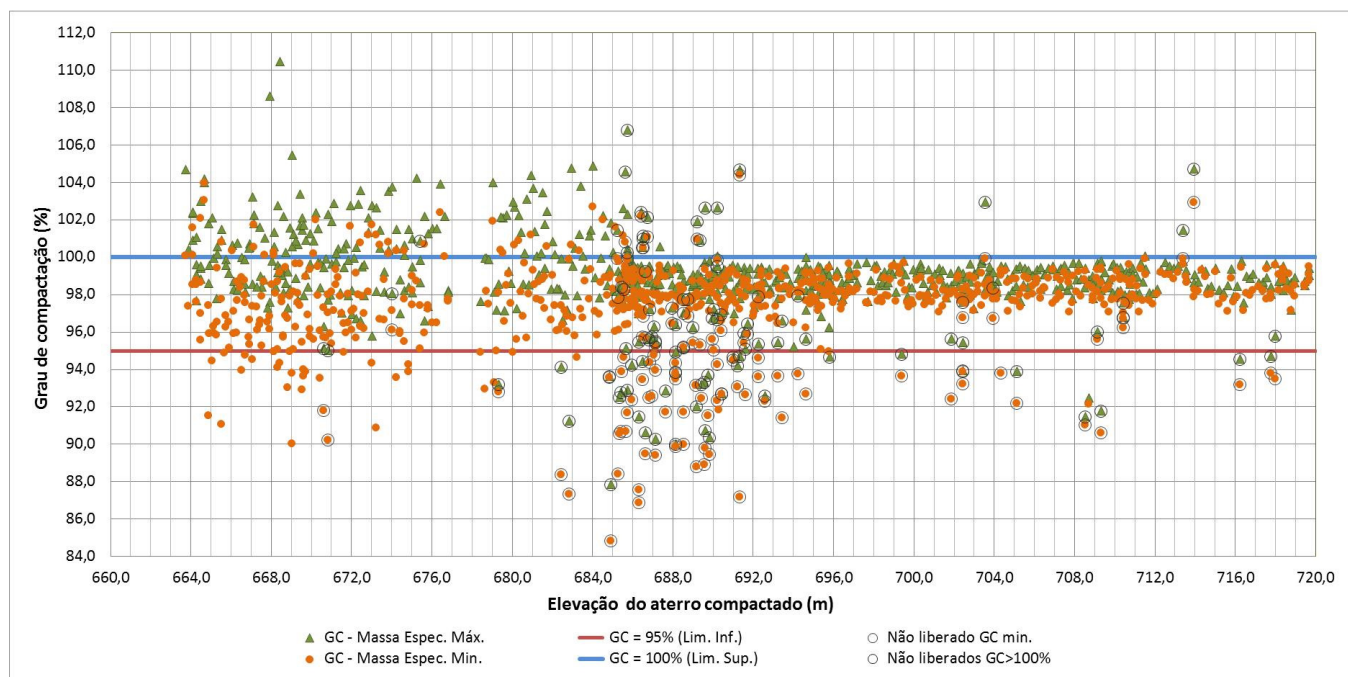


Figura 3 – Resultado dos ensaios de controle de compactação do aterro a montante. Graus de compactação calculados a partir das massas específicas obtidas no topo e base das camadas compactadas.

6 POÇOS DE INSPEÇÃO

Para avaliar o comportamento geotécnico do aterro compactado da barragem foram feitas coletas de amostras indeformadas a partir da abertura de poços de inspeção, executados até a profundidade de 1,0 m.

As amostras coletadas constituíram-se de blocos de dimensões 0,30 x 0,30 x 0,30m, retiradas a profundidades de 0,4 m abaixo da cota do aterro.

Foram coletados 8 blocos indeformados, sendo 6 no aterro a montante do eixo e 2 no aterro a jusante, em diferentes pontos do maciço.

A Figura 4 apresenta os resultados dos

ensaios triaxiais obtidos nas amostras coletadas do aterro da barragem.

Observa-se, a partir da Figura 4, uma dispersão nos valores de coesão efetiva obtidas nos ensaios realizados, com uma tendência a crescimento com o alteamento do aterro até o bloco coletado na Elev. 702,0 m.

O valor mínimo da coesão foi obtido nos Bloco 01 e 04, com $c = 14$ e 15 kPa, coletado abaixo da elevação 680,0 m.

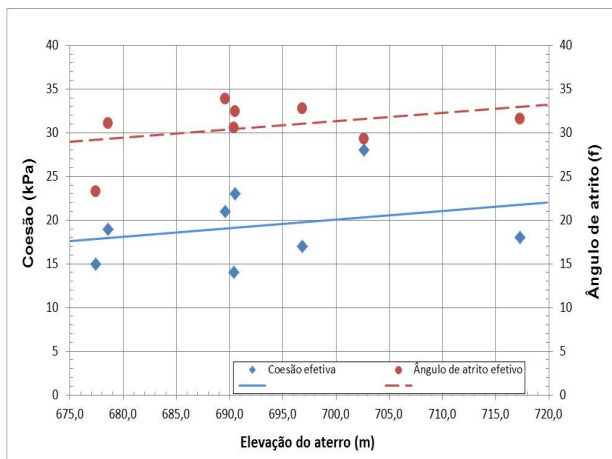


Figura 4 – Parâmetros de resistência obtidos a partir de ensaios triaxiais realizados em amostras indeformadas coletados no aterro compactado da barragem.

Em média o aterro da barragem apresenta valor de coesão efetiva igual a 19,5 kPa e ângulo de atrito efetivo da ordem de 30°.

7 INVESTIGAÇÕES REALIZADAS DURANTE A CONSTRUÇÃO DO ATERRO

Em vista da dificuldade inicial de adequar o processo construtivo do aterro, o que condicionou a existência de camadas pouco compactadas abaixo da elevação 680,0 m, a Projetista e o ATO definiram um programa de investigações fim de avaliar as condições do aterro compactado abaixo dessa cota. Este programa constou da execução de ensaios de SPT contínuo, coleta de amostras indeformadas em profundidade com o amostrador Denison, ensaios de permeabilidade em campo e a implantação de 2 piezômetros a montante,

O programa definiu 13 pontos no aterro para investigação, distribuídos conforme apresentado na Figura 5.

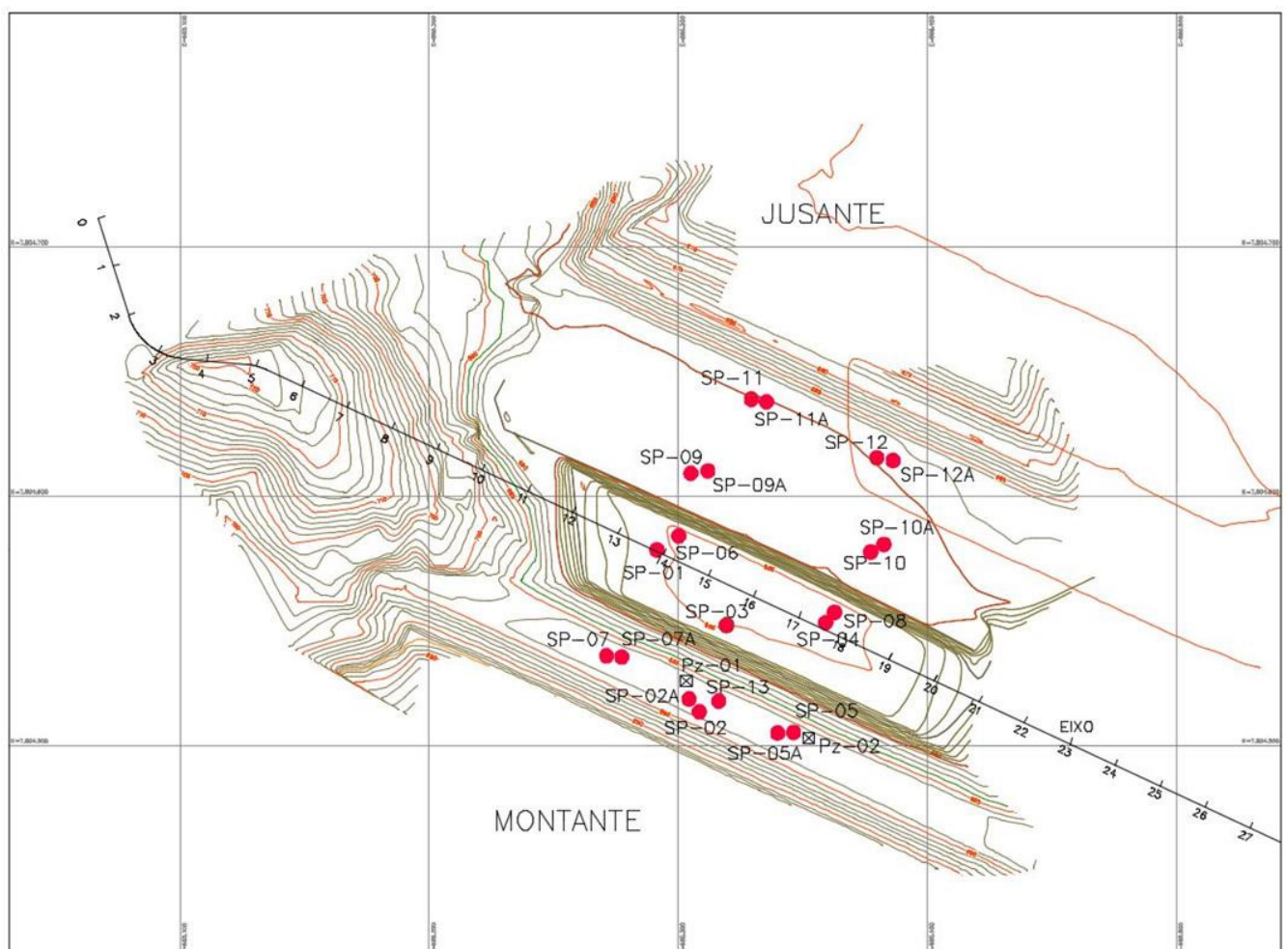


Figura 5 - Investigações realizadas no aterro compactado da Barragem Laranjeira na Elev. 696,0 m.

A barragem na ocasião dessas investigações encontrava-se com o alteamento de 1ª etapa construído, na El. 696,0 m, com um patamar na região do filtro vertical na El. 685,0 m e o trecho a jusante na El. 690,0 m.

As principais conclusões obtidas destas investigações podem ser assim resumidas:

- Aterro de montante
 - Medidas de SPT entre 11 e 14 golpes entre as elevações 684,5 a 687,0 m e 15 e 20 golpes nas demais profundidades,
 - Trecho com permeabilidade da ordem de $k = 1 \times 10^{-4}$ cm/s entre as cotas 671,0 m a 676,0 m, com uma camada intermediária com espessura 1,5 m com $k = 1 \times 10^{-6}$ cm/s
 - Coeficiente de permeabilidade entre as cotas 660,0 m a 667,0 m com $k = 4,3 \times 10^{-4}$ cm/s
 - Coeficiente de permeabilidade atípicos foram obtidos entre as estacas E15+0,0 m a E18+0,0 m
- Aterro central
 - Aterro a montante do filtro com medidas de SPT = 9 a 10 golpes entre as elevações 680,0 m a 682,0 m e SPT = 8 a 13 golpes entre as elevações 671,0 m a 672,0 m e demais trechos com valores de SPT entre 18 e 24 golpes.
 - A jusante do filtro vertical os valores de SPT mais baixos foram registrados entre as elevações 682,0 m a 683,0 m, entre 9 a 12 golpes;
 - As amostras coletadas com o amostrador Denison entre as elevações 680,0 m a 682,0 m obtiveram solos com teores de umidade entre 37 e 44% (bem acima da umidade ótima desses solos), com baixos valores de peso específico seco.
- Aterro a jusante
 - Valores de SPT médios obtidos nos ensaios executados na junta de construção do talude de jusante não registraram diferença de valores entre os demais trechos do aterro;

- Valores de coeficiente de permeabilidade indicam que o aterro apresenta em média $k = 1,5 \times 10^{-5}$ cm/s.

Das análises baseadas no acompanhamento da construção é possível inferir que os solos empregados na porção a montante do maciço constituem-se por solos argilosos que apresentam permeabilidades reduzidas quando adequadamente compactados (permeabilidades inferiores a 10^{-5} cm/s). Os elevados resultados de permeabilidade observados em alguns ensaios de infiltração podem estar associados a faturamento hidráulico visto que estes ensaios foram realizados a profundidades elevadas (maior que 20m) ou, ainda, devido a presença localizada de camadas de baixa compactação em relação ao seu redor (valores de SPT = 12 a 14 golpes).

Para monitoramento desta região durante a fase de enchimento do reservatório foram instalados 2 piezômetros a montante do eixo da barragem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações propostas pela Projetista concluíram que uma parte do aterro construído a montante do filtro vertical, abaixo da elevação 685m apresentou camadas com condições de resistência mais baixa (inferidos a partir de medidas de SPT), além de trechos alternados de permeabilidade elevada abaixo da cota 676,0 m. Contudo, o trecho com essas características está confinado a uma faixa de montante entre as estacas E16+0,0 m a E18+0,0 m iniciando-se a uma distância de 40,0 m do filtro vertical.

O monitoramento dos piezômetros instalados na El 696,0 m, no período de janeiro a junho de 2015, não confirmaram a continuidade desta faixa de alta permeabilidade desde a face do talude de montante, visto que a carga hidráulica medida nesses instrumentos se manteve muito baixa e praticamente estável, durante a fase inicial do enchimento do reservatório.

Os resultados das análises de percolação, considerando as condições acima descritas, não indicaram aspectos desfavoráveis na saturação do maciço nem a possível sobrecarga no

sistema de drenagem interna da barragem. Sob o aspecto da segurança, as análises de estabilidade considerando os resultados dos ensaios de laboratório obtiveram fatores de segurança para talude de jusante acima de 1,50, conforme recomendado pela NBR-ABNT 13028/2006.

O monitoramento dos instrumentos está sendo executado pela Geotecnia da mineradora desde janeiro de 2015, iniciado logo após a instalação dos piezômetros da berma 680,0 m. Os registros obtidos nesses instrumentos até Dezembro de 2015 indicam nível de água estável mesmo com a elevação de mais de 12,0 m do nível de água do reservatório durante o período.

AGRADECIMENTOS

A ENGECORPS agradece a VALE a autorização para publicação das informações contidas neste documento.

REFERÊNCIAS

- Projeto Executivo - *Barragem Laranjeira Montante: Síntese dos Estudos Desenvolvidos e Memorial Descritivo do Projeto – Documento RL-186A-02-0922* elaborado pela ENGECORPS em Março/2009.
- AS BUILT – *Barragem Laranjeiras. Aterro compactado: Consolidação de documentos – Documento 1238-CVR-05-BR-RT-0002* elaborado pela ENGECORPS em Dezembro/2015.
- CRUZ, P. T. (1996) - *100 Barragens Brasileiras. Casos históricos. Materiais de Construção. Projetos.* Oficina de Textos, 1ª edição.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13028: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Rio de Janeiro, 2006, 5 p.