

Barragem construída com rejeito ciclonado: uma possível solução para disposição de rejeitos no Brasil?

José Mário Queiroga Mafra

Vogbr Recursos Hídricos e Geotecnia Ltda., Belo Horizonte, Brasil, josemafra@terra.com.br

RESUMO: No Brasil existem poucas barragens construídas com rejeitos ciclizados e, a operação destas barragens existentes não acompanhou a evolução dos princípios de projeto, operação e controle de construção que se verificou nos últimos quarenta anos no cenário internacional. Este artigo apresenta o conceito moderno de projeto, construção e controle do alteamento destas barragens com base na exitosa experiência da Engenharia Chilena e, discute a aplicação deste tipo de barragem no Brasil, especialmente na disposição de rejeitos provenientes da concentração de minério de ferro. O objetivo deste artigo é sugerir que as modernas barragens construídas com rejeito ciclizado, pelo método de linha de centro ou jusante, venham a substituir as barragens construídas com rejeito total alteada pelo método de montante.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem de rejeitos, Rejeitos ciclizados, Disposição de rejeitos.

1 INTRODUÇÃO

As barragens de contenção de rejeitos são estruturas projetadas para serem construídas ao longo do tempo de operação de uma mina. São alteadas na medida em que ocorre o enchimento do reservatório, seguindo o plano de produção estabelecido. Podem ser construídas utilizando o próprio rejeito como material de construção, ou utilizando solo compactado como nas barragens de água. Neste artigo serão discutidas apenas as barragens construídas com o próprio rejeito, utilizando a técnica de aterros hidráulicos.

Nesta técnica o rejeito, em forma de polpa, é transportado por tubulação até a crista da barragem, onde é descarregado. O rejeito assim depositado sofre uma segregação natural, na qual as partículas mais grossas se depositam próximo ao ponto de lançamento e, em seguida as partículas mais finas. Entre partículas de tamanho extremo, se depositam partículas de tamanho intermediário. Este processo de segregação das partículas de diversos tamanhos gera zonas com diferentes permeabilidades, sendo a de maior permeabilidade a zona formada junto à crista da barragem, vindo em

seguida a zona de permeabilidade intermediária e, por fim, a zona de baixa permeabilidade. O rejeito se deposita formando uma superfície com declividade que varia entre zero e 1%. Tal fato faz com que a água separada do rejeito após a sua decantação, fique afastada da crista da barragem, de onde é descarregado o rejeito, formando uma praia entre o lago e a crista da barragem.

O contraste de permeabilidade existente entre as zonas de partículas de diferentes tamanhos e o afastamento do lago em relação à crista da barragem, controlam a superfície freática ao promover o seu brusco deplecionamento permitindo construir uma barragem estável. A barragem construída com rejeito é, portanto, uma barragem permeável.

No Brasil, a maior parte das barragens de rejeitos é construída utilizando o rejeito total e, pelo método de alteamento a montante. Poucas são as barragens construídas com rejeito ciclizado alteadas pelo método de jusante ou linha de centro. A Figura 1 mostra os esquemas de construção dos três métodos citados. A operação destas poucas barragens construídas com rejeito ciclizado existentes não acompanhou a evolução dos princípios de

projeto, operação e controle de construção que se verificou nos últimos quarenta anos no cenário internacional.

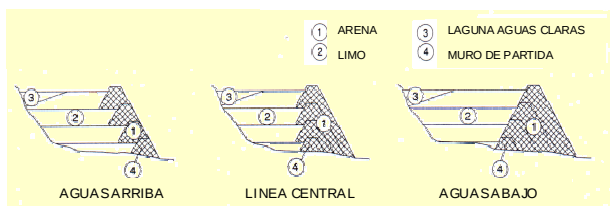


Figura 1 – Métodos de alteamento das barragens de rejeitos.

Assim, no desenvolvimento deste artigo, serão apresentados a forma corriqueira com que são construídas as barragens brasileiras de rejeito alteadas por montante, descritos os métodos modernos de construção das barragens cicladas (com base na experiência chilena) e, sugeridas as adaptações para utilização das barragens cicladas na disposição de rejeitos de minério de ferro.

Existem alternativas de disposição de rejeitos, atualmente denominadas alternativas tecnológicas, quais sejam, disposição de rejeitos espessados, em forma de pasta e rejeitos filtrados. Todas dependem de instalações industriais de grande porte, cujos custos ainda são considerados elevados pela indústria. Estas metodologias representam o futuro da disposição de rejeitos.

2 BARRAGEM CONSTRUÍDA PELO MÉTODO DE ALTEAMENTO PARA MONTANTE

Inicialmente constrói-se a barragem inicial que, pode ser de solo argiloso ou enrocamento compactado. Em seguida o rejeito é depositado por via hidráulica a partir da crista da barragem inicial, formando-se a praia de rejeitos, que é a zona mais próxima do ponto de lançamento. Esta praia servirá de fundação para os futuros diques de alteamento. Os diques de alteamento são comumente construídos com rejeito e, compactados com o próprio equipamento de espalhamento. O processo é repetido sucessivamente até alcançar a cota de projeto prevista para a barragem. A Figura 2 ilustra o processo de alteamento por montante.

O alteamento por montante é o mais antigo, simples e econômico método de alteamento de barragem de rejeitos, por isso o mais utilizado pelas mineradoras. Entretanto, é o que está associado ao maior número de rupturas em nível internacional (ICOLD, 2001), pois os alteamentos são construídos sobre a praia de rejeitos não adensados, em estado de compactidade fofa e, em condições saturadas. O rejeito, nestas condições, pode apresentar baixa resistência ao cisalhamento e, são susceptíveis a sofrerem liquefação quando submetidos a carregamentos estáticos. Observa-se que, em geral, o controle construtivo deste tipo de barragem é precário. O controle de compactação fica restrito ao dique de alteamento, que é apoiado sobre uma fundação que não é compactada.

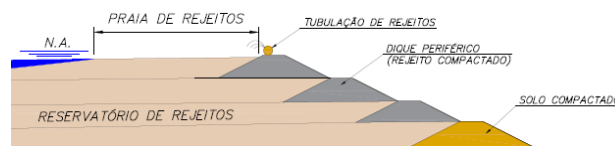


Figura 2 – Barragem alteada para montante.

O controle da superfície freática deste tipo de barragem e, portanto, da sua estabilidade é dependente da extensão da praia de rejeitos e de um sistema de drenagem interna que seja eficiente, outro dispositivo de difícil implantação. Vê-se, que a operação é um fator chave na estabilidade e na segurança da barragem. A Figura 3 apresenta os dispositivos de drenagem destas barragens.

Na Figura 3 (a) é mostrada a configuração na qual os diques de alteamento são construídos com dispositivos de drenagem típicos de barragem de terra – filtro vertical e tapete drenante. Devido às deformações excessivas da fundação este tipo de drenos podem ter seu funcionamento prejudicado levando à redução de vazão e, saturação do pé do dique.

Na Figura 3 (b) é mostrada a configuração de drenagem onde a barragem inicial é de enrocamento, portanto, francamente drenante.

Na Figura 3 (c) é mostrada a configuração de drenagem onde o dreno dos alteamentos é posicionado na elevação da crista da barragem inicial. Devido às deformações excessivas da fundação este tipo de drenos pode ter seu

funcionamento prejudicado levando à redução de vazão, especialmente na região central ao longo do eixo da barragem.

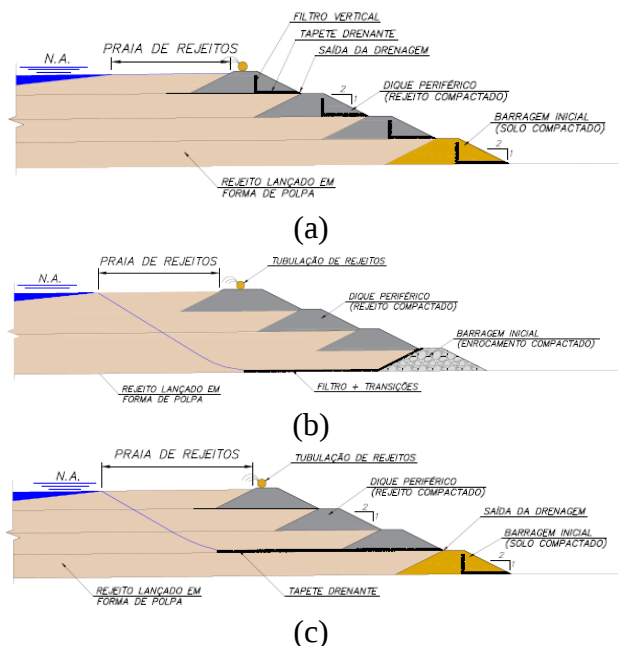


Figura 3 – Configuração de drenagem interna de barragens alteadas por montante.

A grande desvantagem deste tipo de barragem é que o rejeito total de minério de ferro apresenta permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s (ou menor) e a segregação hidráulica natural deste rejeito apresenta zona mais permeável com permeabilidade muito variável, mas ainda, com predominância de permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s (resultante da baixa segregação hidráulica devido ao excesso de finos, que é característica do rejeito de minério pobre), o que dificulta o seu rápido adensamento. Neste aspecto, a operação desempenha um fator importante na estabilidade e no potencial risco de ruptura, pois, o afastamento do lago e a segregação são função da operação, isto é, relacionam-se com granulometria do rejeito, declividade da superfície onde o rejeito está sendo depositado, concentração de sólidos na polpa, volume do fluxo, direção do fluxo, bem como, a energia associada ao mesmo.

Vê-se que a segurança deste tipo de barragem, cujo alteamento pode levar décadas até a ocupação total do reservatório, fica sujeita ao gerenciamento e à operação por diferentes equipes que, em geral, são substituídas de

tempos em tempos. A prática mostra que a mudança de equipes introduz mudanças na operação e no monitoramento. Não é infrequente observar mudanças nos critérios de projeto originais da barragem. Muitas vezes estas mudanças estão relacionadas com redução de custos operacionais, com prejuízos na segurança das barragens.

A maior parte das barragens de rejeitos brasileiras são barragens alteadas por montante, construídas com base na metodologia anteriormente descrita. Muitas destas barragens alcançam 100 m de altura ou mais. Algumas já atingiram a sua capacidade máxima e deveriam estar já descomissionadas.

O descomissionamento deste tipo de barragem é problemático, pois, muitas delas apresentam surgências e, necessitam medidas de remediação (bermas de equilíbrio) para se tornarem estáveis em longo prazo.

3 BARRAGENS DE REJEITOS CICLONADOS

As barragens de rejeitos ciclados são estruturas permeáveis construídas com o próprio rejeito a ser armazenado. Para a construção deste tipo de barragem, o rejeito proveniente da planta de concentração é bombeado para os hidrociclones posicionados no local de disposição, ou seja, sobre a barragem, ou em estações de ciclonagem localizadas em uma das ombreiras da barragem. Os hidrociclones (Figura 4) são dispositivos mecânicos que separam os rejeitos, por centrifugação, em suas parcelas grossa (underflow) e fina (overflow), sendo um equipamentos de baixo custo e, comumente encontrados nas minas. A parcela grossa é utilizada para construção do talude jusante, que é responsável pela estabilidade da barragem. A parcela fina é lançada no reservatório. Podem ser construídas pelos três métodos - montante jusante e linha de centro. A Figura 5 apresenta as seções típicas das barragens alteadas por jusante (a) e por linha de centro (b).

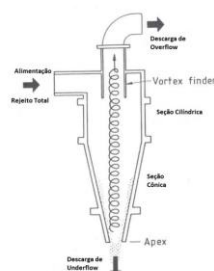


Figura 4 – Esquema geral de um hidrociclone.

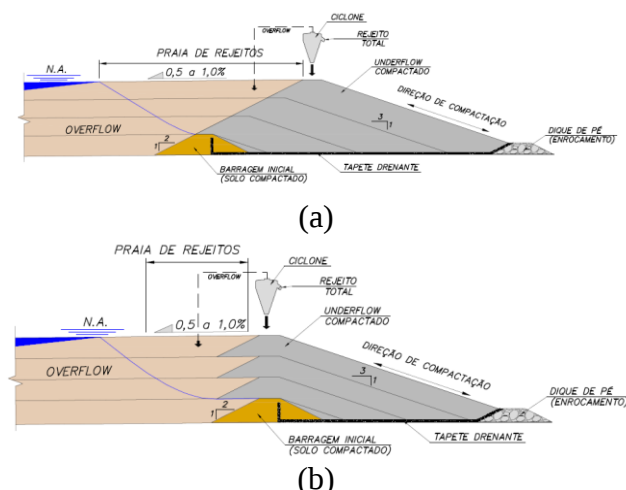


Figura 5 – Seções típicas das barragens de rejeito ciclonado.

3.1 Conceito da barragem ciclonada

A barragem ciclonada utiliza a fração grossa obtida na ciclonagem do rejeito para construção do alteamento da barragem. Este tipo de barragem conduz a vantagens econômicas significativas, quando comparadas com as barragens de terra. O método clássico de alteamento requer as seguintes características construtivas (Mittal and Morgenstern, 1977; Barrera e Valenzuela, 2003; Barrera et al, 2011; Valenzuela, 2015):

- Construção da barragem inicial, que é uma barragem de terra ou enrocamento convencional;
- Transporte do rejeito total, em forma de polpa, até a crista da barragem (ou até a estação de hidrociclones locada em uma ombreira). O underflow é lançado a jusante e, o overflow lançado no reservatório;
- O underflow é espalhado em camadas sucessivas e paralelas com o auxílio de tratores e compactado com o auxílio de rolo

compactador liso vibratório, ao longo do comprimento do talude promovendo o alteamento da crista da barragem;

- Adoção de um sistema robusto de drenagem interna da barragem capaz de escoar rapidamente a água descarregada com o underflow, a água percolada pela fundação e, água de precipitações, de forma a evitar a saturação do talude;
- Talude de jusante com inclinação máxima 3H:1V para permitir a compactação na direção do talude;
- Nível d'água afastado da crista da barragem formando uma ampla praia de rejeitos, que juntamente com o contraste de permeabilidade overflow/underflow promova o deplecionamento da freática;
- Controle tecnológico sistemático da produção do underflow (granulometria e conteúdo de finos), da compactação do talude jusante e geometria geral da barragem;
- Equipe especializada em operação e monitoramento.

O processo é repetido proporcionando o alteamento sucessivo da barragem. A posição do eixo se mantém inalterada e o pé do talude de jusante se desloca sucessivamente para jusante.

3.2 Aspectos da produção do underflow

O método clássico de construção de barragens ciclonadas exige, para o processo ser viável, do ponto de vista prático, a produção de um underflow granular, com coeficiente de permeabilidade suficientemente alto, de modo que, a drenagem do excesso de água ocorra rapidamente.

Embora o underflow contenha a menor parte da água (teor de sólidos da ordem de 60% a 70% na descarga), ele ainda apresenta umidade muito acima do valor adequado para o espalhamento e compactação (a umidade ótima de compactação do rejeito de minério de ferro é da ordem de 11% a 15%), razão pela qual se exige coeficiente de permeabilidade da ordem 10^{-3} cm/s para que ocorra o rápido desagudamento do material e sua umidade

alcance valores próximos à umidade ótima de compactação.

Um aspecto relevante, no respeitante à qualidade do underflow como material de construção da barragem, é a exigência de um limite para o teor de finos passante na peneira nº 200, pois, esse teor de finos está intimamente relacionado ao coeficiente de permeabilidade do material. Atualmente, após vários anos de monitoramento de barragens altas construídas com rejeitos ciclonados, concluiu-se que rejeitos de cobre que apresentam peso específico dos sólidos 2,7 g/cm³ a 2,8 g/cm³ apresentam permeabilidade de 10⁻³ cm/s para um teor de finos limitado ao intervalo 15% a 20% (Barrera et al, 2011; Valenzuela, 2015). Já para rejeitos com peso específico dos sólidos 3,0 g/cm³ a 3,2 g/cm³, caso em que se enquadram os rejeitos de minério de ferro, a porcentagem de finos pode alcançar 20% a 25% (Barrera et al, 2011). Mittal and Morgenstern (1977) também salientam que rejeitos que apresentam teor de finos passante na peneira nº 200 no intervalo de 20% a 25% terão coeficiente de permeabilidade da ordem de 10⁻³ cm/s. O teor de finos é, portanto, um parâmetro importante no controle de produção do underflow como material de construção e deve ser levado em conta no projeto da barragem.

A curva granulométrica típica de um underflow de ciclonagem de rejeito de minério de ferro quase coincide com a curva do rejeito total. Atribui-se esta característica ao fato de a densidade dos sólidos do rejeito ser da ordem de 3 g/cm³ ou mais. De fato, para solos com densidade dos grãos praticamente constante, a separação equivale também a uma separação granulométrica (partículas maiores no *underflow* e menores no *overflow*). No entanto, vale ressaltar que o hidrociclone, no caso específico dos rejeitos de minério de ferro, não consegue separar com eficiência o material granulometricamente, uma vez que existem partículas de ferro de menor diâmetro com massa equivalente a partículas de solo de diâmetro consideravelmente maior (Lopes, 2000). A Figura 6 apresenta uma curva granulométrica típica de rejeito de minério de ferro ciclonado. Pode-se observar na curva que

o underflow apresenta cerca de 45% passante na peneira #200.

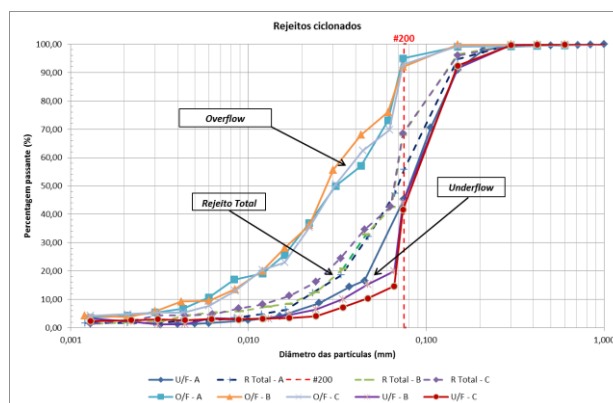


Figura 6 - Curvas granulométricas típicas de rejeitos de minério de ferro ciclonados.

Verifica-se na prática que um underflow com estas características apresenta coeficiente de permeabilidade muito variável podendo facilmente alcançar 10⁻⁴ cm/s ou valores menores, saindo portanto do conceito de *underflow* de livre drenagem.

Nestas condições é necessário proceder a uma dupla ciclonagem, ou ciclonagem em duplo estágio, na qual o underflow do primeiro estágio alimenta o hidrociclone do segundo estágio de forma a obter um underflow final com um percentual máximo de 20% a 25% passante na peneira #200. Não há experiências de ciclonagem de rejeitos em segundo estágio publicadas no Brasil. O autor recomenda que sejam levadas a cabo experiências de ciclonagem em duplo estágio, em rejeitos de minério de ferro, para que se possa verificar a característica final do underflow no respeitante à sua capacidade de livre drenagem. Enfatiza-se que a barragem poderá ser alteada por décadas e, portanto, o rejeito certamente sofrerá significativas variações em função do minério encontrado na frente de lavra. Não obstante, o underflow deverá apresentar uniformidade com relação à capacidade de livre drenagem. Esta é uma questão mandatória para este tipo de barragem.

Nestes experimentos, é recomendável utilizar hidrociclones comuns e hidrociclones equipados com o dispositivo auxiliar denominado “**Cyclowash**” (FLSmidth, 2016). Tal dispositivo é recomendado pelo fabricante FLSmidth-Krebs para melhorar a qualidade do

underflow, uma vez que atua eliminando finos no underflow. Resta extrair do experimento recomendado se tal dispositivo vai funcionar na ciclonagem do rejeito de minério de ferro.

Algumas barragens descritas na literatura já usam estas inovações. Segundo Obermeyer e Alexieva (2011) na barragem de Cerro Verde, atualmente em construção no Peru, o underflow é produzido através de dupla ciclonagem utilizando hidrociclones equipados com “cyclowash”. Já a barragem El Mauro, atualmente em construção no Chile, o underflow é produzido através de ciclonagem em um estágio, também utilizando hidrociclones equipados com “cyclowash”.

3.3 Aspectos das barragens ciclonadas existentes no Brasil

No Brasil, existem poucas barragens construídas com rejeito ciclonado. Sabe-se que em nenhuma delas o método clássico de alteamento é aplicado, devido à permeabilidade do underflow ser bastante variável, pois, a ciclonagem não é executada obedecendo ao requisito da limitação de finos na #200. Há descrições de barragens que se iniciaram com permeabilidade adequada (10^{-3} cm/s), mas logo em seguida houve necessidade de ciclonar o rejeito fora do corpo da barragem e transportar o underflow através de caminhões, perdendo assim, a economicidade que o lançamento hidráulico do underflow proporciona ao empreendimento (Busch et al, 1982; Busch, 1987). Verifica-se, também, a necessidade de utilização de calhas para auxiliar a descida do underflow no talude. Tal fato salienta a variabilidade do rejeito ao longo do período de operação da mina e conduz à conclusão de que é necessário ter um controle adequado sobre a produção do underflow. Isto é, o underflow deve ser produzido com vistas a servir de material de construção da barragem. Enfatiza-se que a manutenção do rejeito com a permeabilidade adequada permitirá a aplicação do método clássico ao longo de todo o período de construção, eliminando-se a utilização de caminhões e outras interferências no método construtivo.

4 A CONTRIBUIÇÃO DA ENGENHARIA CHILENA

As características requeridas pelas barragens ciclonadas citadas anteriormente seguem as recomendações utilizadas nas barragens chilenas, desenvolvidas nos últimos quarenta anos. Após a ruptura da barragem El Cobre nº 1 (alteada por montante) no terremoto de 1965, iniciou-se no Chile a construção de barragens ciclonadas alteadas por jusante, sendo a primeira a barragem El Cobre nº 4. Seguiu-se a construção de uma série de outras barragens utilizando as lições aprendidas nas barragens anteriores (Valenzuela, 2015; Swaisgood, 2002). Assim, foi testado underflow com diferentes teores de finos e, estudada a sua correlação com os controles piezométricos visando verificar a influência do teor de finos no comportamento da saturação do talude.

Foram também investigadas a relação entre a mineralogia do rejeito e materiais drenantes e a quebra dos grãos destes materiais quando submetidos a altas pressões confinantes, pois, a quebra de grãos promove o aumento de finos com consequências na diminuição da permeabilidade e na resistência cíclica do rejeito, fatores importantes considerando que o Chile é um país de alta sismicidade. Concluiu-se que para pressões verticais de até 4 MPa, que corresponde a uma barragem com altura de 200 m, a quebra de grãos não é significativa.

Foi dito anteriormente que o rejeito total é transportado por via hidráulica até a crista da barragem onde é ciclonado, espalhado em camadas sucessivas e paralelas e compactado. Neste processo os hidrociclones são móveis e vão sendo alteados sucessivamente. Atualmente, conforme descrito por Barrera et al. (2011) e por Valenzuela (2015), implanta-se uma estação fixa de hidrociclones em uma das ombreiras e o underflow é conduzido até a barragem através de uma tubulação que se estende por todo o comprimento da crista. Esta tubulação é dotada de “spigots” com registros espaçados a cada três metros, de onde o rejeito é descarregado no talude jusante. Esta tubulação é que vai sendo sucessivamente alteada. Está técnica foi introduzida pelos Engenheiros chilenos no âmbito das barragens de rejeitos,

com o advento das barragens ciclonadas altas. A Figura 7 mostra este arranjo para a barragem El Mauro no Chile. A justificativa para adoção desta técnica é industrialização do processo com vistas à manutenção da qualidade do underflow (menor variabilidade da granulometria e consequentemente da permeabilidade) e também a produção requerida, pois, a estação fixa de hidrociclones é uma planta de processo dotada de instrumentação e, portanto, sua operação e monitoramento são mais efetivos que nos hidrociclones simplesmente posicionados na crista da barragem.



(a)



(b)

Figura 7 – Arranjo da estação de hidrociclones e tubulações sobre a barragem (a). Detalhe da estação de hidrociclones (b). Barragem El Mauro no Chile.

A experiência chilena de projeto e construção das modernas barragens de rejeito ciclonados, está muito bem documentada nos artigos Alarcon e Barrera (2003), Barrera e Valenzuela (2003), Barrera et al (2011), Valenzuela (2015) e, constitui-se no estado da arte deste tipo barragem.

5 SUGESTÕES PARA AS BARRAGENS BRASILEIRAS

No Chile, devido à alta sismicidade do país, as barragens de rejeitos alteadas por montante são proibidas por lei federal, bem como o underflow para ser utilizado como material de construção deve ter no máximo 20% de finos passantes na #200 (Decretos Supremos nº 86/1970; 248/2006). Lá todas as barragens de rejeitos construídas após 1970 são barragens ciclonadas alteadas por jusante. Hoje estas barragens atingem alturas da ordem de 250 m. Barragens com cerca de 200 m altura passaram incólumes pelos últimos terremotos acontecidos no país.

Para o caso brasileiro, considerando a baixa sismicidade do país, sugere-se adotar as barragens ciclonadas alteadas por linha de centro, que apresentam nível de segurança bastante superior às barragens alteadas por montante e, próximo à das barragens alteadas por jusante, mas ocupam menor área, necessitam um volume menor de underflow, resultando em um custo menor. Estas barragens podem substituir com inequívocas vantagens no quesito segurança contra a ruptura, as barragens alteadas por montante, que apresentam alto risco potencial de ruptura.

É necessário um estudo detalhado do rejeito de minério de ferro para definir a viabilidade da adoção deste tipo de barragem. Estes estudos devem incluir: além dos ensaios geotécnicos tradicionais, ensaios de ciclonagem do rejeito em duplo estágio utilizando os hidrociclones equipados com o **cyclowash** (FLSmith (2016), visando reduzir o teor de finos no underflow de forma a garantir a uniformidade granulométrica bem como as características de livre drenagem do rejeito ao longo de todo o período de operação da barragem.

6 CONCLUSÕES

Apresentou-se neste artigo o conceito moderno, bem como as características construtivas das modernas barragens de rejeito ciclonado, estabelecidas pela prática chilena desenvolvida nos últimos quarenta anos.

O sucesso da construção da barragem ciclonada, assenta-se entre outros pontos, na

qualidade do *underflow* no respeitante à sua permeabilidade e à sua uniformidade ao longo do período de operação da mina, que pode se estender por décadas.

O alteamento da barragem e a produção do *underflow* são uma atividade diária, que tem que ser ajustada em função do rejeito que está sendo gerado na planta de processamento do minério. A inerente variabilidade do minério dará origem a variações também no rejeito, que terá influência nas suas propriedades geotécnicas, que condicionam o método de construção.

O *underflow* da ciclonagem em um estágio do rejeito de minério de ferro apresenta alto teor de finos passantes na #200. É necessário que o rejeito seja submetido a ensaios de dupla ciclonagem para obter um *underflow* com um percentual de finos da ordem de 20% a 25%, que garanta permeabilidades da ordem de 10^{-3} cm/s (livre drenagem) ao longo de toda a operação da barragem.

Considerando que o Brasil é um país de baixa sismicidade, sugere-se a adoção das barragens ciclonadas alteadas por linha de centro, que apresentam menor risco de ruptura, em substituição às barragens alteadas por montante cuja construção tem controle precário e apresentam alto risco de ruptura.

Este trabalho é dedicado ao meu querido filho Estevão Luiz Ferreira Queiroga Mafra (*in memoriam*).

REFERÊNCIAS

- Alarcón, J.C., Barrera, S., (2003). Dams of Great Height, a Challenge. *International Symposium on Major Challenges in Tailings Dams*, held together with 21th ICOLD Congress, Montreal, p. 7-17.
- Barrera, S., Valenzuela, L. (2003) Construction Evaluation of a Sand Dam of Great Height. *International Symposium on Major Challenges in Tailings Dams*, held together with 21th ICOLD Congress, Montreal.
- Barrera, S., Valenzuela, L., Campanã (2011). Sand Tailings Dams: Design, Construction and Operation. *Proceedings of Tailings and Mining Waste 2011*, Vancouver.
- Busch, R. G. (1987). Construção de barragens com rejeitos de fosfato. *Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração*, Rio de Janeiro 1987, p.379-396.
- Busch, R. G.; Abrão, P. C.; Machado, P. T.; Freitas, A. Z.

- (1982). Construção de barragens com rejeitos pouco permeáveis. *VII Congresso brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Recife, 1982, p.333-346.
- FLSmith (2016). Krebs Cyclowash. Disponível no endereço:
<http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Categories/Products/Classification/Hydrocyclones/Hydrocyclone+Accessories/CycloWash>, acesso em 24/01/2016.
- ICOLD (2001). Tailings dams. Risk of dangerous occurrences. Lessons learnt from practical experiences. *Bulletin n° 121*, Paris. 145p.
- Lopes, M. C. O. (2000). *Disposição hidráulica de rejeitos arenosos e influência nos parâmetros de resistência*. 166 p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Brasília/DF.
- Mittal, H. K., Morgenstern, N. R. (1977). Design and Performance of Tailings Dams. *Proceedings of ASCE Conference on Geotechnical Practice for Disposal of Solid Waste Materials*, ASCE Reston, Va, p. 475-492.
- Obermeyer, J.; Alexieva, T. (2011). Design, construction and operation of a large centerline tailings storage facility with high rate of rise. *Proceedings of Tailings and Mining Waste 2011*. Vancouver, Ca.
- República de Chile, Decreto Supremo n° 86/1970.
- República de Chile, Decreto Supremo n° 248/2006.
- Swaigood, J. (2002). The Investigation and Evaluation of Quillayes Dam, Technical Visit. *High Density & Paste 2002 Seminar*, Santiago, Chile. 1 CD-ROM.
- Valenzuela, L. (2015). Tailings Dams and Hydraulic Fills. The 2015 Casagrande Lecture. *Proceedings of the 15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, November 2015, Buenos Aires Argentina.