

ALTEAMENTO DA BARRAGEM DE CAMBAMBE – ADAPTAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE NOVOS ÓRGÃOS DE DESCARGA DE CHEIAS APÓS 5 DÉCADAS DE OPERAÇÃO CONTÍNUA

Cambambe Dam Heightening – Conversion and Construction of New Spillways After 5 Decades of Continuous Operation

PEDRO MANSO ⁽¹⁾ e ALEXANDRE WOHNLICH ⁽²⁾

*(1) Eng. Coordenador de Projectos, STUCKY Ltd,
Rue du Lac 33, 1020 Renens VD, Suíça, pmanso@stucky.ch*

*(2) Chefe do Departamento de Barragens, STUCKY Ltd,
Rue du Lac 33, 1020 Renens VD, Suíça, awohnllich@stucky.ch*

Resumo

O aproveitamento hidroelétrico de Cambambe em Angola foi concluído em 1963 e inclui uma barragem arco-abóbada com 72 m de altura sobre a fundação. Esta foi inicialmente prevista ser alteada em 20 m numa segunda fase, em função do aumento esperado do consumo de electricidade. Por diversas razões históricas só foi decidido avançar com o alteamento em 2009, sendo necessário adaptar o conceito a um novo contexto económico e ter em conta os quase 50 anos de operação das estruturas. A incerteza quanto ao estado atual da bacia de dissipação existente no pé da barragem, o contexto hidrológico e a aplicação de padrões actuais de segurança de barragens conduziram à adopção de um conjunto de obras de descarga de cheias que alia orifícios no corpo da barragem alteada, como inicialmente previsto, e um novo descarregador em canal na encosta da margem esquerda. Dada a importância da barragem e as particularidades do sistema de descarga de cheias proposto, foram realizados estudos em modelo reduzido à escala 1/75, que conduziram à redução do número de orifícios previstos de 7 para 5. Os trabalhos de alteamento tiveram início no final de 2011 e deverão estar concluídos em 2014.

Palavras-chave: Barragem arco-abóbada, alteamento, descarregador de cheias, bacia de dissipação, jatos turbulentos multifásicos.

Abstract

The Cambambe power scheme in Angola was commissioned in 1963 and includes an arch dam 73m high above foundation. The dam was planned to be heightened later by 20 m according to the expected rise in electricity demand. For different historical reason the heightening project was only reconsidered in 2009, being necessary to adapt the concept to a new economic context taking into consideration the almost 50 years of operation of the structures. The uncertainty related with the actual status of the plunge pool at the toe of the dam, as well as the hydrological context and modern dam safety requirements all contributed to the inclusion of a new spillway on the left bank, as a complement to the central orifice spillways foreseen. Given the category of the dam and the particular character of the new spillway layout, hydraulic model tests were carried out at 1/75 scale which lead to decreasing the number of orifices from 7 to 5. Construction work started in the last quarter of 2011 and should finish in 2014.

Keywords: Arch dam, dam heightening, spillway, plunge pool, multiphase turbulent jets.

1. Introdução

Há décadas que as engenharias portuguesa e suíça de barragens são reconhecidas no estrangeiro pelas suas competências e seriedade, bem como pela grande experiência desenvolvida e adquirida em variadas regiões do Mundo durante o século XX. O espírito de inovação é igualmente uma característica essencial desta engenharia de ponta. O projeto de alteamento da Barragem de Cambambe apresentado neste artigo é uma ilustração deste conhecimento. Este projeto ambicioso consiste na sobre-elevação do nível normal da albufeira de 28 m, através do alteamento da barragem abóbada, que está atualmente munida de um descarregador de lâmina livre no seu trecho central e que descarrega em permanência na bacia de dissipação situada cerca de 60 m abaixo, no pé de jusante da barragem.

Para além dos desafios técnicos habituais nas obras de alteamento de barragem, tais como a resistência da obra alteada ou a adaptação dos órgãos de descarga de cheias extremas, esta obra distingue-se por ter uma logística de estaleiro muito complexa já que é muito dependente das estações do ano e da hidrologia local.

2. Aproveitamento Existente

A barragem arco-abóbada de Cambambe está situada em Angola e foi construída entre 1959 e 1963 (entrada em serviço) a 10 km a sudeste da vila de Dondo, 180 km da capital Luanda, no rio Kuanza, Figura 1.

A barragem e a sua albufeira têm uma vocação hidroelétrica. A central existente (atualmente em reabilitação) tem uma potência instalada de 4 x 45 MW = 180 MW.

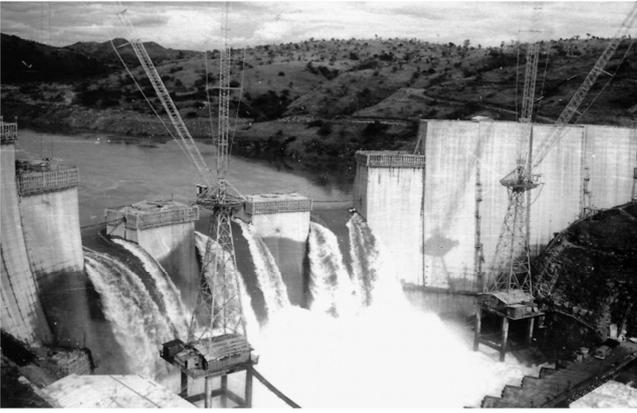


Figura 1. Construção da barragem de Cambambe (1959-1963), (Arquivo ENE).

No entanto, o potencial hidroeléctrico do local está longe de estar esgotado, uma vez que o descarregador da barragem em lâmina livre, situado no centro da barragem e com soleira 10 m abaixo da crista da barragem, descarrega de forma ininterrupta numa bacia de dissipação imediatamente a jusante, Figura 2.

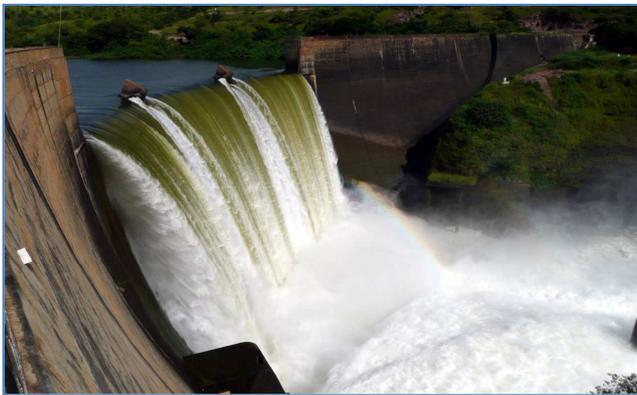


Figura 2. Barragem de Cambambe antes dos trabalhos de alteamento.

O aproveitamento é explorado em regime de fio-de-água, dada a pequena capacidade de armazenamento da albufeira quando comparada com o volume das aflúências. A bacia hidrográfica mede 115'500 km². A central está equipada com quatro unidades de 65 m³/s cada (total 260 m³/s). O caudal médio anual é cerca de 750 m³/s.

Desde a conceção nos anos 1950 que a barragem foi prevista para ser alteada posteriormente; incluindo também uma segunda central eléctrica a ser explorada em paralelo com a central existente. Todavia, por diferentes razões históricas e políticas os trabalhos de alteamento e de ampliação do aproveitamento não arrancaram antes do início de 2010. A barragem arco-abóbada existente mede 72 m acima da fundação, para um comprimento de crista de 250 m. A espessura na base é de 13.3 m e a largura do coroamento é de 5.90 m. Trata-se de uma barragem arco com dupla curvatura, concebida segundo uma definição geométrica de arco composto por três sectores de círculo. A barragem tem dois blocos de apoio massivos no topo das ombreiras em ambas as margens. O alteamento da barragem previsto desde a concepção é de 20 m (i.e. a altura final será de 92 m) e conduz a uma sobrelevação do nível de pleno armazenamento de 28 m. A largura da crista da barragem alteada será de 3.0 m.

3. Alteamento da Barragem

Os trabalhos de alteamento actualmente em curso inspiram-se no projecto inicial embora tenham sido introduzidas diversas alterações significativas ao arranjo geral. Os trabalhos decorrem em paralelo com a reabilitação e transformação da central existente, em operação há cerca de 50 anos, e com a construção de uma nova central a céu aberto com capacidade prevista de $4 \times 175 \text{ MW} = 700 \text{ MW}$. No final dos trabalhos de ampliação em curso (conclusão prevista para 2015), o aproveitamento de Cambambe será capaz de produzir $700 + 4 \times 65 \text{ MW}$ (por aumento da potência da central existente graças à reabilitação dos grupos e à sobrelevação do nível da albufeira), ou seja um total de 960 MW. Este valor representa uma potência de 5 vezes superior à actualmente disponível em exploração desde os anos 60. A barragem está dimensionada para uma cheia de projecto de 10'000 anos de período de retorno, com caudal de ponta estimado de 9'000 m³/s. A opção adotada para os órgãos de descarga caracteriza-se pela incorporação nos 5 blocos centrais de cinco orifícios-descarregadores, de capacidade $5 \times 900 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja 4'500 m³/s, sendo que a restante vazão será escoada por um descarregador em canal na encosta da margem esquerda, com dois vãos com comportas, cada um com 19.5 m de largura, Figura 3.

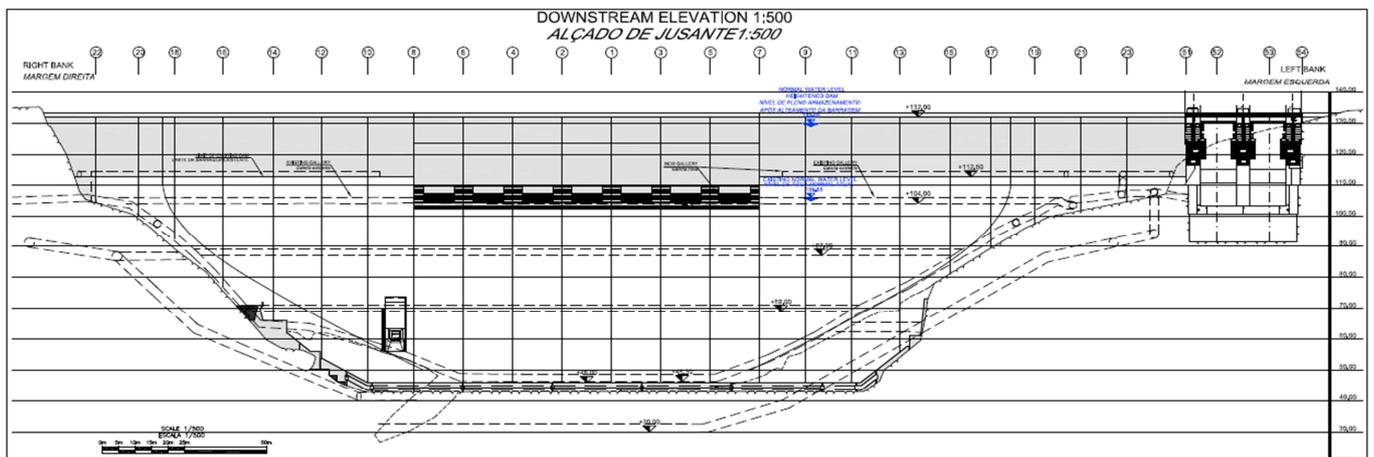


Figura 3. Alçado de jusante do projecto de alteamento da barragem de Cambambe, (STUCKY).

Quadro 1. Arranjos gerais alternativos e respectiva repartição do caudal de ponta da cheia de projecto por cada órgão de descarga.

	ORIFÍCIOS CENTRAIS	MARGEM ESQUERDA	OBSERVAÇÕES
OR	9000	-	#7x A8.5mxL9.0m
A	-	9000	Rápido, custo elevado
B	6500	2500	#7x A5.2mxL9.5m, Q10 na ME
C	4500	4500	#5x A5.2mxL9.5m, Q50 na ME

A solução B consistiu numa alteração da geometria dos sete orifícios previstos para uma vazão máxima de projecto de 6500 m³/s, aumentando a largura em cerca de 0.50 m e reduzindo significativamente a altura dos vãos.

Procurou-se reduzir a espessura dos jactos de forma a aumentar o seu grau de fragmentação antes da entrada na bacia de dissipação, bem como aumentar o rendimento dissipativo do colchão de água disponível a jusante. A restante capacidade de vazão necessária para atingir a cheia de projecto, cerca de 2500 m³/s, seria vertida por um descarregador na margem esquerda, com dois vãos. Esta solução permitia reduzir o custo de construção face à solução A e aproveitar a bacia de dissipação no pé da barragem, construída de raiz tendo em conta o projecto de alteamento original. Apresentava também duas novidades do ponto de vista hidráulico-operacional, sendo a primeira a possibilidade de gerir as cheias mais frequentes, até um período de retorno de 10 anos, pela margem esquerda e com restituição dos caudais mais a jusante, permitindo intervenções no pé da barragem se necessário, e a segunda a capacidade de descarga de uma cheia máxima de 13'000 m³/s (PMF) em condições controladas. Após a realização dos ensaios em modelo hidráulico, foram eliminados os dois orifícios nas extremidades e aumentada inversamente a capacidade do descarregador em canal na margem esquerda (solução C). A vazão de projeto ficará assim dividida em duas partes iguais, o que permitirá a gestão de cheias até um período de retorno de 50 anos pela margem esquerda, limitando a utilização dos orifícios na barragem a eventos de menor frequência.

4. Ensaios em Modelo Hidráulico

No intuito de validar o conceito de descarga de cheias (solução B) foram realizados ensaios em modelo físico no laboratório hidráulico CEHPAR de Curitiba, Brasil. Os ensaios, que duraram cerca de 2 anos, foram realizados à escala 1:75, permitiram validar e afinar o conceito, tendo nomeadamente conduzido à redução do número de orifícios de sete para cinco, Figura 4.

O detalhe de algumas formas hidráulicas foi também otimizado. Uma atenção particular foi dada a dois temas específicos:

1. As condições de erosão a jusante do descarregador de cheias situado na encosta da margem esquerda;
2. As condições de pressões hidrodinâmicas e a estabilidade das lajes da soleira da bacia de dissipação situada na zona de impacto dos jatos dos orifícios descarregadores.

A modificação das condições de pressão sobre as lajes, em equilíbrio há cerca de 50 anos, poderia eventualmente gerar perturbações na estrutura da bacia de dissipação e causar danos à sua fundação.



Figura 4. Vista panorâmica de jusante do modelo hidráulico durante os ensaios (2010-2012).

5. Trabalhos de Alteamento em Curso

Os trabalhos de reabilitação da central existente estão em curso desde 2010. A construção da nova central teve início em 2011 ; quanto ao alteamento da barragem, os trabalhos tiveram início em 2012 e deverão estar concluídos em 2014.

A duração dos trabalhos de alteamento é essencialmente condicionada pela gestão do rio durante a obra. A hidrologia regional anual é caracterizada por duas estações distintas : a estação húmida, que produz caudais elevados no rio Kuanza (da ordem dos milhares de m³/s) e que dura cerca de 7 meses por ano ; e a estação seca, que dura cerca de 5 meses, durante a qual o caudal é em geral inferior a 600 m³/s.

Durante a estação húmida e dada a capacidade limitada de desvio de caudais pela descarga de fundo e pela central em operação, a barragem verte pelo descarregador frontal e não é possível realizar os trabalhos de alteamento no vão central da barragem existente. Durante este período os trabalhos concentram-se nas ombreiras da barragem existente, que não são submersas, Figura 5.



Figura 5. Cambambe : obras de alteamento em curso na margem direita (Agosto 2012).

Ao invés, durante a estação seca, é possível desviar a totalidade das afluições pela descarga de fundo e pela central existente. Nestas condições, e durante os 5 meses à disposição, os trabalhos dos sete blocos centrais existentes (10 m mais baixos que as ombreiras) podem ser realizados. Estes blocos são os blocos críticos da obra, já que apenas se pode trabalhar neles 5 meses por ano com baixo risco de galgamento e que devem ser alteados e mais 10 m do que os restantes blocos da barragem.

É precisamente nestes blocos que serão integrados os cinco orifícios descarregadores equipados com comportas de serviço e ensecadeiras, obrigando forçosamente a trabalhos complexos, delicados e longos. A estas questões adicionam-se ainda as problemáticas da injeção das juntas de contração entre blocos da barragem abóbada alteada e da estabilidade dos blocos já realizados face ao galgamento, ambas intimamente ligadas ao cronograma dos trabalhos e à metodologia de construção em geral. Na realidade, para garantir a estabilidade individual dos blocos da barragem alteada é indispensável injectar as juntas entre blocos a determinadas cotas de alteamento pré-definidas. Recordase aqui que uma barragem-abóbada apenas funciona como tal, isto é como estrutura monolítica tridimensional, após terem sido injectadas as juntas entre blocos, de forma a poder mobilizar os esforços no sentido transversal ao carregamento principal, hidroestático, no sentido margem esquerda - margem direita, dito também esforço de arco.

Por último, uma problemática suplementar tem de ser integrada na metodologia construtiva; trata-se da refrigeração do betão de massa utilizado para o alteamento da barragem. Durante o processo de presa do betão, o cimento liberta calor (reação química exotérmica) que faz aumentar a temperatura do betão a valores que podem atingir os 50°C. Quando arrefece, o betão contrai-se, o que pode gerar a sua fendilhação.

Por outro lado, a injeção das juntas de contração entre blocos apenas poder ser realizada após arrefecimento do betão de massa, quando o comportamento térmico deste passa a estar alinhado com o ritmo térmico anual ditado pela temperatura ambiente local. Assim, é necessário poder controlar o arrefecimento do betão da barragem, de forma a poder injectar as juntas à temperatura adequada e na época do ano menos quente. No caso de Cambambe, os dois blocos de apoio laterais (as ombreiras), mais espessos que os blocos da barragem (cerca de 15 m no coroamento, contra 3 a 6 m para os blocos da barragem abóbada), não podem dissipar naturalmente o calor de hidratação do cimento antes de 2 anos. Esta duração não é compatível com o cronograma da obra, tornando necessário o arrefecimento artificial do betão de massa das ombreiras mediante a circulação de água gelada em tubos-serpentinadas incorporados directamente no seio do betão de massa durante a sua colocação.

Como conclusão, é de notar que a metodologia construtiva, que conduz à submersão parcial dos blocos centrais em construção durante duas épocas húmidas, é particularmente complexa e ambiciosa, requerendo condições e critérios de segurança extremamente exigentes. O acompanhamento do comportamento da barragem existente durante a obra é reforçado, de forma a permitir uma deteção rápida de qualquer desvio no seu comportamento (movimentos da barragem existente ou da sua fundação, infiltrações, ocorrência de subpressões).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio de Reabilitação de Cambambe (empresas Construtora Norberto Odebrecht (CNO) e Engevix) e à Empresa Nacional de Eletricidade de Angola (ENE) o bom entendimento estabelecido no quadro do projeto.