

REVISÃO DO PLANO DE OBSERVAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO COMPLEMENTAR DA BARRAGEM DA CHICAMBA

António Lopes Batista^{*1}, António Januário², Ezequiel Carvalho³

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Departamento de Barragens de Betão - Lisboa, Portugal

² Electricidade de Moçambique (EDM) - Chimoio, Moçambique

³ Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB) - Songo, Moçambique

*Email: a.l.batista@lneec.pt

RESUMO: Na sequência de um conjunto de estudos, realizados entre 2005 e 2008 pelo LNEC, sobre o estado da obra e do sistema de observação da barragem da Chicamba, uma estrutura de betão com 75 m de altura, constituída por duas abóbadas, explorada pela Electricidade de Moçambique (EDM), procedeu-se à revisão do seu plano de observação, no sentido de a dotar de um sistema de observação e de critérios da sua exploração que possibilitassem o acompanhamento continuado do seu desempenho térmico, estrutural e hidráulico, com vista ao controlo da sua funcionalidade e segurança. O reforço do sistema de observação incluiu a instalação de: i) piezómetros na fundação; ii) um fio de prumo invertido na fundação, em ligação com um fio de prumo direito existente na zona central; iii) extensómetros de fundação; iv) bases tridimensionais para medição do movimento de juntas; e v) um novo sistema de observação de deslocamentos por métodos geodésicos, com uma componente planimétrica materializada por uma rede de triangulação e uma componente altimétrica, a levar a efeito por meio de nivelamentos geométricos de precisão.

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal, desenvolveu, entre 2005 e 2008, um conjunto de estudos sobre a segurança estrutural da barragem da Chicamba, explorada pela Electricidade de Moçambique (EDM), no âmbito do plano de actividades do projecto “Tratado de Roma – Segurança de barragens em Moçambique”, estabelecido entre o LNEC e o Instituto da Água (INAG), no contexto do protocolo técnico celebrado entre o Governo da República Portuguesa e o Governo da República de Moçambique, na Área de Água e Saneamento. A partir de 2009 a EDM e o LNEC têm celebrado contratos anuais, com o objectivo desta última instituição dar apoio técnico às actividades de observação e controlo da segurança das barragens concessionadas à EDM, que inclui a realização de visitas de inspecção com periodicidade anual nas barragens de betão, entre as quais se inclui a barragem da Chicamba.

Os estudos realizados entre 2004 e 2008 comportaram: i) a recolha de elementos bibliográficos sobre o projecto, construção, exploração e beneficiações da obra; ii) a realização de visitas de inspecção, em Março e Abril de 2005 e em Julho de 2008; iii) a compilação dos dados relevantes sobre a observação da obra, incluindo um levantamento sobre o estado do sistema de observação; iv) a análise e interpretação do comportamento estático e dinâmico da obra, para avaliação do seu desempenho em serviço e ainda das suas condições de segurança; e v) a revisão do plano de observação, com vista à reabilitação e adaptação dos sistemas de observação existentes, à instalação de sistemas complementares e à definição das actividades e dos critérios a considerar na observação e no controlo da segurança da obra (LNEC, 2008).

De facto, o sistema de observação existente na obra, embora permitisse, desde que em bom funcionamento, a medição de um número mínimo de grandezas necessárias ao controlo de segurança, carecia de uma reabilitação geral, devido à degradação dos equipamentos. Devido à pouca fiabilidade de grande parte dos dados de observação, o acompanhamento e a análise e interpretação do comportamento da obra apenas foi possível em períodos limitados de tempo, recorrendo aos resultados de um número reduzido de instrumentos (Batista, 2006; Batista et al, 2008; LNEC, 2008).

Na revisão do plano de observação considerou-se que o sistema de observação existente deveria ser complementado com a instalação de um conjunto de dispositivos, de forma a suprir a deficiências identificadas, tendo-se ainda definido novos critérios de exploração dos sistemas de observação.

Recentemente foi possível concretizar a instalação da instrumentação complementar proposta, bem como a implementação do plano de observação, apresentando a presente comunicação os aspectos relevantes destas actividades. O reforço do sistema de observação foi levado a efeito entre Agosto de 2010 e Março de 2011, tendo a Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB) assumido a responsabilidade de realização de muitos dos trabalhos, ao abrigo de um acordo de cooperação com a EDM. Genericamente, o complemento do sistema incluiu a instalação de: i) piezómetros na fundação; ii) um fio de prumo invertido na fundação, em ligação com um fio de prumo direito existente na zona central; iii) extensómetros de fundação; iv) bases tridimensionais para medição do movimento de juntas; e v) um novo sistema de observação de deslocamentos por métodos geodésicos, com uma componente planimétrica materializada por uma rede de triangulação e uma componente altimétrica, a levar a efeito através de nivelamentos geométricos de precisão.

2. CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM

2.1. Descrição da barragem

A barragem da Chicamba está construída no rio Revué, principal afluente da margem esquerda do rio Búzi, numa garganta de afloramentos quartzíticos conhecida por Chicamba Real, na província de Manica, a poente da cidade do Chimoio (Fig. 1). A obra visa, presentemente, a regularização interanual dos caudais do rio Revué, a produção de energia hidroeléctrica e o abastecimento de água às cidades de Chimoio e de Manica e à vila de Gondola. Para a produção energética tem instalada uma potência total de 38 MW, numa central no pé de jusante, na margem esquerda, dotada de 2 grupos geradores.

A barragem é constituída por duas abóbadas. A abóbada principal, localizada no vale do antigo leito do rio, tem 75 m de altura, é formada por arcos parabólicos e tem o coroamento à cota 625,0 m. A abóbada secundária, que fecha a portela da margem direita, tem 45 m de altura, é definida por arcos circulares e o coroamento situa-se à cota 625,5 m (Figs. 2 e 3 e Quadro 1). As duas abóbadas estão ligadas entre si por um encontro artificial em betão, que se apoia no esporão quartzítico de jusante, tendo cerca de 25 m de altura máxima do lado de montante (Xerez et al, 1958; SHER, 1959). A barragem apresenta a particularidade de ter sido construída em duas fases. Na primeira fase, levada o efeito entre 1956 e 1959, a abóbada principal atingiu uma altura máxima de cerca de 60 m. O alteamento da barragem, para os actuais 75 m de altura, iniciou-se em 1968 e terminou no final de 1969.



Fig. 1 – Localização da barragem da Chicamba

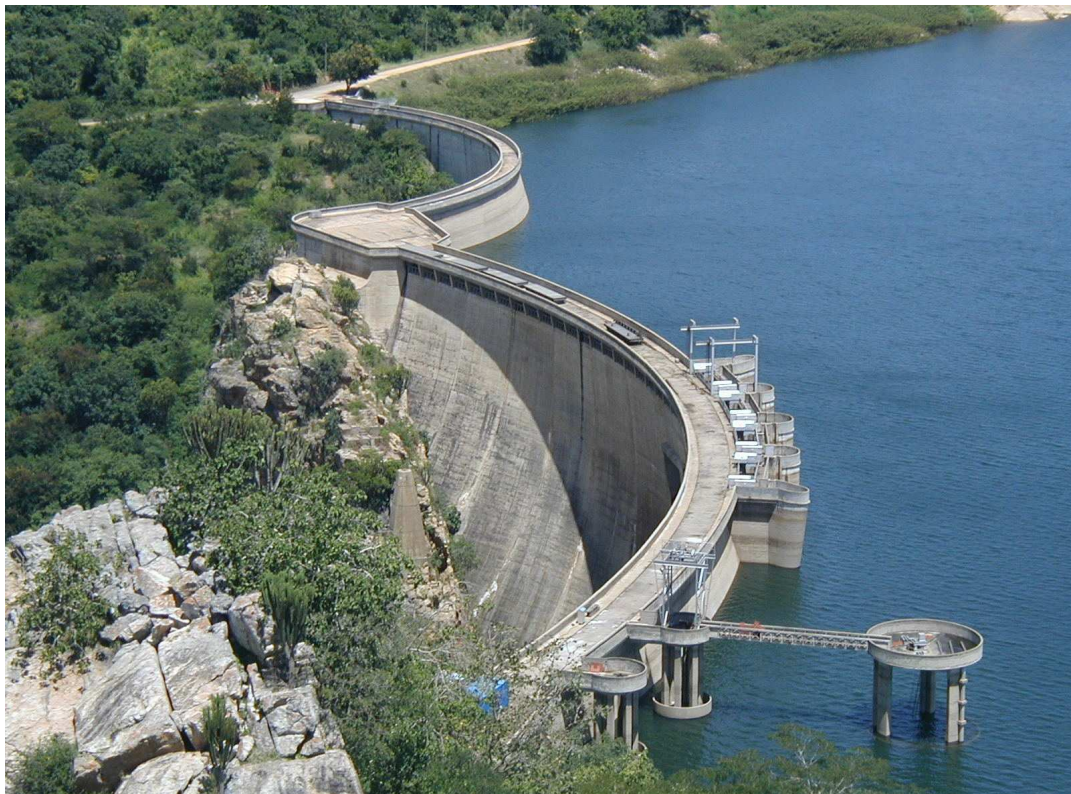


Fig. 2 – Barragem da Chicamba. Vista da margem esquerda

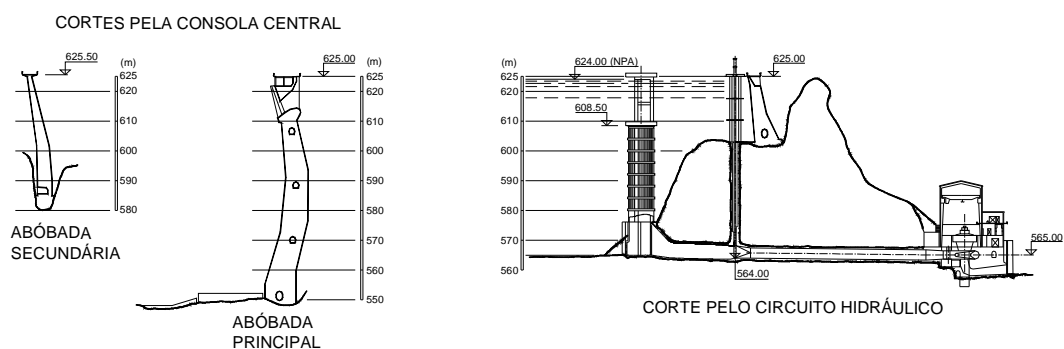
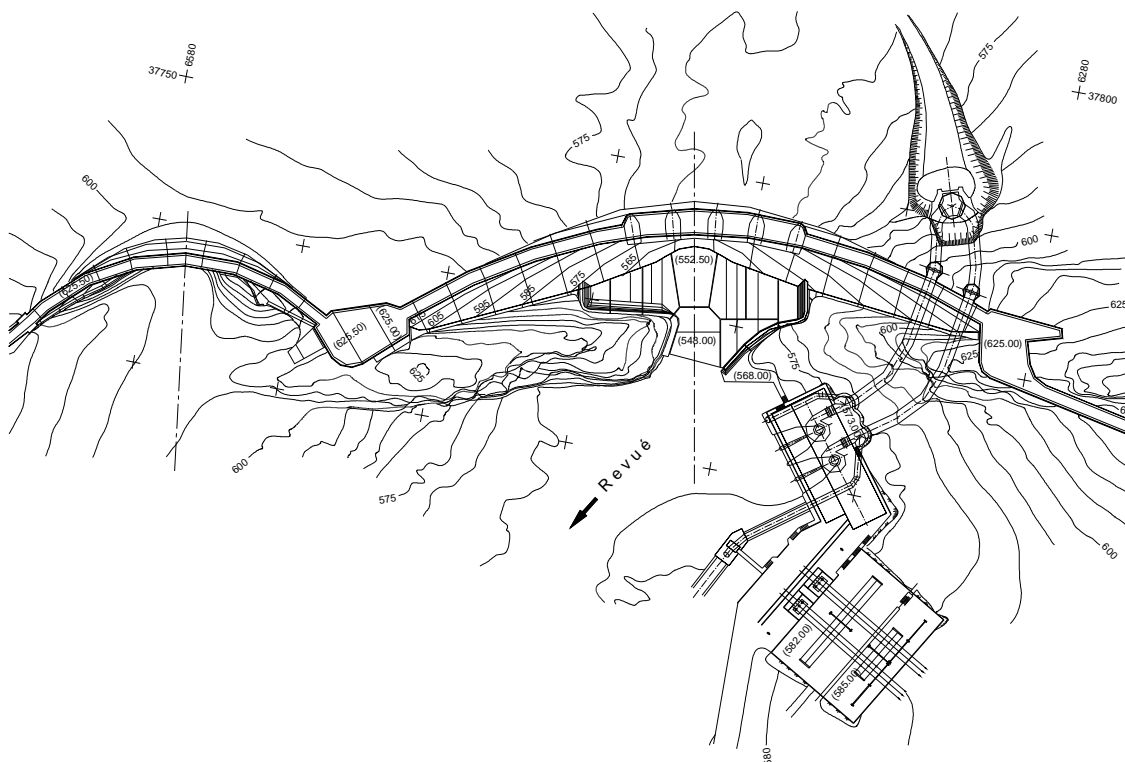


Fig. 3 – Barragem da Chicamba. Planta e cortes

Quadro 1 – Dimensões características da barragem da Chicamba

	Abóbada principal	Abóbada secundária
Altura máxima acima das fundações	75 m	45 m
Desenvolvimento do arco do coroamento	225 m	115 m
Espessura na base da consola central	11 m	5 m
Espessura no topo da consola central	3 m	1,5 m

Na primeira fase de construção (Junho de 1956 a Dezembro de 1959) o coroamento atingiu a cota de 610,25 m na abóbada secundária e as cotas de 609,50 m e de 602,50 m na abóbada principal, respectivamente nas zonas laterais e no trecho central onde se inscrevia o evacuador de cheias. Este descarregador temporário tinha o lábio à cota 605,0 m. Nesta fase a obra

destinava-se à regularização do rio, permitindo um encaixe máximo de $450 \times 10^6 \text{ m}^3$ e a alimentação de caudais para o açude de Quedas, que os derivava para a central do Mavuzi, através de um túnel e de uma conduta forçada. Esta central localiza-se a Sul do Chimoio, a jusante da confluência do rio Mavuzi com o rio Revué.

A construção da central de pé de jusante da barragem iniciou-se em 1965 e terminou em 1968, tendo entrado em funcionamento neste ano.

O alteamento da barragem, até às cotas actuais, iniciou-se em 1968 e terminou no final de 1969. As comportas do descarregador foram montadas em 1970.

O descarregador de superfície localiza-se no trecho superior central da abóbada principal, tendo o lábio à cota 614,15 m. É formado por 4 vãos com cerca de $4,9 \times 9,0 \text{ m}^2$ cada, dotados de comportas de sector, permitindo evacuar um caudal máximo de $1600 \text{ m}^3/\text{s}$.

As descargas de fundo, que terminam em válvulas de jacto oco, permitem escoar um caudal máximo de $2 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$, através de duas galerias de 3,5 m de diâmetro que, em condições normais de exploração, alimentam os dois grupos geradores. A comutação entre estas duas funções é feita por meio de válvulas do tipo borboleta.

As abóbadas principal e secundária foram construídas com 16 e 11 blocos, respectivamente, estando o encontro intermédio dividido em 3 blocos, o que perfaz, para toda a obra, um total de 30 blocos.

Os níveis de pleno armazenamento (NPA) e de máxima cheia (NMC) situam-se às cotas 624,00 m e 625,0 m, respectivamente. A albufera, para o NMC, tem uma capacidade de cerca de $2000 \times 10^6 \text{ m}^3$.

2.2. Maciço rochoso de fundação e tratamentos realizados nas fases de construção

As formações geológicas de fundação da barragem são constituídas por gnaisses e quartzitos. No local, estas duas formações constituem uma complexa estrutura em que os quartzitos rompem através do maciço gnaissico, criando interfaces e faixas de estrangulamento, aflorando em crista através de esporões. Nas zonas de estrangulamento o maciço encontra-se muito alterado.

A abóbada principal está implantada numa garganta rasgada pelo rio nos afloramentos quartzíticos que se desenvolvem perpendicularmente ao leito. As vertentes rochosas são de declive acentuado, mas como os esporões são estreitos e estão muito fracturados e cortados por socalcos, foi necessário definir a inserção da estrutura numa faixa mais larga, a montante dos esporões.

Na margem direita há uma depressão nos afloramentos, formando uma portela, onde foi implantada a abóbada secundária. Assim, as fundações da barragem fizeram interessar uma parte saliente dos esporões, em quartzitos dispostos em camadas quase verticais, seguindo-se para montante rochas gnaissicas, que são rijas no leito do rio mas alteradas nas encostas, ocorrendo uma nova faixa de quartzitos em camadas enrugadas que se encosta a um maciço gnaissico alterado em profundidade. A singularidade geológica do maciço de fundação, com alternância de quartzitos fracturados com gnaisses de graus de alteração muito diferentes, implicou a execução de uma extensa campanha de sondagens de prospecção, a realização de cuidadosas escavações, até se atingir rocha sã aceitável para fundação, e a execução de trabalhos específicos de tratamento das fundações. Este tratamento consistiu na realização de uma cortina de impermeabilização, de injecções de ligação na vizinhança da interface betão-rocha, de injecções de consolidação para melhoria das características de resistência das zonas

alteradas do maciço de fundação e sob a bacia de dissipação, e de uma rede de drenagem da fundação da barragem e da laje da bacia de dissipação (RODIO, 1957, 1958).

No trecho inferior de apoio da abóbada secundária, do lado da margem esquerda, foi identificada uma faixa onde o maciço gnáissico se encontrava muito decomposto em profundidade, criando uma profunda depressão preenchida com saibros argilosos. Esta zona foi saneada em profundidade, tendo aí sido construído um soco de apoio da abóbada. Na vizinhança o maciço rochoso foi injectado, essencialmente para evitar a passagem de água, e foi aberta uma galeria a jusante, para evacuar por gravidade as águas drenadas (Weyermann et al, 1964).

As injeções de ligação e consolidação respeitaram aos cinco metros superficiais do maciço rochoso, para tratamento das descontinuidades aflorantes e das zonas mais afectadas pelos trabalhos de desmonte de rocha, realizados com explosivos, durante as escavações. Estas injeções de consolidação foram efectuadas através de tubos previamente selados na rocha, com uma pressão de 5 kgf/cm^2 (0,5 MPa), após a colocação de uma espessura razoável de betão. A injeção foi precedida de lavagem, com ar e água sob pressão, das referidas fendas.

A cortina de impermeabilização foi realizada com injeções de calda de cimento, a uma pressão máxima de 20 kgf/cm^2 (2,0 MPa), em furos afastados de 5 m, orientados de maneira a atravessar as principais diaclases. Os furos das encostas foram orientados para as vertentes e os furos do fundo dos vales também foram inclinados, para um e outro lado da vertical, em fiadas duplas. Os furos atingiram horizontes caracterizados, nos ensaios de permeabilidade que precederam a injeção, por uma absorção máxima de 2 litros de água por minuto e por metro, para uma pressão de 10 kgf/cm^2 (1,0 MPa), o que corresponde a um máximo de 2 UL (unidades Lugeon). Foi assegurada, no entanto, uma profundidade mínima de 20 m para os furos.

Foi executada uma rede de drenagem da fundação das abóbadas e do maciço a jusante. Os drenos da abóbada principal foram realizados a partir da galeria geral de drenagem, a jusante da cortina de impermeabilização, e os drenos da abóbada secundária foram executados a partir do pé de jusante.

As furações no maciço e as injeções nas fundações decorreram entre Fevereiro de 1958 e Junho de 1959 (Costa, 1961).

Na fase de alteamento da barragem foram realizadas novas injeções na cortina de impermeabilização sob os encontros extremos e intermédio e foi reforçada a rede de drenagem na fundação das abóbadas e nas galerias do maciço a jusante.

2.3. Betão da barragem

Na primeira fase de construção as betonagens do corpo da barragem decorreram em Novembro e Dezembro de 1957 e entre Maio de 1958 e Maio de 1959. Os acabamentos e revestimentos da barragem foram realizados entre Novembro de 1958 e Setembro de 1959. O volume total de betão aplicado em todas as estruturas da 1ª fase ascendeu a cerca de 100000 m^3 . As injeções de calda de cimento nas juntas de contracção foram realizadas entre Outubro e Dezembro de 1959 (Costa, 1961).

A barragem foi betonada em camadas de 1,5 m de espessura, a intervalos médios de 5 dias, por forma a garantir que o recobrimento de uma camada de betão só se fizesse depois das temperaturas entrarem no ramo descendente da curva que as caracterizava.

No fabrico dos betões foram utilizados: i) cimento “portland” normal, proveniente da fábrica do Dondo (arredores da cidade da Beira); ii) agregados britados provenientes da exploração

de uma pedreira situada a cerca de 2,5 km da obra, numa zona de afloramentos graníticos; e iii) um adjuvante com propriedades de introdutor de ar, designado comercialmente por Darex AEA, a fim de se conseguir boa trabalhabilidade e aumento das resistências.

No Quadro 2 apresenta-se a composição do betão dominante utilizado na 1ª fase de construção da barragem e no Quadro 3 são apresentadas as resistências à compressão desse betão, crivado pelo peneiro de 38 mm, referidas a cubos de 20 cm de aresta.

Quadro 2 – Composição do betão dominante utilizado na 1ª fase de construção da barragem da Chicamba

Constituintes	Quantidade
Cimento (kg/m ³) Portland normal	200
Relação água/cimento (A/C)	0,52
Agregados grossos (kg/m ³) 150 – 5 mm	1750
Agregados finos (kg/m ³) 5 – 0 mm	450
Adjuvante (cm ³ /kg cimento) Darex AEA	0,4

Quadro 3 – Resistência à compressão do betão dominante, crivado pelo peneiro de 38 mm, utilizado na 1ª fase de construção da barragem da Chicamba

Resistência em cubos com 20 cm de aresta (MPa)		
Compressão	7 dias	14,5
	28 dias	21,4
	90 dias	24,6

Numa faixa de 2 m junto ao paramento de montante utilizou-se um betão mais rico em cimento, com uma dosagem de 230 kg/m³, para garantir a impermeabilidade dessa faixa.

As betonagens do alteamento da barragem decorreram entre o início de Setembro de 1968 e o final de Setembro de 1969. Relativamente a esta fase de construção não foi possível obter elementos sobre os betões aplicados.

2.4. Plano e sistema de observação

O sistema de observação da barragem existente até 2010 foi instalado durante as duas fases de construção da obra, entre 1957 e 1959 e entre 1968 e 1970. No entanto, nunca chegou a ser elaborado, do ponto de vista formal, um plano de observação. Apenas se dispunha de elementos dispersos, em notas escritas e desenhos esquemáticos, produzidos ao longo do tempo, bem como documentos relativos a algumas intervenções efectuadas (EDP, 1980; Torcida et al, 2008). Em 2008 todos estes elementos foram compilados, dando origem à revisão do plano de observação (LNEC, 2008) e à instalação de instrumentação complementar em 2010-2011.

A exploração e a manutenção do sistema de observação foram feitas, durante muito tempo, de forma irregular, pelo que alguns equipamentos chegaram a um avançado estado de degradação. A deterioração assumiu particular relevância no caso das redes de drenagem e piezométrica, o que conduziu à decisão de realização de intervenções com carácter prioritário (Ramos, 1991; LNEC, 2000). Neste contexto foram celebrados protocolos de cooperação entre a EDM e a Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB), no âmbito dos quais foram efectuados, em 2001 e 2007, trabalhos de reabilitação e de reforço do sistema de observação (HCB, 2001; Torcida et al, 2008), e o reforço da instrumentação levado a efeito no final de 2010 e início de 2011.

O sistema de observação instalado na barragem até 2010, destinado à medição de grandezas associadas às principais acções e respostas térmicas, estruturais e hidráulicas, compreendia: i) limnígrafo e escala limnimétrica, para observação da cota do nível da albufeira; ii) posto meteorológico, com termómetro de máxima e mínima, udómetro e evaporímetro, para observação das temperaturas do ar, pluviosidade e evaporação; iii) 51 termómetros embebidos no betão, para observação das temperaturas da estrutura; iv) 7 piezómetros, para medição das subpressões na fundação da abóbada principal e na encosta direita da abóbada da portela; v) 3 fios de prumo na abóbada principal, para observação dos deslocamentos horizontais da estrutura, sendo o fio central complementado por um fio de fundação; vi) alvos para observação dos deslocamentos horizontais do coroamento, pelo método dos alinhamentos; vii) 22 bases para clinómetro, para observação das rotações da estrutura; viii) 55 medidores de movimento de juntas, que também permitem a medição de temperaturas; ix) 18 bases de alongâmetro, para observação dos movimentos à superfície das juntas; x) 99 drenos, para alívio das subpressões e quantificação dos caudais drenados; e xi) 9 bicas totalizadoras, para colectar e medir os caudais drenados e infiltrados por zonas características da obra. Deve referir-se que tinham sido abandonadas, há muitos anos, a observação geodésica pelo método dos alinhamentos e a medição de rotações nas bases para clinómetro (LNEC, 2008).

Como adiante se apresentará, à luz dos critérios actuais, o sistema de observação existente em 2010 era incompleto no que respeitava à monitorização dos deslocamentos absolutos e relativos das estruturas e à observação das subpressões na fundação. Por outro lado, não estava instalado qualquer sistema para o controlo dos deslocamentos verticais da barragem e da fundação. O conjunto de piezómetros então existente era também insuficiente para uma análise adequada do comportamento hidráulico da fundação.

3. REVISÃO DO PLANO E DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO

3.1. Considerações gerais

A revisão de um plano de observação destina-se à adequação dos critérios de observação e da instrumentação que lhe está associada. No presente caso consideraram-se recomendações internacionais (ICOLD, 1988) e a regulamentação portuguesa de segurança de barragens, nomeadamente o Regulamento de Segurança de Barragens e as Normas de Observação e Inspeção de Barragens (RSB, 2007; NOIB, 1993), mas tiveram-se também em consideração os meios disponíveis em Moçambique e ainda critérios de racionalidade e economia. Assim, foi proposto um reforço do sistema de observação utilizando dispositivos, na medida do possível, de exploração manual. De facto, nas revisões de planos de observação de barragens de betão, efectuadas nos últimos anos, considera-se, em regra, a automatização da recolha, transmissão, validação e arquivo de dados da observação de um subconjunto de aparelhos relativamente a grandezas cuja evolução permite detectar rapidamente alterações do comportamento das obras face ao previsto (Ramos et al, 2003; LNEC, 2004). Como referido, atendendo às características e à localização da obra, entendeu-se que deveria ser mantida a

exploração manual do sistema de observação, complementando-o e adaptando-o às necessidades do controlo da funcionalidade e da segurança. Naturalmente, foram consideradas algumas das recomendações afins de trabalhos anteriores (EDP, 1980; Torcida et al, 2008).

3.2. Objectivos do plano de observação

O plano de observação de uma barragem tem os seguintes objectivos: i) definir um sistema de observação e os critérios para a sua exploração tendo em vista a observação da obra para os diversos cenários considerados; ii) avaliar as condições de segurança da obra nas diferentes fases da sua vida, isto é, durante a construção, primeiro enchimento, esvaziamentos e reenchantos, e exploração normal; e iii) interpretar o comportamento estrutural e hidráulico da obra, nas diversas fases da sua vida, por forma a permitir a previsão de comportamentos futuros.

Como referido, os sistemas de instrumentação devem ser explorados na perspectiva da recolha manual da maior parte das grandezas observadas, mas a obra deve estar dotada de meios informáticos que permitam o arquivo e processamento dos dados das observações, permitindo realizar localmente uma primeira fase das actividades do controlo da segurança a partir da análise dos resultados da observação.

As inspecções, instrumento fundamental de controlo da segurança das obras, devem ser realizadas periodicamente, com os seguintes objectivos: i) avaliação do estado de fissuração da barragem durante a sua exploração, através do levantamento sistemático de fissuras existentes nas galerias, no paramento de jusante e, sempre que possível, no paramento de montante (deverá ser registada a sua localização, desenvolvimento e abertura, utilizando para tal os meios considerados adequados a cada caso); ii) detecção de repasses, ressurgências, infiltrações e incrustações de produtos sólidos (carbonato de cálcio e outros); e iii) detecção de anomalias no sistema de observação.

As inspecções devem ser de três tipos: i) inspecção de rotina, a realizar pela equipa local de observação, com a supervisão dos agentes responsáveis pela exploração da obra, com frequência adequada às fases de vida e à importância da obra; ii) inspecção de especialidade, a cargo dos responsáveis pela exploração da obra, de especialistas internos e/ou externos e da entidade governamental da tutela (caso exista), com frequência adequada; e iii) inspecções de carácter excepcional, a realizar pelos intervenientes nas inspecções de especialidade, imediatamente após ocorrências excepcionais, tais como sismos importantes, grandes cheias, esvaziamentos e enchimentos totais ou quase totais da albufeira.

3.3. Avaliação das condições de risco da obra

Com vista à definição do sistema de instrumentação e ao estabelecimento do plano de observação da obra, foi efectuada uma avaliação das condições de risco associadas à barragem da Chicamba com base na metodologia proposta nas NOIB. Foram considerados os coeficientes de risco (Quadro 4) associados a factores exteriores ou ambientais (sismicidade, probabilidade de escorregamento de taludes, probabilidade de ocorrência de cheias superiores à de projecto, gestão da albufeira e acções agressivas do clima e da água), associados à barragem e sua fiabilidade (dimensionamento estrutural, fundações, órgãos de descarga e manutenção) e associados a factores humanos e económicos (volume da albufeira e tipo de instalações a jusante), cuja quantificação, de acordo com aquelas normas, se apresenta de seguida.

Quadro 4 – Factores de apreciação das condições de risco (NOIB, 1993)

	ASSOCIADOS A FACTORES EXTERIORES OU AMBIENTAIS (E)					ASSOCIADOS BARRAGEM - FIABILIDADE (F)				ASSOCIADOS A FACTORES HUMANOS E ECONÓMICOS (R)	
	Sismicidade (período de retorno de 1 000 anos)	Escorregamento taludes (probabilidade)	Cheias superiores a projecto (probabilidade)	Gestão da albufeira	Acções agressivas (clima, água, etc)	Dimensio- namento estrutural	Fundações	Órgãos de descarga	Manutenção	Volume da albufeira (m ³)	Instalações a jusante
α_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\alpha=1$	Mínima ou nula $a < 0,05g$	Minima ou nula	Muito baixa (barragens e betão)	Plurianual, anual ou sazonal	Mínimas	Adequado	Muito Boas	Fiáveis	Muito boa	$< 10^5$	Zona não habitada sem valor económico
$\alpha=2$	Baixa $0,05g < a < 0,1 g$	Baixa	---	---	Fracas	---	Boas	---	Boa	$10^5 - 10^6$	Áreas isoladas, agricultura
$\alpha=3$	Média $0,1 g < a < 0,2 g$	---	Muito baixa (barragens de aterro)	Semanal	Médias	Aceitável	Aceitáveis	---	Satisfatória	$10^6 - 10^7$	Pequenos aglomerados populacionais, agricultura, indústria artesanal
$\alpha=4$	Forte $0,2 g < a < 0,4 g$	---	---	Diária	Fortes	---	---	---	---	$10^7 - 10^9$	Aglomerados populacio- nais médios, pequenas indústrias
$\alpha=5$	$a > 0,4 g$	---	---	Bombagem	Muito fortes	---	Medíocres	---	---	$> 10^9$	Grandes aglomerados populacionais, indústrias, instalações nucleares
$\alpha=6$ (a)	---	Grande	Elevada	---	---	Inadequado	Medíocres a más	Insuficientes não operacionais	Insatisfatórias	---	

(a) Condições anormais – intervenção técnica indispensável

i) Sismicidade

A aceleração máxima estimada para o local da barragem, para um sismo associado a um período de retorno de 1000 anos, foi de cerca de 0,114 g (LNEC, 2008), podendo assim considerar-se a zona como de sismicidade média, tomando o coeficiente α_1 o valor de 3.

ii) Escorregamento de taludes

As características geológicas e geomorfológicas das formações marginais da albufeira não fazem prever desprendimentos ou escorregamentos de taludes, pelo que se considerou baixa a probabilidade de ocorrência destes acidentes, tomando-se o coeficiente α_2 igual a 2.

iii) Cheias superiores às de projecto

Sendo o regime hidrológico do rio Revuê conhecido, considerou-se muito baixa a probabilidade de ocorrência de cheias superiores às que o descarregador pode comportar, pelo que, sendo a barragem de betão, o coeficiente α_3 tomou o valor 1.

iv) Gestão da albufeira

Os fins a que a barragem se destina, conjugados com o regime hidrológico do rio, levam a que a exploração da albufeira seja sazonal, tomando o coeficiente α_4 o valor 1.

v) Acções agressivas

A obra localiza-se numa zona de pequenas amplitudes térmicas anuais. A água da albufeira é pouco a medianamente agressiva para os materiais (LNEC, 2008). Nestas condições, consideraram-se as acções fracamente agressivas, pelo que o coeficiente α_5 toma o valor 2.

vi) Dimensionamento estrutural

Em face dos elementos disponíveis relativos ao projecto e ao comportamento da obra, considerou-se o dimensionamento adequado e o coeficiente α_6 toma o valor 1.

vii) Fundações

A barragem tem fundação num maciço heterogéneo e compartimentado, mas competente do ponto de vista mecânico e hidráulico, pelo que as fundações foram consideradas boas, tomando o coeficiente α_7 o valor 2.

viii) Órgãos de descarga

A barragem dispõe de órgãos de descarga fiáveis, pelo que se considerou o coeficiente α_8 igual a 1.

ix) Manutenção

A barragem teve, durante largos períodos, uma manutenção irregular, e dispunha de um sistema de observação com algumas deficiências de exploração, pelo que se atribuiu ao coeficiente α_9 o valor 4.

x) Volume da albufeira

A albufeira da barragem, à cota do NMC, tem uma capacidade de armazenamento de $2000 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que se traduziu num coeficiente α_{10} igual a 5.

xi) Instalações a jusante

A jusante da barragem existem pequenos aglomerados populacionais e zonas com actividade agrícola, pelo que se considerou o coeficiente α_{11} igual a 3.

No Quadro 5 sintetiza-se a informação acabada de descrever.

Quadro 5 - Factores de apreciação das condições de risco da barragem da Chicamba

Factores			Coeficiente
Exteriores ou ambientais (E)	Sismicidade (período de retorno de 1000 anos)	Média ($0,1g < a < 0,2g$)	$\alpha_1 = 3$
	Escorregamento de taludes (probabilidade)	Baixa	$\alpha_2 = 2$
	Cheias superiores à do projecto (probabilidade)	Muito baixa (barragem de betão)	$\alpha_3 = 1$
	Gestão da albufeira	Sazonal	$\alpha_4 = 1$
	Ações agressivas (clima, água, etc.)	Fracas	$\alpha_5 = 2$
Barragem - Fiabilidade (F)	Dimensionamento estrutural	Adequado	$\alpha_6 = 1$
	Fundações	Boas	$\alpha_7 = 2$
	Órgãos de descarga	Descarregador de superfície e descarga de fundo operacionais	$\alpha_8 = 1$
	Manutenção	Inadequada em vários períodos, no passado	$\alpha_9 = 4$
Humanos e económicos (R)	Volume da albufeira (metros cúbicos)	$2000 \times 10^6 > 10^9$	$\alpha_{10} = 5$
	Instalações a jusante	Pequenos aglomerados populacionais, agricultura	$\alpha_{11} = 3$

Estes factores conduzem aos índices de risco parciais e global seguintes:

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha^i = 1,8 \qquad F = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 \alpha^i = 2,0 \qquad R = \frac{1}{2} \sum_{i=10}^{11} \alpha^i = 4,0$$

$$\text{Índice global de risco: } \alpha^g = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \alpha^i = 2,7$$

Relativamente às barragens existentes, as NOIB estipulam a sua classificação (Quadro 6), por forma a definir a premência de intervenção.

Quadro 6 – Classes das obras existentes [NOIB, 1993]

Classe	Índices
A	Pelo menos um dos índices parciais com o valor 6, correspondendo a condições anormais que obrigam a uma intervenção técnica
B	$\alpha_g \geq 20$ e $R \geq 3$
C	As restantes barragens

A barragem ficou assim considerada na classe C, correspondendo a um risco reduzido, apesar de $R=4$, devido, predominantemente, ao elevado volume da albufeira. Assim, considerou-se que a exploração da obra não envolve riscos de monta, mas a sua adequação aos critérios de segurança atrás referidos deveria ser feita com a brevidade possível.

3.4. Avaliação da adequação do sistema de observação existente

Em acordo com as NOIB, no Quadro 7 indicam-se quais as grandezas a observar face à altura da barragem e aos valores calculados para os factores de apreciação das condições de risco e aos índices parciais e global daí decorrentes.

Quadro 7 – Grandezas a observar em barragens de betão (mínimo recomendável) [NOIB, 1993]

GRANDEZAS A OBSERVAR	ALTURA DA BARRAGEM (m)				
	< 15	15 a 30	30 a 50	50 a 100	> 100
Deslocamentos	X se $\alpha_g > 20$	X se $\alpha_g > 20$	X	X	X
Movimentos de juntas e fissuras	(X) se $\alpha_g > 30$	(X) se $\alpha_g > 20$	X	X	X
Temperaturas no betão	-	-	(X)	X	X
Tensões ou extensões	-	-	(X)	X	X
Caudal de infiltração	X Caudal total se $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	X Caudal total	X Caudal parcial	X Caudal parcial	X Caudal parcial
Subpressões	(X) se $\alpha_g > 15$	X	X	X	X
Meteorologia	-	X	X	X	X
Sismologia	-	X se $\alpha_1 = 5$	X se $\alpha_1 \geq 4$	X se $\alpha_1 \geq 3$	X

X – Dispositivo obrigatório

(X) – Dispositivo opcional

Atendendo às características da obra, ao valor calculado para o índice global de risco (14,4) e ao conteúdo do Quadro 7, o RSB português obrigaria a que o sistema de observação da barragem da Chicamba considerasse a medição de: i) nível da água na albufeira; ii) temperatura do ar; iii) precipitação; iv) temperaturas no betão; v) deslocamentos absolutos da estrutura e da fundação; vi) movimentos de juntas e fissuras; vii) tensões ou extensões na estrutura; viii) subpressões na fundação; ix) caudais drenados e infiltrados; e x) acções e respostas sísmicas.

Relativamente às grandezas cuja observação é recomendada, o sistema existente em 2010 não permitia a monitorização de: i) deslocamentos da fundação; ii) tensões ou extensões nas estruturas; iii) movimentos de juntas da abóbada secundária; e iv) a observação das acções e das respostas sísmicas. Por outro lado, considerou-se que: i) a medição de deslocamentos horizontais da estrutura e da fundação, dada a sua importância na auscultação do comportamento das barragens abóbada, deveria ser efectuada por métodos geodésicos e com fios de prumo, por forma a obter redundância nos valores observados por técnicas de medição distintas; ii) os movimentos de juntas da abóbada principal deveriam ser medidos em mais pontos, nomeadamente junto à superfície de inserção e próximo do coroamento; e iii) as subpressões na fundação deveriam ser monitorizadas em mais zonas, nomeadamente nos rins da abóbada principal e na abóbada da portela.

3.5. Adaptação e complemento do sistema de observação

Afigurou-se não se justificar, no caso da barragem da Chicamba, a monitorização das acções e das respostas sísmicas. Apesar de não se conhecer, para o local da obra, nenhum estudo específico de caracterização sísmológica, os dados actualmente disponíveis sobre a sismicidade da região (Sousa, 2006) permitem definir as acções sísmicas a considerar na verificação da segurança da barragem. A análise do comportamento sísmico da barragem, realizada com um modelo numérico da barragem e fundação, e considerando o comportamento não linear das juntas de contracção, permitiu concluir que a obra satisfaz as condições de segurança habitualmente exigidas às barragens de betão (LNEC, 2008).

A instalação de equipamentos para a observação de extensões e tensões no corpo da barragem seria de difícil concretização e, sobretudo, muito onerosa. A informação que poderia ser colhida neste tipo de aparelhos seria importante na detecção e quantificação de eventuais fenómenos evolutivos do betão que podem causar a sua deterioração. No entanto, a obtenção de deslocamentos planimétricos e altimétricos da obra com boa fiabilidade, garantida através da redundância na sua medição, permitirá, de uma forma indirecta, a identificação e a quantificação dos referidos fenómenos. Assim, considerou-se dispensável a instalação de aparelhagem para a observação de extensões e de tensões no corpo da obra.

As acções físicas da água são avaliadas a partir das medições do nível da água na albufeira, realizadas na escala de níveis e em limnómetro, para a pressão hidrostática, e das pressões nos manómetros dos terminais dos piezómetros, para as subpressões. Considerou-se adequado manter estes sistemas, mas justifica-se a instalação de um limnógrafo, que permita efectuar um registo contínuo do nível da albufeira, aquando das obras, previstas para breve, de reabilitação da central. Havendo pequenas variações do nível de jusante, não se afigurou necessário o seu controlo.

As características físico-químicas das águas da albufeira e das águas infiltradas e drenadas serão objecto de análise e observação periódica. Pretende-se com a sua observação avaliar o eventual surgimento de fenómenos de alteração dos materiais, em particular dos materiais de preenchimento das descontinuidades do maciço rochoso de fundação, dos produtos de tratamento da fundação e do próprio betão. Para tal recorre-se a uma metodologia simplificada, com a realização anual de ensaios de identificação e quantificação expedita da condutividade eléctrica, do pH, do grau de agressividade para o carbonato de cálcio, das durezas e do resíduo sólido suspenso. Quando os resultados da identificação expedita o justificarem, devem ser efectuados ensaios de quantificação iónica através de análise química completa e de identificação de parâmetros físico-químicos e de quantificação e identificação mineralógica do resíduo sólido da água infiltrada e drenada.

Os termómetros existentes, de máxima e mínima, foram mantidos, mas recomenda-se a montagem no posto meteorológico, logo que possível, de um termómetro digital que assegure um registo contínuo das temperaturas do ar.

A observação de subpressões na fundação foi complementada com a instalação de 5 novos piezómetros de câmara única, 2 nos rins abóbada principal, a partir da galeria geral de drenagem, e 3 na abóbada secundária, 2 nos rins e 1 na zona central, a partir do soco de jusante (Fig. 4). O comprimento dos furos, da ordem de 10 m na abóbada principal e de 6 m na abóbada da portela, bem como a sua atitude, foram definidos em função dos locais de instalação dos piezómetros.

A observação dos deslocamentos relativos entre blocos foi melhorada na abóbada principal, onde há muitos medidores de movimentos de junta avariados, e passou também a ser realizada na abóbada secundária. Assim, foram instaladas 45 bases tridimensionais nas duas

abóbadas. Os movimentos nas bases tridimensionais, montadas no hasteal de montante das galerias da abóbada principal e no coroamento e pé de jusante da abóbada da portela, são obtidos através de leituras realizadas com deflectómetros (Fig. 5).

Quanto aos deslocamentos horizontais das estruturas, considerou-se adequada a sua medição nos 3 de fios de prumo direitos na abóbada principal, localizados nos blocos G-H, K-L e O-P, sendo também adequada a localização dos pontos de medida (bases de coordenómetro) em todas as galerias intersectadas pelos fios. A instalação de um fio de prumo exterior na abóbada secundária, a jusante, acarretaria encargos de monta, podendo ser evitada desde que seja garantida a medição dos deslocamentos horizontais por métodos geodésicos.

Os deslocamentos horizontais da superfície de inserção poderiam ser medidos com fios de prumo invertidos, instalados a partir da base da barragem. A furação e montagem destes dispositivos seria difícil e onerosa, tendo-se considerado suficiente, face a estas circunstâncias, a adaptação do fio de fundação do bloco K-L da abóbada principal, que estava desactivado há muito tempo, em fio de prumo invertido, apesar da pequena profundidade da selagem inferior (cerca de 15 m). Os deslocamentos horizontais absolutos da base da barragem podem também ser estimados conjugando o valor observado no fio de prumo invertido com os valores dos deslizamentos a observar nas bases tridimensionais instaladas.

Os deslocamentos verticais da base da barragem, relativamente a pontos situados no interior do maciço de fundação, são agora medidos com recurso a extensómetros de varas. Foram instalados 4 varões extensométricos verticais, 3 na abóbada principal, na galeria geral de drenagem, junto às extremidades inferiores dos fios de prumo, nos blocos G-H, K-L e O-P, e 1 na abóbada secundária, a jusante do bloco VIII-IX, todos com um só ponto de fixação no interior do maciço de fundação, às profundidades de cerca de 30 m e 20 m nas abóbadas principal e secundária, respectivamente (Fig. 5). As leituras dos deslocamentos são realizadas com deflectómetros.

Em acordo com o plano do sistema de observação geodésica da barragem (LNEC, 2005), foram instaladas uma rede de referência a jusante, para medição de deslocamentos planimétricos de alvos (pontos objecto) montados nos paramentos das duas abóbadas, e duas linhas de nivelamento geométrico de precisão no coroamento, para obtenção dos deslocamentos verticais (Figs. 5, 6 e 7).

A rede geodésica planimétrica contemplou 10 alvos na abóbada principal, 5 alvos na abóbada da portela e um conjunto pontos estação, a partir dos quais seriam visados os pontos objecto. Dado não haver a garantia da estabilidade dos 5 pontos estação, foram previstos 5 pontos de referência, mais afastados da barragem, para materializar o sistema referencial (Fig. 6).

Os pontos objecto da rede geodésica para determinação dos deslocamentos verticais foram distribuídos ao longo de duas linhas de nivelamento (Fig. 7). Uma linha contempla os 15 pontos objecto situados no coroamento da abóbada secundária e dos encontros direito, intermédio e esquerdo, a meio dos blocos, transpondo a laje do coroamento da abóbada principal através de 8 pontos de passagem implantados no piso. A outra linha localiza-se no piso da galeria aberta da abóbada principal, sendo constituída por 17 pontos objecto situados a meio dos blocos, utilizando 3 pontos de passagem nas escadas e corredor de acesso à galeria. Foram ainda previstos 3 pontos de referência fixos em cada margem.

Dos trabalhos realizados em 2010/2011 deve referir-se a grande dificuldade de instalação dos alvos de pontaria na zona intermédia da abóbada principal, devido à curvatura da estrutura na vertical. De facto, foi necessário construir um cesto metálico, que foi suspenso de uma grua móvel posicionada no coroamento, para se conseguir atingir o paramento e chumbar os alvos do sistema geodésico planimétrico (Fig. 8).

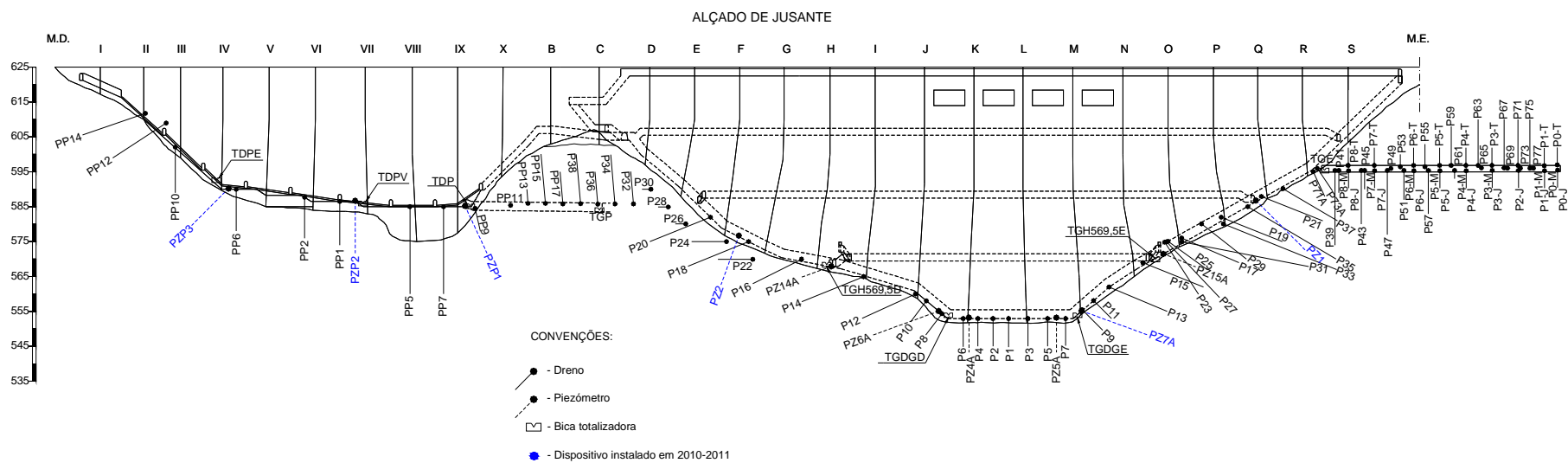


Fig. 4 – Sistema de observação do comportamento hidráulico da fundação da barragem

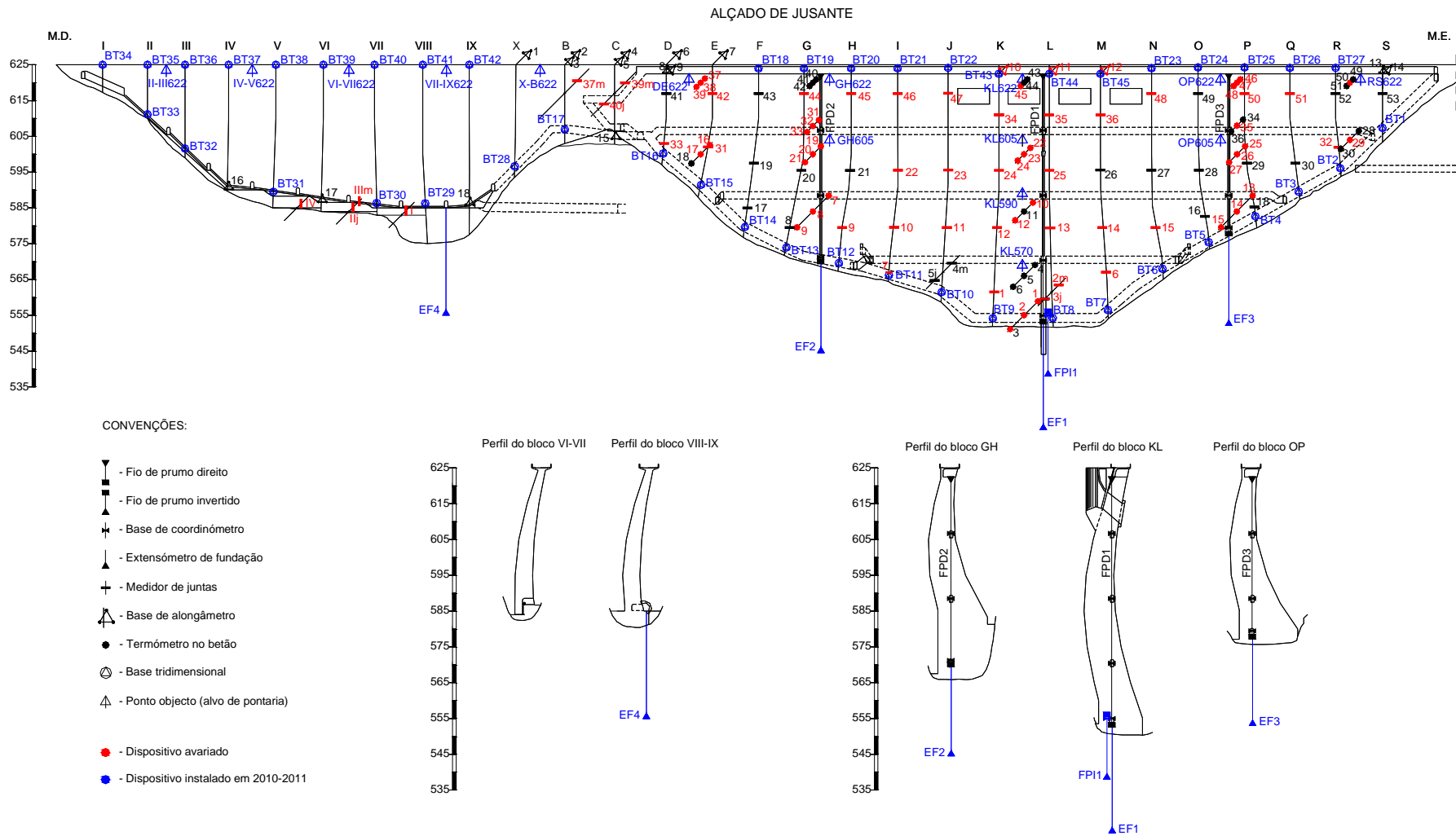


Fig. 5 – Sistema de observação do comportamento estrutural da barragem

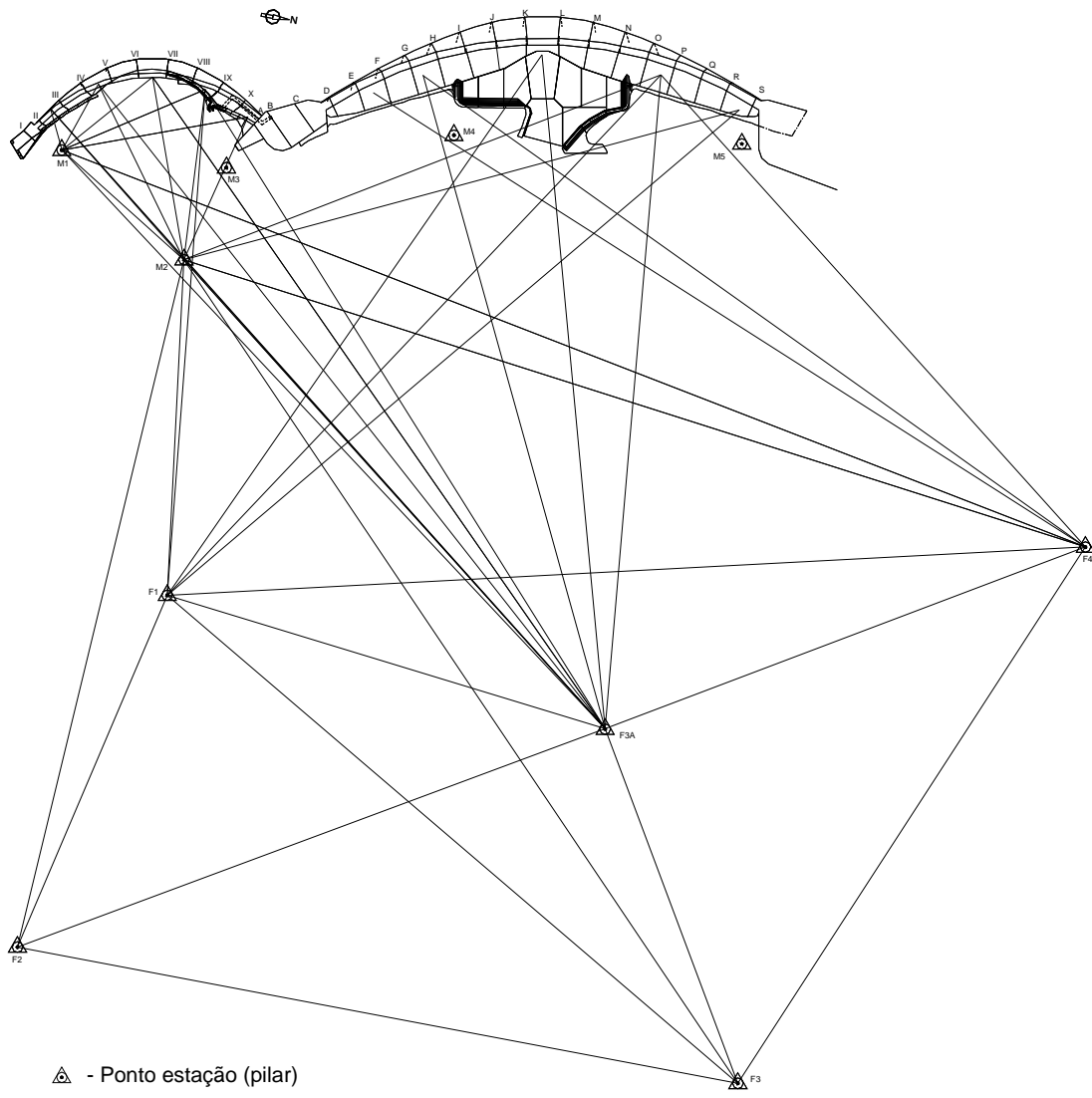


Fig. 6 – Configuração da rede geodésica planimétrica

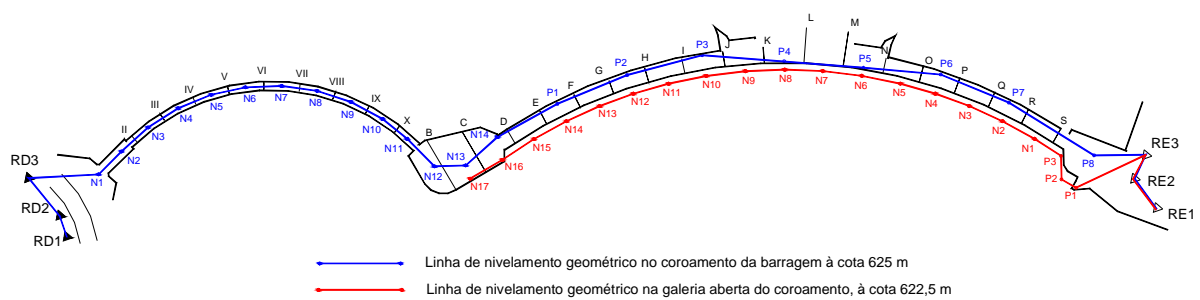


Fig. 7 – Linhas de nivelamento no coroamento da abóbada da portela e dos encontros e na galeria aberta da abóbada principal



Fig. 8 – Aspecto do cesto metálico, suspenso do coroamento, utilizado para a instalação dos alvos geodésicos no paramento de jusante

3.6. Exploração do sistema de observação

A exploração do sistema de observação e a realização de inspeções visuais dependerá de cada tipo de aparelho e da fase de vida da obra. No Quadro 8 são apresentadas as frequências de observação recomendadas nas NOIB, para barragens de betão com altura compreendida entre 50 m e 100 m.

Quadro 8 – Frequências de observação recomendadas para barragens de betão com altura compreendida entre 50 m e 100 m [NOIB, 1993]

Fase da vida		Deslocamentos			Movimento de juntas		Movimento de fissuras	Temperaturas no betão	Tensões ou extensões	Caudais		Subpressões	Inspeções visuais			Nível da albufeira	Temperatura ambiente	Precipitação
		Geodésicos	Fios de prumo	Extensómetros de fundação	À superfície	No interior				Totais	Parciais		Rotina	Especialidade	Excepcional			
Construção		-	1	1	s	s.2	s	s.2	s.2	-	-	-	s	M	4	-	r	d
Primeiro enchimento, esvaziamentos e reenchantos		6 ou S	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou s	6 ou S	6 ou S	4	r	r	d
Exploração	Primeiro período	S	q	q	q	q	q	q	q	q	q	q	q	S	4	r	r	d
	Período posterior	A	q	q	q	q	q	q	q	q	q	q	q	A	4	r	r	d
1 – Quando viável 2 – Programa especial após colocação 3 – A meio e no fim da construção 4 – Após ocorrência excepcional 5 – Início e fim do enchimento 6 – Início, patamares e fim do enchimento 7 – Semanal a várias vezes por semana							r – Registo d – Diário s – Semanal q – Quinzenal M – Mensal T – Trimestral S – Semestral					A – Anual B – Bienal Q – Quinquenal						

Na generalidade dos casos, consideram-se adequadas, para a barragem da Chicamba, as frequências de observação recomendadas. No entanto, atendendo ao bom estado geral da obra, às pequenas variações sazonais do nível da albufeira e às moderadas amplitudes térmicas da região, considera-se que poderão ser mais espaçadas as campanhas de observação na aparelhagem que forneça uma informação local do desempenho, nomeadamente os medidores dos movimentos de juntas, as bases de alongâmetro e tridimensionais, os termómetros embebidos no betão e os caudais dos drenos, em que se pode considerar uma periodicidade mensal.

As inspeções deverão ser realizadas com a seguinte periodicidade mínima: i) quinzenalmente as de rotina, pelos técnicos locais de observação, durante a realização das campanhas de recolha de dados; e ii) bienais as visitas de inspeção de especialidade, preferencialmente em época fria ou amena, envolvendo os técnicos responsáveis pela exploração, consultores internos e/ou externos e, quando manifestada essa intenção, representantes da entidade de tutela governamental. Devem ser realizadas visitas anuais de inspeção detalhadas, com preenchimento de fichas de inspeção visual (INAG, 2001; LNEC, 2010) e das visitas de especialidade devem ser lavradas actas.

3.7. Síntese do actual sistema de observação e dos critérios da sua exploração

No Quadro 9 sintetizam-se os elementos relevantes relativos às grandezas, aparelhagem e periodicidades de realização de campanhas na observação da barragem.

Quadro 9 – Grandezas, aparelhagem e periodicidades na observação da barragem da Chicamba

Grandezas	Método/aparelho	Situação até 2010		Instalação em 2010-2011	Frequência de observação
		Método	Estado		
Pressão hidrostática	Nível da água na albufeira	Escala de níveis e limnómetro	Bom	-	-
Subpressões	Piezómetros	7 piezómetros de câmara única	Bom (reabilitação em 2007)	5 novos piezómetros e 1 piezómetro recuperado	Quinzenal
Temperatura do ar	Termómetro	Termómetro de máxima e mínima	Bom	-	Diária
Deslocamentos absolutos da estrutura	Geodesia (planimetria)	Alinhamentos	Desactivado	Rede de triangulação	Anual
	Geodesia (altimetria)	-	-	Linhas de nivelamento	Anual
	Fios de prumo	3 fios de prumo direitos	Satisfatório (reabilitação em 2001)	Instalação de fio de prumo invertido	Quinzenal
rotações da estrutura	Inclinómetros	22 bases para clinómetros	Desactivado	-	-
Deslocamentos absolutos da fundação	Extensómetros de fundação	-	-	4 extensómetros de fundação	Quinzenal
Movimentos de juntas e fissuras	Medidores de movimentos de juntas	55 medidores de resistência eléctrica	Bom (excepto 34 avariados ou com mau funcionamento)	-	Mensal
	Bases de alongâmetro e tridimensionais	18 bases de alongâmetro (rosetas)	Bom (instalação em 2001)	45 bases tridimensionais	Mensal
Temperaturas no betão	Termómetros embebidos e à superfície	51 termómetros de resistência eléctrica	Bom (excepto 34 avariados ou com mau funcionamento)	-	Mensal
Tensões ou extensões	Tensómetros e extensómetros	-	-	(justificada a não instalação)	-
Caudais drenados e infiltrados	Parciais	99 drenos	Bom (reabilitação geral em 2007)	-	Mensal
	Totais	9 bicas	Bom (instalação em 2001)	-	Quinzenal
Inspeções visuais	Rotina	Observadores	Irregular	-	Quinzenal
	Especialidade	-	-	-	Bienal
	Excepcional	-	-	-	Após ocorrência excepcional (cheias, sismos, etc.)
Análise das águas da albufeira e drenadas	Análises físicas e químicas	-	-	-	Anual

O LNEC instalou na barragem um sistema informático que permite a introdução dos dados da observação e o cálculo dos respectivos resultados, incluindo a sua visualização gráfica. Nas visitas de inspecção realizadas pelo LNEC entre 2009 e 2011, no âmbito do acompanhamento já referido, foram evidentes as melhorias no estado de funcionamento e na exploração do sistema de observação (LNEC, 2009 e 2010). A prazo, no sentido de permitir a realização local da interpretação dos referidos resultados e o controlo da segurança, serão definidos intervalos e/ou parâmetros de segurança a partir dos valores observados das grandezas mais representativas do comportamento da obra, nomeadamente os deslocamentos horizontais obtidos nos fios de prumo, os deslocamentos verticais observados em extensómetros de fundação, as subpressões e os caudais totais drenados e infiltrados. A definição desses intervalos e/ou parâmetros será realizada a partir de modelos numéricos, devendo contar com calibrações baseadas em componentes de natureza estatística, obtidas a partir do historial dos resultados observados.

4. CONCLUSÕES

O acompanhamento do comportamento da barragem da Chicamba foi realizado pela EDM, até há cerca de uma década, com os meios humanos e materiais possíveis, mas a idade e a degradação progressiva da aparelhagem de observação tornou insuficiente e pouco fiável a informação recolhida com vista ao controlo da segurança da barragem, que apresenta um risco potencial inerente ao represamento de um volume de água de cerca de 2.000 hm³.

Assim, no âmbito de um conjunto de estudos sobre a segurança estrutural da barragem da Chicamba, realizados pelo LNEC entre 2005 e 2008, foi efectuada a revisão do plano de observação da obra. Nessa revisão considerou-se que o sistema de observação existente deveria ser complementado com a instalação de um conjunto de dispositivos, de forma a suprir as principais deficiências identificadas, tendo-se também definido os novos critérios da sua exploração.

A instalação da instrumentação complementar proposta foi levada a efeito pela EDM, entre 2009 e 2011, com o apoio do LNEC e da Hidroelétrica de Cahora Bassa. Alguns dos trabalhos realizados apresentaram dificuldades de monta, nomeadamente os relativos à montagem, no paramento de jusante, dos alvos de pontaria do sistema planimétrico de observação geodésica. Neste contexto, devem realçar-se as vantagens decorrentes da congregação das valências e sinergias complementares das três entidades envolvidas nos trabalhos.

A barragem da Chicamba dispõe, actualmente, de agentes qualificados para a realização das actividades de manutenção e observação, pelo que a exploração, nos moldes descritos, do sistema de observação instalado, associada ao tratamento atempado da informação e à realização dos diferentes tipos de visitas de inspecção, permitirá um adequado acompanhamento e controlo da segurança da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Batista, A.L. – Análise e interpretação do comportamento observado da barragem da Chicamba (Moçambique). 4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (JPEE 2006), Lisboa, 2006.

Batista, A.L.; Ramos, J.M. – Estudo do comportamento estrutural da barragem da Chicamba Real. 5^o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Maputo, 2008.

Costa, F.B. – A execução da barragem Oliveira Salazar (Chicamba Real) em Moçambique. Electricidade nº 19, Julho/Setembro de 1961.

EDP (Electricidade de Portugal) – Observação do aproveitamento de Chicamba Real. Revisão do plano de observação e apreciação das grandezas medidas de 1970 a 1973. Sector de Produção Hidráulica, Departamento de Segurança de Estruturas, Porto, 1980.

HCB – Reabilitação do sistema de observação da barragem da Chicamba. Trabalho realizado no âmbito da cooperação entre a HCB e a EDM, Songo, 2001.

ICOLD – Dam monitoring. General considerations. Boletim nº 60, Paris, 1988.

INAG – Curso de exploração e segurança de barragens. Instituto da Água, Lisboa, 2001.

LNEC – Visita de inspecção à barragem da Chicamba Real. Relatório 300/00 - NDE/NEE/NO, Lisboa, 2000.

LNEC – Definição e exploração de sistemas de recolha automática de dados da observação de barragens de betão. Relatório 175/2004 - NO, Lisboa, 2004.

LNEC – Barragem da Chicamba Real. Plano do sistema de observação geodésica. Relatório 367/2005 - NGA, Lisboa, 2005.

LNEC – Barragem da Chicamba. Inspecções realizadas em 2005 e 2008, avaliação da segurança estrutural e revisão do plano de observação. Relatório 394/2008 – NO/NMMF, Lisboa, 2008.

LNEC – Barragem da Chicamba Real. Inspecção à estrutura e ao sistema de observação efectuada em Março e Abril de 2009. Nota técnica 21/2009, DBB/NO, 2009.

LNEC – Barragem da Chicamba Real. Inspecção à estrutura e ao sistema de observação efectuada em Junho de 2010. Nota técnica 63/2010, DBB/NO, 2010.

NOIB - Normas de observação e inspecção de barragens. Anexo à Portaria nº 847/93, Lisboa, 1993.

Ramos, J.M. – Algumas recomendações relativas ao controlo de segurança das grandes barragens moçambicanas. Relatório, Projecto MOZ/86/020, Nações Unidas, 1991.

Ramos, J.M.; Portela, E.A.; Batista, A.L. – Controlo da segurança de barragens de betão em tempo real. ITB 28, LNEC, Lisboa, 2003.

RODIO – Barragem da Chicamba no rio Revué (Moçambique). Relatório das duas campanhas do reconhecimento geológico do terreno. Lisboa, 1957.

RODIO – Barragem da Chicamba no rio Revué (Moçambique). Relatório complementar das pesquisas e escavações. Lisboa, 1958.

RSB - Regulamento de segurança de barragens. Decreto-Lei nº 334/2007, Lisboa, 2007.

SHER (Sociedade Hidro-Eléctrica do Revué) – Aproveitamento do rio Revué (Moçambique). Barragem da Chicamba. Projecto. Memória, Anexos e Desenhos, 1959.

Sousa, P.J.A.M. – Avaliação da perigosidade sísmica e segurança estrutural em Moçambique: os casos da Beira e do Chimoio. Dissertação de mestrado, FEUP, Porto, 2006.

Torcida, D.; Silva, H. – Controlo de segurança estrutural da barragem da Chicamba - Acções para o seu relançamento. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Maputo, 2008.

Xerez, A.C.; Pinto, H.G. – The construction by stages of an arch dam in Portuguese East Africa. 6º Congresso das Grandes Barragens, Q20-R40, New York, 1958.

Weyermann, W.; Guerra, J.R.; Cardoso, H.P. – Le traitement des failles géologiques dans les fondations de barrages. 8^o Congresso das Grandes Barragens, Q28-R49, Edinburgh, 1964.