

## ESTAÇÃO ELEVATÓRIA PEDRÓGÃO-MARGEM ESQUERDA E REFORÇO DE POTÊNCIA DO PEDRÓGÃO. CONCEPÇÃO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS

**António PINHEIRO<sup>(1)</sup>; António MOISÉS<sup>(2)</sup>; Carlos GASPAR<sup>(3)</sup>**

(1) CEHIDRO, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa [apinheiro@civil.ist.utl.pt](mailto:apinheiro@civil.ist.utl.pt)

(2) AQUALOGUS – Engenharia e Ambiente, Lda. [geral@aqualogus.pt](mailto:geral@aqualogus.pt)

(3) EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, SA. [cgaspar@edia.pt](mailto:cgaspar@edia.pt)

O escalão do Pedrógão tem vários objectivos que condicionam o regime de exploração da respectiva albufeira, e consequentemente, os caudais disponíveis para turbinar pelo reforço de potência. Tais objectivos são:

- fornecer água para rega e outros fins a partir da respectiva albufeira;
- modular os caudais turbinados na central de Alqueva, evitando a sua restituição a jusante de Pedrógão em regime concentrado;
- garantir os caudais ecológicos a jusante da barragem;
- otimizar os benefícios associados à componente hidroeléctrica do empreendimento.

Para satisfazer o segundo objectivo, no que se refere à margem esquerda do rio Guadiana, foi projectada uma estação de bombagem dimensionada para um caudal de próximo de 20 m<sup>3</sup>/s, com uma altura de elevação de 65 m. Tendo em atenção o regime de caudais ecológicos, analisou-se viabilidade de construir um reforço de potência da mini-hídrica existente.

No presente artigo são apresentados os principais condicionamentos do projecto da estação elevatória e da conduta elevatória, bem como do reservatório de Orada, que serve de interface para alimentação do adutor do Pedrógão-Margem Esquerda, bem como as características mais relevantes deste conjunto de obras.

São apresentados as principais características dos equipamentos hidromecânicos instalados na estação elevatória, bem como os principais aspectos que condicionaram a sua definição.

A barragem do Pedrógão incorpora, junto da margem esquerda, uma central mini-hídrica que compreende dois grupos Kaplan de eixo vertical dimensionados para um caudal de 25 m<sup>3</sup>/s cada, a que corresponde uma potência unitária de cerca de 5 MW. No que respeita ao reforço de potência desta mini-hídrica, são brevemente descritos o procedimento de análise da viabilidade técnico-económica, salientando as hipóteses que foi necessário considerar, e o regime de exploração conjunta da mini-hídrica existente com a central de reforço de potência.

**Palavras-chave:** barragem do Pedrógão; reforço de potência; estação elevatória.

## 1 INTRODUÇÃO

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), que permitirá beneficiar uma área com cerca de 118 000 há, é constituído por três subsistemas, de acordo com as diferentes origens de água: Alqueva, Pedrógão e Ardila.

O subsistema do Pedrógão, com origem de água na albufeira do Pedrógão, beneficiará uma área total de cerca de 24 500 ha, localizada a Este de Beja até ao rio Guadiana. Uma das obras mais significativas deste subsistema é a Estação Elevatória do Pedrógão-Margem Esquerda (EEP-ME) e a o conjunto de obras que lhe estão associadas, que se designarão por Sistema Elevatório do Pedrógão-Margem Esquerda (SEP-ME).

A barragem do Pedrógão incorpora, junto da margem esquerda, uma central mini-hídrica que compreende dois grupos Kaplan de eixo vertical dimensionados para um caudal de 25 m<sup>3</sup>/s cada, a que corresponde uma potência unitária de cerca de 5 MW. A potência desta central foi inicialmente estabelecida tendo em atenção a potência máxima legalmente admissível (10 MW) no âmbito do estatuto do pequeno produtor (Decreto Lei n.º 189/88 de 27 de Maio).

Em 2003, por solicitação da EDIA, a EDP, Produção EM elaborou um estudo de viabilidade técnico-económica de instalação de uma central hidroeléctrica de reforço de potência em Pedrógão (EDP, 2003). O estudo pretendia que, no curto prazo, a EDIA pudesse decidir sobre a realização de obras preliminares e sobre a instalação de equipamentos que fossem indispensáveis à criação de condições adequadas e vantajosas para a construção duma nova central de reforço de potência da central hidroeléctrica prevista para a barragem do Pedrógão. Nesse estudo, foram consideradas duas alternativas de potência – 5 MW ( $Q_{\max} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ou 10 MW ( $Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Decidiu-se também, que no caso de se construir a nova central, esta se realizaria na margem esquerda do rio Guadiana.

Tendo por base os pressupostos adoptados na realização desse estudo preliminar da EDP, Produção EM (EDP, 2003), verificou-se que os indicadores económicos obtidos eram significativamente inferiores aos habitualmente pretendidos.

Posteriormente, no contexto do Decreto-Lei nº 33-A/2005, de 16 de Fevereiro de 2005, com a possibilidade dos produtores independentes instalarem potências até 30 MW, e com base no estudo de exploração conjunta dos dois aproveitamentos e num conhecimento mais rigoroso dos consumos de água a partir da albufeira do Pedrógão, mostrou-se pertinente reavaliar a viabilidade técnico-económica do reforço de potência da central mini-hídrica existente.

O presente artigo aborda os aspectos mais relevantes da concepção do SEP-ME e o estudo de viabilidade do reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão.

## 2 REFORÇO DE POTÊNCIA DA MINI-HÍDRICA DO PEDRÓGÃO

### 2.1 Enquadramento

A barragem do Pedrógão (Figura 1) tem as características principais que se apresentam no Quadro 1.

O regime de exploração da respectiva albufeira tem que satisfazer vários objectivos que, conseqüentemente, condicionam os caudais disponíveis para turbinar na central hidroeléctrica de reforço de potência da mini-hídrica existente. Tais objectivos são:

- fornecer água para rega e outros fins a partir da respectiva albufeira;
- modular os caudais turbinados na central de Alqueva, evitando a sua restituição a jusante do Pedrógão em regime concentrado;
- garantir os caudais ecológicos a jusante da barragem;
- otimizar os benefícios associados à componente hidroeléctrica do empreendimento.

Quadro 1 – Barragem do Pedrógão – Características principais

Tipo	Betão, gravidade
Desenvolvimento total	448,00 m
Altura máxima	43,00 m
Nível de Pleno Armazenamento (NPA)	84,80 m
Nível Mínimo de Exploração (NmE)	79,00 m
Nível de Máxima Cheia (NMC)	91,80 m
Volume total à cota do NPA	106 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Comprimento da albufeira	23 km
Área da albufeira para o NPA	1140 ha



Figura 1 – Barragem do Pedrógão. Vista lateral.

Em Aqualogus (2005) e (2007), partindo dos dados disponíveis em EDP (2003) e tendo em consideração o regime de caudais ecológicos entretanto definido e actualização dos consumos de rega, bem como a sua previsível evolução no tempo, foram determinados os caudais turbináveis no reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão, para diferentes potências instaladas.

## 2.2 Soluções analisadas

O regime de caudais ecológicos aprovado para a barragem do Pedrógão, prevê caudais mínimos não inferiores a  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , sendo tal caudal mínimo pouco frequente (caudais ecológicos superiores são mais frequentes). Assim, julgou-se pertinente considerar a hipótese de turbinar os caudais ecológicos com um dos grupos da mini-hídrica do Pedrógão, mesmo que para tal, nos meses em que tal caudal fosse de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , se turbinasse um caudal ligeiramente superior ( $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), compatível com as possibilidades dos grupos instalados na central no Pedrógão. Esta hipótese mostrou ser economicamente mais aconselhável do que incluir no reforço de potência em apreço um grupo específico para turbinar caudais pequenos.

Tendo em consideração as condições de tomada de água já existentes na barragem do Pedrógão, considerou-se que o reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão poderia atingir um caudal máximo turbinável de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $P \approx 20 \text{ MW}$ ), embora tal obrigasse a adaptações mais profundas na obra de entrada no circuito hidráulico, de modo a não ter perdas de carga excessivas na gralha de protecção do circuito hidráulico.

Assim, analisaram-se caudais de dimensionamento de 50, 70 e  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondentes a potências de 10, 14 e 20 MW, aproximadamente. O caudal de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  foi considerado por, face aos elementos disponíveis, se afigurar ser o limite correspondente a utilização de grupos Kaplan em cotovelo, de maior simplicidade que outros tipos de grupos de maior potência.

As receitas foram calculadas de acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio com redacção dada pelo DL n.º 168/99 de 18 de Maio, posteriormente modificado pelo DL n.º 339-C/2001 de 29 de Dezembro e recentemente alterado pelo DL n.º 33-A/2005 de 16 de Fevereiro).

## 2.3 Equipamentos preconizados para a central e equipamentos comuns à EEP-ME

### 2.3.1 Equipamento hidromecânico e electromecânico

Para a alimentação da turbina do reforço de potência, foi considerada a instalação de um troço de conduta em aço a jusante da conduta de adução à estação elevatória do Pedrógão-Margem Esquerda (EEP-ME) de dimensões adequadas ao caudal turbinado ( $50$  a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Tendo em consideração as potências do grupo em análise, foi prevista a instalação de uma turbina do tipo Kaplan em caixa espiral, de eixo vertical, para a potência de 20 MW (Figura 2) e de grupos Kaplan em cotovelo para as restantes potências (10 e 14 MW).

Dada a simplicidade associada aos grupos Kaplan em cotovelo, preconizou-se que o equipamento associado às instalações complementares de produção (auxiliares do grupo e da central) venha a apresentar características semelhantes ao utilizado em pequenas centrais hidroeléctricas, afastando-se assim do modelo normalmente adoptado para centrais hídricas de média e de elevada potência.

### 2.3.2 Ligação à rede receptora

O grupo do reforço de potência do Pedrógão deveria ser ligado à rede receptora através da subestação já prevista para a EE do Pedrógão-Margem Esquerda. No caso de o grupo ser adequado para a potência de 20 MW, haveria que proceder à substituição do transformador preconizado no projecto da EE, cuja potência nominal é de 18,5 MVA, o que representará um custo adicional para o grupo de 20 MW.

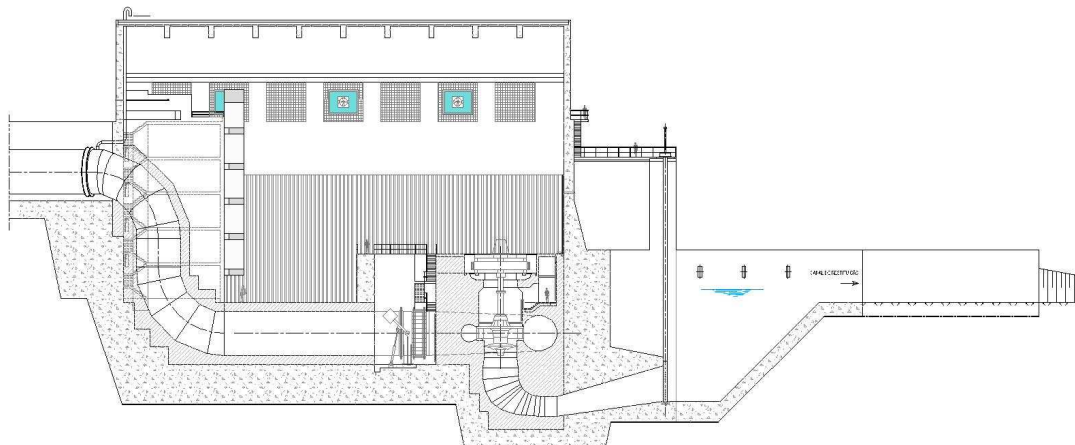


Figura 2 – Reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão. Corte esquemático para a solução de 20 MW.

O equipamento exterior localizado na subestação de 60 /11 kV, comum às instalações da estação elevatória e da central hidroeléctrica, foi considerado como sendo essencialmente constituído pelo pórtico de amarração final da linha da interligação com a rede do SEP, pelo seccionador de isolamento da instalação, descarregadores de sobretensões, transformadores de medida e disjuntor de corte e protecção da alimentação da instalação. Seria implantado numa plataforma exterior, próxima dos edifícios da estação elevatória e do reforço de potência.

O equipamento interior de média tensão, à tensão de 11 kV, deverá ser instalado no edifício de comando, sendo essencialmente constituído por um conjunto de celas modulares para a tensão de 11 kV, pelo transformador de neutro e pelo transformador de alimentação dos serviços auxiliares, além dos armários de alimentação dos auxiliares e de comando e automação.

#### 2.4 Análise de viabilidade económica

Foi com o objectivo de otimizar os benefícios associados à componente hidroeléctrica do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva, que se efectuou um estudo de viabilidade técnico-económica do reforço da capacidade de turbinamento de Pedrógão.

A análise efectuada foi de base mensal, por serem esses os dados de hidrológicos disponíveis, pelo que se considerou que os volumes disponíveis para turbinar se distribuam uniformemente ao longo do mês. Esta situação é a mais favorável do ponto de produção energética. De facto, caso ocorra uma cheia com duração inferior a um mês, em que o caudal médio disponível para turbinar no reforço de potência exceder o caudal de dimensionamento do grupo que vier a ser instalado, ocorrerá descarregamento do caudal em excesso, aspecto este que é atenuado ou mesmo eliminado, quando se considera o volume de cheia disponível ao longo de um período superior (um mês).

Conforme anteriormente referido, as condições de construção duma nova central hidroeléctrica, que turbinasse parte dos caudais não utilizáveis na mini-hídrica existente, diferiam das adoptadas em EDP (2003). A implantação duma estação elevatória a jusante da barragem do Pedrógão, na margem esquerda, veio alterar as condições em que se efectuou o referido estudo de viabilidade técnico-económica, já que a nova central hidroeléctrica beneficiaria, a nível de custos, de reduções decorrentes da utilização da conduta de adução à estação elevatória e da partilha da subestação.

Assim, na estimação dos custos imputáveis à nova central hidroeléctrica tiveram-se em conta as referidas reduções de custos, mencionadas nas alíneas 2.3.1. e 2.3.2.

Face à especificidade dos equipamentos em causa, salienta-se ainda a dificuldade de obtenção de estimativas de custo fiáveis para os equipamentos electromecânicos e hidromecânicos por parte de potenciais fornecedores.

Os resultados obtidos permitiram verificar que, embora todas as hipóteses de reforço de potência se tenham mostrado viáveis para a taxa de actualização de 6%, a instalação de uma potência de 20 MW encontrava-se no limiar da rentabilidade, pelo que, sendo o reforço de potência essencialmente justificado pelo melhor aproveitamento de caudais de cheia, se considera que, face à aleatoriedade da sequência de anos húmidos e à necessidade desses anos para rentabilizar o reforço de potência, a instalação da potência mais elevada se reveste de risco económico acrescido relativamente aos dois outros valores considerados.

Em relação às hipóteses de instalação de 10 ou 14 MW, verificou-se que, nas condições do estudo, qualquer delas será viável. No entanto, a hipótese de instalar 10 MW apresentou TIR mais favorável e menor período de retorno do investimento. Tendo em atenção que para esta gama de potências se admite, com base em dados de fabricantes, que o tipo de grupo a instalar seria do mesmo tipo (turbina em S), julga-se que uma decisão final sobre a potência a instalar se deverá basear numa consulta mais detalhada ao mercado sobre as características dos grupos (e.g. cotas de instalação, rendimentos) e respectivos custos.

No entanto, tendo-se constatado que a viabilidade económica do reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão está dependente da ocorrência de períodos de caudais elevados em Pedrógão e, necessariamente, da exploração que efectivamente vier a ser implementada no sistema Alqueva-Pedrógão, considera-se aconselhável a realização de estudos complementares de exploração conjunta das centrais do Alqueva e do Pedrógão, que atendam ao reforço de potência da central do Alqueva, já implementado posteriormente à conclusão do estudo de viabilidade efectuado.

### **3 SISTEMA ELEVATÓRIO DO PEDRÓGÃO-MARGEM ESQUERDA. CARACTERIZAÇÃO GERAL**

#### **3.1 Concepção geral das obras**

Na concepção geral do sistema elevatório do Pedrógão – Margem Esquerda (SEP-ME) atenderam-se aos seguintes aspectos principais:

- O edifício da EE do Pedrógão - Margem Esquerda foi localizado tão próximo da barragem do Pedrógão quanto possível, tendo em consideração os aspectos operacionais de circulação de veículos e de inserção da conduta de adução, de modo a reduzir o comprimento desta conduta (Figuras 3 e 4).
- A cota de acesso ao edifício da EE do Pedrógão - Margem Esquerda (79,00) foi condicionada pelo elevado nível de cheia que ocorre aquando do escoamento do caudal de dimensionamento do descarregador de cheias da barragem do Pedrógão.
- O muro de suporte de terras que delimita, à esquerda, o canal de restituição da barragem do Pedrógão inclui uma banquetta, inicialmente pensada para suportar a conduta de adução à EE (Figura 4). Tal banquetta apresenta uma largura reduzida em relação à dimensão da conduta de adução, na medida em que o elevado caudal de dimensionamento desta conduta apenas foi estabelecido no âmbito do estudo de viabilidade técnico-económica do reforço de potência atrás referido. Este aspecto condicionou as soluções adoptadas para apoiar a conduta sobre a banquetta.

- O traçado da conduta elevatória entre a EEP-ME e o reservatório de Orada, em perfil e em planta, teve em consideração a vantagem de reduzir o número de curvas a instalar, assegurar um recobrimento mínimo ao longo do traçado e a necessidade de evitar alturas de aterro excessivas sobre a conduta.



Figura 3 – Estação Elevatória do Pedrógão - Margem Esquerda. Vista geral, com o acesso à mini-hídrica do Pedrógão a montante (foto cedida pelo Eng.º Morim Oliveira).



Figura 4 – Estação Elevatória do Pedrógão - Margem Esquerda. Vista a partir da margem direita.

O sistema elevatório do Pedrógão-Margem Esquerda é essencialmente constituído por:

- tomada de água para a estação elevatória num orifício existente no corpo da barragem do Pedrógão dotada de uma grelha fina, uma comporta ensecadeira e uma comporta de seccionamento;

- conduta de adução, em aço, DN 4000, e desenvolvimento de cerca de 100 m, que liga a barragem do Pedrógão à estação elevatória;
- estação elevatória a equipar com seis grupos electrobomba, sendo três grupos instalados numa primeira fase;
- conduta elevatória de betão armado com alma de aço DN 2500 e desenvolvimento de cerca de 1675 m, que liga a estação elevatória ao reservatório de Orada;
- quatro reservatórios unidireccionais (RUD) instalados a jusante da estação elevatória à distância de 115, 445, 845 e 1195 m da mesma, com capacidade para 100 m<sup>3</sup> cada, colocados em pontos altos da conduta elevatória.

A EEP-ME é essencialmente constituída por um edifício destinado à instalação dos grupos e respectivos equipamentos auxiliares e por um recinto localizado no exterior do edifício, onde será implantada a subestação destinada a albergar os equipamentos para a ligação à rede do Sistema Eléctrico Público.

### 3.2 Tomada de água na albufeira do Pedrógão

A tomada de água na albufeira do Pedrógão, definida no âmbito do projecto de execução da barragem do Pedrógão, é essencialmente constituída por:

- orifício de entrada com 6,50 x 7,70 m<sup>2</sup> e eixo à cota 71,50 m;
- transição para conduta com secção transversal rectangular de 3,20 x 4,40 m<sup>2</sup>;
- transição para secção transversal circular DN 4400;
- transição para secção transversal circular DN 4000 (conduta de adução).

Nesta tomada de água, com uma extensão total aproximada de 13 m, encontra-se instalado o seguinte de equipamento hidromecânico:

- grelha móvel, para a retenção de detritos de pequena dimensão, adequada para protecção de um vão com 6,50 x 7,70 m<sup>2</sup>;
- comporta ensecadeira, do tipo corrediça, adequada para obturar um vão com 3,20 x 4,40 m<sup>2</sup>;
- comporta de serviço, do tipo vagão, adequada para obturar um vão com 3,20 x 4,40 m<sup>2</sup>.

### 3.3 Conduta de adução

O traçado da conduta de adução foi condicionado pela localização da tomada de água existente na barragem do Pedrógão e pela localização da banquetta existente ao longo do muro de suporte que delimita o canal de restituição da central hidroeléctrica associada à barragem, banquetta esta que foi concebida para suportar a conduta de adução.

A conduta de adução, em aço, DN 4000, tem cerca de 105 m de extensão, medidos desde a tomada de água na albufeira do Pedrógão até à estação elevatória. O seu traçado será pouco sinuoso, quer em planta, quer em perfil, incluindo apenas duas curvas com cerca de 30 e 5°.

Dado que o traçado proposto para a conduta de adução intercepta o caminho de acesso à barragem do Pedrógão e uma estrutura de drenagem de águas pluviais (canal com soleira em degraus), estas obras foram adaptadas à passagem de tal conduta, tendo sido realizada a sua destruição (parcial ou total) e reconstrução durante a instalação da conduta.

Nos 60 m a jusante da tomada de água, até à intercepção do muro de suporte do acesso à barragem do Pedrógão, a conduta de adução encontra-se enterrada. Nos 45 m seguintes, após atravessar o muro de suporte e até à estação elevatória, a conduta encontra-se à superfície, apoiada



na banquetta concebida para o efeito e amarrada com cintas de aço a berços espaçados de 9,50 m (Figura 4).

O arejamento da conduta de adução é efectuado através de uma tubagem DN 800 instalada no corpo da barragem, cuja boca de admissão se situa num orifício localizado na plataforma do coroamento da barragem, à cota 93,00 m, devidamente protegido por uma grelha.

### 3.4 Estação elevatória

#### 3.4.1 Edifício

O edifício proposto para a estação elevatória é de cariz industrial e caracteriza-se, do ponto de vista formal, por um jogo simples de volumes perfeitos e linhas rectas, no qual os acabamentos assumem um papel fundamental na composição arquitectónica. Em termos de projecto, o edifício cumpre, no essencial, as exigências programáticas e funcionais aplicáveis a um edifício desta natureza, nomeadamente as imposições relacionadas com operacionalidade, acessibilidade, manutenção e relação com a envolvente.

O edifício ocupa uma área de cerca de 42 x 16 m<sup>2</sup> e tem uma altura máxima de 22,30 m. Interiormente, o edifício da estação elevatória é composto por duas zonas distintas:

- zona técnica, constituída pelo átrio de descarga (79,10 m), três pisos inferiores (76,10; 72,70 e 69,10 m) e um piso superior (87,60 m); a zona técnica engloba a sala de reuniões, a sala de comando, um gabinete de apoio, instalações sanitárias e compartimentos para arrumos, para o grupo de emergência, para os quadros eléctricos e para o sistema de filtragem do circuito de refrigeração dos grupos electro-bomba;
- nave, constituída por dois pisos (74,00 e 78,20 m) de acesso aos grupos electro-bomba.

A nave do edifício destaca-se pela sua grande dimensão e volumetria cega, trabalhada do ponto de vista da iluminação e ventilação naturais ao nível do piso térreo, compreendendo o acabamento de algumas paredes exteriores, a utilização de blocos de tijolo de vidro, incolores, intercalados por grelhas metálicas verticais.

O efeito de sombra necessário para controlo da luz será garantido por uma estrutura de betão armado balançada sobre as superfícies verticais de tijolo de vidro, que servirá, também, como varandim de circulação pedonal para controlo visual da envolvente exterior e para instalação de equipamentos.

Em termos de acabamentos interiores, dada a natureza do edifício, propõem-se materiais de elevada resistência e reduzida manutenção, nomeadamente: pavimentos contínuos revestidos à base de resinas de poliuretano, paredes rebocadas e pintadas com tinta plástica e superfícies de betão pintadas com betoncolor.

As salas de reuniões e de comando e o gabinete de apoio serão objecto de tratamento particular ao nível dos acabamentos interiores, propondo-se a aplicação de tectos falsos metálicos e o revestimento das paredes com forras de tijolo.

#### 3.4.2 Circuitos de aspiração e de compressão

O edifício da estação elevatória foi projectado para albergar seis grupos electro-bomba e respectivos circuitos individuais de aspiração e de compressão, sendo previsto na primeira fase a instalação de apenas três grupos.

Os circuitos individuais de aspiração são constituídos por dois troços em aço carbono DN 1500 e DN 1100, com cerca de 11 e 5 m de extensão, respectivamente. Os circuitos individuais de compressão são constituídos por seis condutas DN 1100, com cerca de 9 m de extensão.

Os circuitos individuais são equipados, a montante, com válvulas de guilhotina (DN 1500) dotadas de abertura e fechamento realizados por meio de um actuador accionado por um servomotor hidráulico e a jusante, com válvulas de borboleta (DN 1100) com função anti-retorno para isolamento e protecção dos grupos electro-bomba, cuja abertura é efectuada por meio de um servomotor hidráulico e o fechamento por um sistema de contrapeso, de forma a garantir tal manobra na ausência de energia eléctrica.

O esvaziamento da conduta de compressão de cada um dos grupos é realizado através de uma picagem DN 100 dotada de duas válvulas de isolamento do tipo borboleta, que descarrega para o poço de drenagem do edifício da estação.

### 3.4.3 Grupos electrobomba

Tal como anteriormente referido, encontram-se actualmente instaladas na estação elevatória três bombas de eixo vertical, do tipo voluta bipartida, para uma velocidade de rotação de 596 rpm e uma potência nominal no veio de 2,11 MW, estimando-se uma potência máxima de 2,35 MW, tendo em conta as condições mais desfavoráveis de funcionamento para cada um dos grupos (altura de elevação mínima, obtida com um único grupo em serviço).

O caudal de dimensionamento de cada bomba para a altura de elevação de 61,4 m, altura de projecto, é de 3,3 m<sup>3</sup>/s, estimando-se os caudais de funcionamento para as alturas de elevação máxima (63,5 m) e mínima (48,3 m) em 3,1 m<sup>3</sup>/s e 4,1 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A altura de elevação máxima refere-se à situação de seis grupos em funcionamento.

Os motores associados às bombas (Figura 5) são máquinas assíncronas de eixo vertical, para a tensão nominal de 11 kV e potência nominal de 2,8 MW, apresentando um factor de potência de 0,85 para este regime de funcionamento. Os motores são dotados de uma chumaceira superior do tipo guia-impulso e de uma chumaceira inferior do tipo guia, ambas arrefecidas por água em circuito aberto.

Não foi necessária a aplicação de volantes de inércia de modo a garantir um maior tempo de paragem dos grupos de bombagem, sendo a protecção contra o golpe de aríete assegurada por quatro RUD, conforme se refere em 3.5.2.

Para o lançamento de cada um dos grupos é utilizado um *softstarter* de 11 kV que limita a respectiva corrente de ligação a um valor máximo sensivelmente igual ao dobro da corrente nominal dos motores. A hipótese de arranque dos grupos através da ligação directa dos motores sobre a instalação de 11 kV da estação foi abandonada tendo em consideração o sobredimensionamento que seria necessário efectuar, quer para os diversos elementos de MT da estação, quer para o transformador AT/MT da subestação, além das perturbações que tal poderia vir a causar nos equipamentos associados à rede local de AT de alimentação da estação.

### 3.4.4 Circuitos acessórios

O arrefecimento dos enrolamentos dos motores é efectuada por ar em circuito fechado, no qual são inseridos permutadores de calor do tipo ar-água, acoplados ao corpo do motor, que funcionam em circuito aberto de água.



Figura 5 – Grupos electrobomba. Vista dos motores (foto cedida pelo Eng.º Morim Oliveira).

A água necessária para o arrefecimento dos grupos é derivada a partir de duas picagens realizadas respectivamente na conduta de adução ao grupo 1 e ao grupo 2, sendo depois bombeada e filtrada. O seu retorno é realizado ou para uma caixa localizada no exterior do edifício, ou para o poço de drenagem da estação, através de condutas de descarga.

Para efeitos de bombagem das águas de fugas e infiltrações do edifício foram preconizadas três bombas centrífugas idênticas, do tipo submersível, dimensionadas para um caudal total de 45 l/s, instaladas num poço localizado num compartimento adjacente à nave de instalação dos grupos.

### 3.5 Conduta elevatória

#### 3.5.1 Conduta

O traçado da conduta elevatória, quer em planta, quer em perfil, teve em consideração a redução do número de curvas (acessórios) a instalar e a necessidade de garantir um recobrimento mínimo da conduta, procurando, simultaneamente, evitar alturas de aterro excessivas.

Nos estudos efectuados foi assumido que a conduta elevatória seria constituída pelos seguintes dois troços, separados por uma junta elástica, instalada no interior de uma caixa de visita prevista para o efeito:

- troço inicial em aço, DN 2800, com cerca de 45 m de extensão, desde a estação elevatória até à zona de transição com junta elástica; este troço incluirá uma curva com cerca de 68°;
- troço em betão com alma de aço, DN 2500, com cerca de 1675 m de extensão desde a junta elástica até à entrada na albufeira de Orada; este troço incluirá 11 curvas com ângulos compreendidos entre 13 e 58°.

O diâmetro adoptado para a conduta elevatória resultou de um estudo económico, realizado numa fase anterior do projecto, em que foram analisados diâmetros compreendidos entre DN 2150 e DN 3000. Nesse estudo concluiu-se ser o diâmetro de 2800 mm o que conduziria ao melhor compromisso entre custo da tubagem (directamente relacionado com o diâmetro) e custo da energia consumida pelos grupos electro-bomba (inversamente relacionado com o diâmetro), embora com pequena diferença para o diâmetro de 2500 mm. Face à evolução estimada do pedido de água e ao faseamento assumido na instalação dos grupos, optou-se pelo diâmetro menor.

### 3.5.2 Reservatórios unidireccionais

De forma a minorar os efeitos de regimes transitórios, previram-se quatro reservatórios unidireccionais (RUD) localizados cerca de 115 , 445 , 845 e 1195 m a jusante da estação elevatória, nos pontos a conduta elevatória apresenta pontos elevados mais significativos.

O compartimento principal dos RUD apresenta uma área interior de 12,5 m<sup>2</sup> (2,5 x 5,0 m<sup>2</sup>). Durante o funcionamento normal do sistema elevatório a altura de água no interior dos RUD será de 8 m, resultando um volume de água disponível para fornecimento à conduta elevatório de 100 m<sup>3</sup>, aproximadamente.

Os circuitos de ligação aos RUD, DN 800, dispõem do seguinte equipamento hidromecânico:

- válvula de borboleta (DN 800) com função anti-retorno;
- válvula de cunha (DN 250) para seccionamento do circuito de alimentação;
- válvula de nível (DN 250) para controlo automático do caudal afluente.

### 3.5.3 Descarga de fundo

De forma a possibilitar o esvaziamento da conduta elevatória, para a realização de trabalhos de manutenção ou de reparação, previu-se uma descarga de fundo localizada na extremidade de montante, no seu ponto mais baixo.

O circuito hidráulico da descarga de fundo é essencialmente constituído por uma conduta em aço DN 300, com cerca de 36 m de extensão. É equipado com uma válvula de segurança do tipo cunha DN 300 a montante, e uma válvula de jacto oco DN 300 a jusante, com saída à cota 68,40 m, cujo jacto atinge o canal de restituição da mini-hídrica do Pedrógão. A incidência temporária do jacto na parede esquerda do canal foi considerada admissível pela EDP.

A entrada e saída de ar durante as operações de esvaziamento e enchimento da conduta elevatória são garantidas através dos reservatórios unidireccionais (RUD) implantados ao longo do seu traçado, pelo que não se previram outros dispositivos para este efeito.

## 4 RESERVATÓRIO DE ORADA

### 4.1.1 Concepção geral

O reservatório de Orada efectua a transição entre a conduta elevatória e o canal de adução às albufeiras de Brinches e da Amoreira, assegurando ainda um pequeno armazenamento que permitirá flexibilizar o funcionamento da estação elevatória e fazer face a eventuais interrupções de funcionamento desta. Compreende um aterro com altura máxima acima do nível geral da fundação de 15 m e um desenvolvimento do coroamento de cerca de 206 m. A solução adoptada para o aterro principal consiste num perfil homogéneo constituído por materiais oligocénicos, com matriz de areia siltosa e argilosa, com um filtro subvertical a jusante para protecção do aterro.

A bacia hidrográfica do aproveitamento é muito reduzida, sendo constituída pela área delimitada pelo aterro principal, pelo dique de montante, pela estrada de acesso ao coroamento e descarga de fundo e pela linha de cumeada situada entre a tomada de água para o canal e o aterro principal.

O reservatório de Orada terá uma capacidade de  $354 \times 10^3 \text{ m}^3$  e área de 9,76 ha, para o Nível de Pleno Armazenamento (NPA).

Não sendo necessário prever um descarregador de cheias com dimensão significativas (poder-se-ia recorrer a uma obre do tipo “trop-plein” em poço), face às reduzidas afluências próprias, foi, no entanto, necessário prever um descarregador de emergência que permitisse escoar o caudal bombeado, em caso de não ser possível interromper o funcionamento da EEP-ME quando o reservatório se encontrasse no seu NPA. O descarregador, em canal de encosta, com soleira em labirinto alimentando um canal colector lateral, e a descarga de fundo, equipada com válvula de jacto oco na extremidade de jusante. O descarregador de emergência está localizado na margem esquerda, que apresentava melhores condições para a sua inserção. Este descarregador servirá também para descarregar caudais mais reduzidos decorrentes, essencialmente, de precipitações intensas ocorridas sobre o reservatório e sobre a pequena área que drena para dentro do reservatório.

A torre de manobra dos equipamentos da tomada de água e da descarga de fundo está localizada na margem direita, face à implantação da conduta elevatória nesta mesma margem. O acesso à torre de tomada de água/descarga de fundo é efectuado por um passadiço, a partir do coroamento do aterro.

#### 4.1.2 Órgãos hidráulicos de segurança

Os órgãos hidráulicos de segurança associados ao reservatório da Orada são o descarregador de emergência e a descarga de fundo, equipada com válvula de jacto oco na extremidade de jusante.

O descarregador de emergência (Figura 6), localizado na margem esquerda, que apresentava melhores condições para a sua inserção, é essencialmente constituído por:

- soleira descarregadora em labirinto, com 5 módulos;
- canal colector lateral rectangular;
- canal de encosta;
- trampolim terminal.

O descarregador de emergência foi dimensionado para o caudal máximo de  $19,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondente ao caudal de dimensionamento da estação elevatória do Pedrógão-Margem Esquerda, de modo a fazer face a uma eventual avaria no sistema de comando dos grupos electrobomba, que não permitisse a paragem destes quando o nível no reservatório ultrapassasse o nível de paragem estipulado.

Este descarregador servirá também para descarregar caudais mais reduzidos decorrentes, essencialmente, de precipitações intensas ocorridas sobre o reservatório e sobre a pequena área que drena para dentro do reservatório.

#### 4.1.3 Tomada de água e descarga de fundo

A torre de manobra dos equipamentos da tomada de água, que permite também a manobra dos equipamentos da descarga de fundo do reservatório, está localizada na margem direita, onde também se encontra implantada a conduta elevatória.



Figura 6 – Reservatório de Orada. Vista do descarregador de emergência (soleira em labirinto e canal colector) e do paramento de montante do aterro.

O equipamento hidromecânico instalado na torre de manobra, em orifícios localizados a cotas distintas, consoante se trate da tomada de água ou da descarga de fundo, é essencialmente constituído por:

- estrutura terminal da conduta de abastecimento com funções de tomada de água; soleira à cota 129,30, equipada com comporta vagão de  $2,00 \times 2,80 \text{ m}^2$  accionada por servomotor; grelha metálica amovível, com 3 vãos de  $2,00 \times 3,20 \text{ m}^2$ , podendo ser instalada uma comporta ensecadeira de iguais dimensões;
- conduta de arejamento a jusante da comporta de seccionamento, constituída por tubagem em aço DN 600, com instalação embebida no interior da torre de manobra, cuja boca de admissão se situará sob a laje superior da torre;
- descarga de fundo com soleira à cota 127,50, dotada de comporta vagão de  $0,80 \times 0,80 \text{ m}^2$  accionada por servomotor; grelha metálica amovível de  $0,80 \times 1,10 \text{ m}^2$  com espaçamento livre de 50 mm, podendo ser instalada no seu lugar uma comporta ensecadeira de iguais dimensões; conduta circular em betão DN 800 e 156 m de extensão;
- guincho diferencial manual amovível, a instalar na estrutura porticada existente na plataforma superior da torre, adequado para a manobra dos painéis das grelhas e dos elementos das eventuais comportas ensecadeiras.

O equipamento hidromecânico associado à estrutura de restituição da descarga de fundo é essencialmente constituído por:

- válvula de jacto oco do tipo Howell-Bunger motorizada, DN 400 mm;
- válvulas esféricas DN 100 (duas), no circuito destinado ao esvaziamento da conduta DN 800, constituído por troços rectos de tubo em aço DN 100.

#### 4.1.4 Tomada de água para o sub-bloco de rega da várzea

A tomada de água para o sub-bloco de rega da Várzea é essencialmente constituída pelo equipamento hidromecânico seguinte:

- comporta do tipo vagão adequada para obter um orifício rectangular com as dimensões de 2,00 x 1,50 m<sup>2</sup>;
- grelha de protecção contra a entrada de detritos na estrutura onde se insere o sistema de filtragem (tamisador);
- tamisador do tipo “outside to inside flow” para a filtragem da água proveniente do reservatório, adequado para um caudal máximo de 483 l/s.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

De entre os diversos questões abordadas na presente comunicação, duas merecem ser destacadas:

- a EEP-ME apresenta valores de potência e caudal significativamente superiores aos habitualmente instalados em Portugal e mesmo noutros países. Tais valores pouco habituais determinaram dificuldades acrescidas em obter dos fabricantes informação sobre custos e características técnicas, que permitissem ponderar os aspectos de fiabilidade e operacionalidade associados à montagem e manutenção dos equipamentos, bem como as implicações dos grupos electrobomba da distribuição de espaços do edifício.
- o estudo de viabilidade do reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão teve que admitir hipóteses no que respeita à exploração conjunta do sistema Alqueva-Pedrógão. Tal como para os grupos electrobomba referidos no parágrafo anterior, verificaram-se dificuldades em obter custos e características que permitissem melhor enquadrar o estudo referido. Nas condições consideradas, constatou-se que a viabilidade económica do reforço de potência da mini-hídrica do Pedrógão estará dependente da ocorrência de períodos de caudais elevados em Pedrógão nos primeiros anos de exploração, e portanto, também do regime de exploração que efectivamente vier a ser implementado no sistema Alqueva-Pedrógão. Assim, caso se venha a concretizar o interesse pela sua implementação, julga-se ser de reanalisar a viabilidade do reforço de potência num quadro de melhor conhecimento dos aspectos atrás referidos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu reconhecimento ao Eng.º Jorge Vazquez pelas sugestões apresentadas sobre o conteúdo da comunicação e ao Eng.º Morim Oliveira pelas fotos cedidas. A ambos são também devidos agradecimentos pelas esclarecedoras discussões havidas durante as fases de elaboração dos estudos e do projecto e pelas sugestões que então apresentaram.

### BIBLIOGRAFIA

Aqualogus. 2005. Central Hidroeléctrica do Pedrógão. Reforço de Potência. Estudo de Viabilidade Técnico-Económica.

Aqualogus. 2007. Estação Elevatória e Adutor do Pedrógão – Margem Esquerda. Reforço de Potência da Mini-Hídrica do Pedrógão com a Estação Elevatória Independente. Estudo de Viabilidade Técnico-Económica.

EDP. 2003. Central Hidroeléctrica do Pedrógão. Estudo Preliminar do Reforço de Potência.