

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Acompanhamento das Técnicas de Construção  
na Obra do Aproveitamento Hidroelétrico de  
Foz Tua

Relatório de Estágio

Ramo de Construções

Orientadora: Eng.<sup>a</sup> Maria do Rosário Oliveira

Supervisor: Eng.<sup>o</sup> Alfredo Neves

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos de grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Ramo de Construções



# Índice Geral

Índice Geral .....	iii
Resumo .....	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos.....	ix
Índice de texto .....	xi
Índice de figuras.....	xiii
Índice de quadros .....	xxi
Abreviaturas .....	xxiii
1 Introdução .....	1
2 Barragens.....	11
3 Caracterização da obra do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua.....	23
4 Acompanhamento da Construção da Barragem.....	41
5 Considerações finais .....	111
Referências Bibliográficas.....	115
Anexos .....	121



## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido na obra do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua onde a autora teve oportunidade de realizar o estágio curricular junto da equipa da Fiscalização no período de 2 de Fevereiro de 2015 a 31 de Julho de 2015.

A elaboração do presente trabalho pretende transmitir conhecimentos adquiridos relacionados com a constituição de um Aproveitamento Hidroelétrico, os tipos de barragens existentes, monitorização e controlo da segurança da estrutura da Barragem, controlo de qualidade de betão e o processo construtivo de uma Barragem.

A construção da Barragem do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua tem sido realizada através do método tradicional, que consiste na aplicação de betão convencional compactado por vibração interna. Ao longo deste processo, foram aplicadas diversas técnicas construtivas, nomeadamente: escavação, betonagem, refrigeração artificial, injeção de juntas e tratamento de fundações.

Neste trabalho foram ainda analisados os cuidados de segurança necessários neste tipo de estruturas, tendo como base o Regulamento de Segurança de Barragens. Este regulamento define as regras a seguir durante a execução da barragem e a monitorização que deve ser efetuada à mesma, permitindo assim o controlo da segurança da estrutura na sua construção e vida útil. É necessário ainda existir um controlo da qualidade, produção e aplicação do betão na estrutura de modo a aumentar a segurança, qualidade e durabilidade da mesma.

Palavras-chave: Aproveitamento Hidroelétrico, Barragem, Barragem abóbada, Betão, Construção



## Abstract

The following report was carried out in the Foz Tua Hydroelectric Exploitation's construction site, where the authoress was given the opportunity to do an internship from February 2<sup>nd</sup> to July 31<sup>st</sup> of 2015. This internship was carried out under the curriculum unit "Dissertation, Project and Internship" which belongs to the Civil Engineering Master's program of the Institute of Engineering of Porto (ISEP).

This report's goal is to transmit acquired knowledge related to a hydroelectric facility, dam structure monitoring and safety control, concrete quality control and construction process of a dam.

For Foz Tua Hydroelectric Exploitation's dam construction, the building process implemented has been the traditional method, which consists in applying conventional concrete compacted by internal vibration. Throughout this process, we applied various construction techniques, including: excavation, concrete, concrete dams cooling, contraction joints grouting and treatment of foundations.

This report also analyzed the safety precautions necessary in this type of structures, based on the indications of the Safety Regulation of Dams. This Regulation defines control to exist, allowing the monitoring and the security control in its construction and service life. To ensure an adequate level of quality leading to a long-lived constructions, concrete's production and use must be adequately supervised from its initial construction phase. Thus, an active control at all its production phases is required.

**Keywords:** Hydroelectric Exploitation's, Dam, Arch dams, Concrete, Construction



## Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Engenheira Maria do Rosário Oliveira, pela disponibilidade, apoio, conselhos e incentivos ao longo deste estágio.

À FASE e ao ISEP pela oportunidade concedida para a realização deste estágio.

Aos colaboradores da EDP Produção por permitir a minha estadia numa obra de tamanha envergadura, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

À equipa da Fiscalização FASE/GIBB do AHFT por toda a disponibilidade, apoio, conhecimentos transmitidos e interesse e ajuda prestada ao longo de todo o estágio.

Às equipas da Fiscalização FASE/GIBB, EDP Produção, LNEC, Profico Ambiente do AHFT por me proporcionarem um bom ambiente ao longo do estágio.

Aos meus pais agradeço todo o apoio, carinho, confiança e sacrifícios que fizeram por mim.

Obrigada por sempre me apoiarem e por sempre terem feito tudo ao vosso alcance para que nunca me faltasse nada ao longo de todos estes anos.

Um agradecimento muito especial ao João por todo o apoio, dedicação e incentivo. Pela paciência e motivação nos momentos de maior dificuldade. Muito obrigada.



# Índice de texto

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivos e Organização do Relatório .....	1
1.2	Fase – Estudos e Projetos, S.A. ....	3
1.3	Considerações iniciais.....	5
2	Barragens.....	11
2.1	Barragens de gravidade.....	13
2.2	Barragens em abóbada.....	14
2.3	Barragens arco-gravidade.....	16
2.4	Técnicas construtivas de Barragens em betão .....	17
2.4.1	Betão Compactado por Cilindros (BCC).....	17
2.4.2	Betão convencional .....	20
3	Caracterização da obra do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua.....	23
3.1	Elementos principais constituintes da obra .....	23
3.1.1	Barragem e órgãos de segurança .....	25
3.1.2	Circuito Hidráulico .....	31
3.1.3	Canal a jusante.....	35

## Índice de Texto

3.1.4	Central e Subestação.....	37
4	Acompanhamento da Construção da Barragem.....	41
4.1	Sistema de observação e monitorização .....	41
4.1.1	Instrumentação embebida .....	42
4.1.2	Instrumentação não embebida.....	46
4.2	Betão – Materiais e Composições .....	52
4.2.1	Receção de materiais.....	52
4.2.2	Central de betão .....	54
4.2.3	Fabrico de betões.....	56
4.3	Técnicas de construção da barragem.....	69
4.3.1	Escavações .....	74
4.3.2	Trabalhos anteriores à betonagem.....	77
4.3.3	Betonagem .....	92
4.3.4	Injeções de juntas.....	107
4.3.5	Tratamento de fundações.....	109
5	Considerações finais .....	111
	Referências Bibliográficas .....	115

## Índice de figuras

Figura 1 - Desenho esquemático de um aproveitamento hidroelétrico com barragem em abóbada (Profico Ambiente, 2008) .....	8
Figura 2 – Produção eólica e hídrica (EDP, 2015).....	9
Figura 3 – Barragem de gravidade - Barragem do Torrão (Silva, 2013) .....	13
Figura 4 – Barragem de gravidade com contrafortes – Barragem da Pracana (Silva, 2013)..	14
Figura 5 – Barragem abóbada de única curvatura. Definição geométrica esquemática e exemplo da barragem de Monteynard em França (Cardoso, 2013).....	15
Figura 6 – Barragem abóbada de dupla curvatura – Barragem do Cabril (Silva, 2013).....	15
Figura 7 – Barragem de abóbada múltipla da Agueira (Silva, 2013) .....	16
Figura 8 – Barragem arco-gravidade – Barragem de Castelo do Bode (Silva, 2013) .....	17
Figura 9 - Sequência do BCC pelo método de colocação em camadas horizontais (Marques, 2008).....	18
Figura 10 – Etapas do BCC pelo método rampado (Marques, 2008) .....	19
Figura 11 – Localização e bacia hidrográfica do AHFT (EDP, 2010) .....	23
Figura 12 – Planta geral do AHFT (Vallejo, 2015) .....	25
Figura 13 – Planta da barragem (EDP, 2010).....	26
Figura 14 – Alçado de montante da estrutura da barragem (Ferreira, 2010) .....	27

## Índice de Figuras

Figura 15 – Alçado de jusante da estrutura da barragem (Ferreira, 2010).....	27
Figura 16 – Antevisão da barragem (EDP, 2010).....	28
Figura 17 – Corte transversal de um descarregador de cheias (Carvalho, 2013) .....	29
Figura 18 – Perfil longitudinal da descarga de fundo (Carvalho, 2013).....	30
Figura 19 – Perfil longitudinal do dispositivo de caudal ecológico (Carvalho, 2013) .....	31
Figura 20 – Perfil longitudinal do circuito hidráulico (Vallejo, 2015) .....	32
Figura 21 – Obra subterrânea (Vallejo, 2015) .....	32
Figura 22 – Perfil transversal tipo da escavação do canal de jusante (EDP, 2010) .....	36
Figura 23 – Ponte ferroviária .....	37
Figura 24 – Central e subestação (Vallejo,2015).....	37
Figura 25 – Alteração do projeto da central (Batista, 2012).....	38
Figura 26 – Exemplo do princípio de funcionamento de uma central reversível (Martins, 2014) .....	39
Figura 27 – Grupo unidirecional (Mota-Engil e Tecnosol, 2014).....	43
Figura 28 – Grupo plano (Mota-Engil e Tecnosol, 2014).....	44
Figura 29 – Grupo tridimensional (Mota-Engil e Tecnosol, 2014).....	44
Figura 30 – Extensómetro de varas de fundação .....	49
Figura 31 – BT (Mota-Engil e Tecnosol, 2014) .....	50

Figura 32 – Instalação de uma BT .....	51
Figura 33 – BT instalada na barragem.....	51
Figura 34 - Silos.....	53
Figura 35 – Central principal de betão.....	54
Figura 36 – Software utilizado no processo de fabrico de betão.....	55
Figura 37 – Silobus e autobetoneira .....	56
Figura 38 – Cais de baldes .....	56
Figura 39 – Calor de hidratação de misturas de cinza volante e cimento Secil e Cimpor, respectivamente (EDP, 2010) .....	61
Figura 40 – Tipos de betões a utilizar em blocos da barragem (Barragem de Foz Tua ACE, 2013).....	65
Figura 41 – Evolução da construção da boca de entrada da derivação provisória.....	69
Figura 42 – Ensecadeira de jusante .....	70
Figura 43 – Orifícios provisórios da estrutura da barragem.....	70
Figura 44 – Ponto fixo do blondin.....	71
Figura 45 – Ponto móvel do blondin .....	72
Figura 46 – Viga de betão radial.....	72
Figura 47 – Software de controlo do blondin.....	73

## Índice de Figuras

Figura 48 – Localização do cais de baldes junto à cabine de controlo do blondin .....	73
Figura 49 – Sinais sonoros de uma pega de fogo.....	76
Figura 50 – Encostada escavada da margem esquerda.....	77
Figura 51 – Desnível entre blocos.....	78
Figura 52 – Cofragem do caixotão.....	79
Figura 53 – Colocação da cofragem para GV .....	79
Figura 54 – Transporte e colocação de cofragem com recurso ao blondin .....	79
Figura 55 – Movimentação da cofragem com recurso ao blondin.....	80
Figura 56 – Implantação topográfica.....	81
Figura 57 – Lâmina de estanqueidade .....	82
Figura 58 – Instalação de serpentinas no bloco.....	83
Figura 59 – Piano de distribuição de serpentinas .....	83
Figura 60 – Instalação da roseta e respetivos extensómetros de resistência de um grupo plano .....	84
Figura 61 – Colocação do primeiro elemento da cofragem num grupo plano.....	84
Figura 62 – Instalação de um grupo unidirecional de extensómetros de resistência com recurso à rede de galinheiro.....	85
Figura 63 – Instalação de um grupo plano de extensómetros de resistência com recurso à rede de galinheiro.....	85

Figura 64 – Extensômetro no balde corretor .....	85
Figura 65 – Termômetro de paramento.....	86
Figura 66 – Cofragem quadrangular para instalação do termômetro de água .....	86
Figura 67 – Tensômetro de resistência .....	87
Figura 68 – Negativo para instalação de CT num plano inclinado .....	87
Figura 69 – Colocação a argamassa de colagem e CT num plano horizontal .....	87
Figura 70 – Imobilização da CT num plano horizontal.....	88
Figura 71 – Instalação da CT num plano inclinado.....	88
Figura 72 – CT num plano inclinado .....	89
Figura 73 – CT num plano vertical.....	89
Figura 74 – Socket .....	89
Figura 75 – Colocação de um medidor de movimento de juntas .....	90
Figura 76 – Condução dos cabos para a conduta técnica.....	90
Figura 77 – Transporte de betão.....	94
Figura 78 – Betonagem do bloco com recurso ao blondin.....	95
Figura 79 – Crivo.....	96
Figura 80 – Crivagem do betão para envolvimento dos extensômetros de resistência .....	96
Figura 81 – Enchimento e vibração do balde corretor .....	96

## Índice de Figuras

Figura 82 – Enchimento e vibração do betão a colocar no primeiro elemento de cofragem para envolvimento do grupo tridimensional de extensómetros de resistência .....	97
Figura 83 – Enchimento e vibração do betão a colocar no segundo elemento de cofragem para envolvimento do grupo tridimensional de extensómetros de resistência .....	97
Figura 84 – Pirâmide completamente preenchida de betão.....	98
Figura 85 – Descofragem da pirâmide e envolvimento em betão.....	98
Figura 86 – Envolvimento de grupo plano de extensómetros de resistência com rede de galinheiro .....	99
Figura 87 – Betonagem de um termómetro de água .....	99
Figura 88 – Betonagem de uma CT num plano horizontal.....	100
Figura 89 – Espalhamento de betão .....	101
Figura 90 – Vibração do betão com recurso a vibradores manuais .....	101
Figura 91 – Mesa rotativa equipada com um conjunto de vibradores, apoiada no braço de uma escavadora.....	101
Figura 92 – Grifagem do bloco .....	103
Figura 93 – Serpentina em carga.....	104
Figura 94 – Mini-giratória com roçadora acoplada .....	105
Figura 95 - Execução dos carotes no rolhão.....	105
Figura 96 – Corte do rolhão com recurso a fio diamantado .....	105

Figura 97 – Trabalhos no orifício provisório.....	106
Figura 98 – Tubagem existente na GV para finalizar a betonagem dos orifícios provisórios	106
Figura 99 - Caixotões.....	107
Figura 100 – Ranhuras.....	108



## Índice de quadros

Quadro 1 – FASE – Estudos e Projectos S.A. (FASE, 2015).....	5
Quadro 2 – Principais características dos aproveitamentos hidroelétricos seleccionados para o PNBEPH (INAG, 2007).....	7
Quadro 3 – Classificação de uma barragem (RSB).....	12
Quadro 4 – Características técnicas da albufeira (EDP, 2010) .....	24
Quadro 5 - Características técnicas da Barragem (EDP, 2010) .....	26
Quadro 6 – Características técnicas dos Túneis de adução (EDP, 2010) .....	34
Quadro 7 – Características técnicas dos túneis da Restituição (EDP, 2010).....	35
Quadro 8 – Referências normativas dos constituintes dos betões.....	58
Quadro 9 – Granulometria das classes de agregados.....	59
Quadro 10 – Dimensão máxima do agregado no betão de cada elemento .....	60
Quadro 11 – Tipos de betões a aplicar na barragem.....	64
Quadro 12 – Características gerais dos diferentes tipos de betão aplicados na barragem.....	66
Quadro 13 – Composições / tipo de betões a utilizar na estrutura da barragem.....	67
Quadro 14 – Diferença da composição de betão a utilizar no núcleo (tipo 1) e paramento (tipo 2) da barragem.....	93



## Abreviaturas

ACE – Agrupamento Complementar de Empresas

AHFT – Aproveitamento hidroelétrico de Foz Tua

BCC – Betão Compactado por Cilindros

BT – Base Tridimensional

CSO – Coordenação de Segurança em Obra

CT – Tensómetro de Resistência

CUB – Cartão Único de Betonagem

D - Direita

DO – Dono de Obra

E – Esquerda

EDP – Eletricidade de Portugal

FE – Fornecedor de Equipamentos

GV – Galeria de visita

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MJ – Medidor de Junta

## Abreviaturas

NMC – Nível Máximo de Cheias

Nme – Nível mínimo de exploração

NmE – Nível mínimo Extraordinário

NOIB – Normas de Observação e de Inspeção de Barragens

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

PNBEPH – Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

PB – Pedido de Betonagem

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PIE – Plano de Inspeção e Ensaio

RSB – Regulamento de Segurança de Barragens

# 1 Introdução

## 1.1 Objetivos e Organização do Relatório

O presente trabalho foi realizado no âmbito da Unidade Curricular Dissertação, Projeto e Estágio do Mestrado em Engenharia Civil, ramo construções, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), e consistiu na realização de um estágio curricular na empresa FASE – Estudos e Projetos S.A. integrado na construção do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua (AHFT).

A autora pretende expor o procedimento adotado para a execução da construção da barragem em abóbada do AHFT através do seu acompanhamento em obra. A obra do AHFT foi acompanhada no período proposto para a realização do Estágio Curricular, integrando a equipa da Fiscalização da empresa FASE – Estudos e Projetos, S.A., tendo sido possível obter um contacto próximo com os métodos e tecnologias adotadas para a realização da obra. A sua participação na obra teve início em Fevereiro de 2015, quando decorria a betonagem da estrutura da barragem, encontrando-se 67,14% betonada. Assim, o presente trabalho abordará a metodologia da betonagem da estrutura da barragem baseada no acompanhamento realizado, o fabrico e controlo do betão e ainda a monitorização da estrutura da barragem. Pretende-se transmitir os conhecimentos adquiridos durante a realização do estágio através do acompanhamento da obra, mais propriamente da betonagem da estrutura da barragem e atividades envolvidas.

Os principais objetivos deste relatório são:

- Descrever a constituição do AHFT;
- Compreender a importância na monitorização da estrutura;

## Capítulo 1

- Compreender as etapas de execução de uma barragem e os processos construtivos associados;
- Compreender as diferentes características e composições que os betões aplicados na barragem devem possuir;
- Compreender os procedimentos de controlo de qualidade do betão.

Tendo em consideração os objetivos referidos, o presente relatório encontra-se dividido em 5 capítulos.

O Capítulo 1 apresenta os principais objetivos e organização do relatório, uma breve descrição da empresa no qual decorreu o estágio curricular e ainda o enquadramento do tema. Sendo que neste último é referido o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico e explica de forma resumida a constituição de um aproveitamento hidroelétrico.

No Capítulo 2 é efetuada uma breve descrição dos diferentes tipos de barragens existentes e a sua classificação. São ainda apresentadas as duas técnicas construtivas possíveis de aplicar no caso das barragens em betão.

O Capítulo 3 pretende apresentar as infraestruturas que compõem o AHFT. Apresenta-se uma descrição da albufeira de montante, da barragem e órgãos de segurança associados, do circuito hidráulico e estruturas a este associado, do canal a jusante e ainda da central e subestação.

No Capítulo 4 é apresentado o acompanhamento do processo construtivo da estrutura da Barragem. Inicialmente é abordado o sistema de observação e monitorização aplicado na barragem, seguindo-se o ciclo de produção de betão, desde a receção dos materiais, controlo da qualidade do mesmo, as diferentes composições e ainda o processo da produção em si. Por fim abordam-se os processos de construção da estrutura desde a escavação, betonagem, injeção de juntas e ainda o tratamento de fundações.

Por último, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais sobre o período de estágio e do acompanhamento da obra.

## 1.2 Fase – Estudos e Projetos, S.A.

“A FASE - Estudos e Projetos S.A.,  
fundada em 1979, baseia a sua  
estratégia de atuação na oferta de um  
serviço global de engenharia e



arquitetura. Mediante a adequada combinação de conhecimentos técnicos, metodologias e experiência, assegura aos seus clientes a satisfação otimizada das suas necessidades e os benefícios decorrentes do apoio de uma das maiores empresas nacionais de engenharia. Para tal, muito contribui o facto de ser uma sociedade anónima de capitais privados e independente de quaisquer fornecedores de bens de equipamentos, construtores e instaladores. Os serviços oferecidos abrangem as diversas fases de execução de empreendimentos, nomeadamente a Consultoria e Assistência ao Dono da Obra, a Elaboração de Estudos e Projetos Multidisciplinares, assim como todas as atividades inerentes à Gestão de Empreendimentos.

Encontra-se certificada pela APCER para Conceção e Prestação de Serviços de Engenharia e Arquitetura nos domínios da Consultoria, Projetos (Infraestruturas, Edifícios e Instalações Industriais) e Gestão de Empreendimentos (Gestão de Projetos, Gestão de Qualidade da Construção no âmbito da marca de qualidade LNEC e Gestão e Fiscalização de Obra).” (FASE, 2015)

## Capítulo 1

Esta tem uma vasta experiência em projetos de grande envergadura na área dos transportes, edifícios, água e ambiente e ainda em indústria e energia. Em seguida apresentam-se alguns dos projetos no qual esteve envolvida.

Na área dos transportes a FASE desempenhou funções da coordenação e fiscalização, em consórcio, na ampliação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, gestão do projeto e assistência técnica no Metro de Macau e coordenação, fiscalização e gestão da qualidade, segurança e ambiente na Linha Vermelha do Metropolitano de Lisboa.

Nos edifícios, são de destacar a consultoria técnica, revisão de projeto e fiscalização e coordenação das empreitadas do EuroAntas – Estádio do Dragão no Porto e a revisão de projeto, gestão de contratos e procura de empreitadas, coordenação e fiscalização de obra e gestão da qualidade na Igreja da Santíssima Trindade no Santuário de Fátima.

Na área da água e ambiente destacam-se o acompanhamento, coordenação e gestão da qualidade na ETAR dos Febros em Gaia.

Relativamente à indústria e energia, a FASE prestou serviços de fiscalização, incluindo monitorização topográfica, planeamento, controlo de qualidade e custos e acompanhamento ambiental no Reforço de Potência da Barragem da Bemposta, Reforço de Potência da Barragem de Venda Nova III e no Reforço de Potência da Barragem de Salamonde II. Atualmente presta serviços de coordenação e fiscalização, monitorização, realização de campanhas de observação, planeamentos, controlo de quantidade e custos, qualidade e qualidade dos betões e dos equipamentos e acompanhamento ambiental na construção do AHFT.

No Quadro 1 apresentam-se informações relativas à FASE.

*Quadro 1 – FASE – Estudos e Projectos S.A. (FASE, 2015)*

<b>Fundada</b>	5 de Fevereiro de 1979
<b>Sede</b>	Rua Manuel Pinto de Azevedo, 711- 3º a 6º 4100 - 321 Porto
<b>Site</b>	www.fase.pt
<b>Capital social</b>	8.500.000,00€

### 1.3 Considerações iniciais

Atualmente, há uma grande preocupação a nível mundial de modo a diminuir os níveis de CO<sub>2</sub> na produção elétrica. Portugal é um dos países que se comprometeu com organismos internacionais a cumprir uma política energética que tem como objetivo, entre outras coisas, o reforço da produção elétrica a partir de fontes renováveis. Desta forma, aliado às potencialidades da energia hídrica e dos parques hidroelétricos por explorar, esta área tornou-se apelativa para o investimento. Assim Portugal elaborou o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH) que tem como objetivo identificar e definir prioridades para os investimentos a realizar em aproveitamentos hidroelétricos no horizonte 2007-2020. O PNBEPH definiu como meta atingir uma capacidade instalada hidroelétrica nacional superior a 7000 MW em 2020, em que os novos grandes aproveitamentos hidroelétricos a implementar deverão assegurar valores de potência instalada adicional da ordem de 2000 MW, contribuindo dessa forma para o cumprimento do objetivo estabelecido pelo Governo em

## Capítulo 1

termos de produção de energia com origem em fontes renováveis para o ano 2020, redução da dependência energética nacional e redução das emissões de CO<sub>2</sub>. (INAG, 2007)

O PNBEPH integra os 10 aproveitamentos hidroelétricos que deverão ser implementados para se atingirem as metas estabelecidas, que foram selecionados de um total de 25 aproveitamentos analisados em face das opções estratégicas definidas para o Programa e da avaliação ambiental estratégica realizada. Os 10 aproveitamentos hidroelétricos que deverão ser implementados segundo o PNBEPH são:

- Foz Tua
- Fridão
- Padroselos
- Gouvães
- Daivões
- Alto Tâmega (Vidago)
- Almourol
- Pinhosão
- Girabolhos
- Alvito

No Quadro 2 resumem-se as características dos aproveitamentos hidroelétricos selecionados para implementação no âmbito do PNBEPH (por ordem de potência instalada).

Quadro 2 – Principais características dos aproveitamentos hidroelétricos selecionados para o PNBEPH

(INAG, 2007)

Aproveitamento	Bacia Hidrográfica	Rio	Tipo	Área da Bacia Hidrográfica	Capacidade da albufeira	Potência instalada	Energia produzida
				[km <sup>2</sup> ]	[hm <sup>3</sup> ]	[MW]	[GWh/ano]
Foz Tua	Douro	Tua	Reversível	3822	310	234	340
Fridão	Douro	Tâmega	-	2630	195	163	299
Padroselos	Douro	Beça/ Tâmega	Reversível	315	147	113	102
Gouvães	Douro	Torno/ Tâmega	Reversível	100	13	112	153
Daivões	Douro	Tâmega	Reversível	1984	66	109	148
Alto Tâmega (Vidago)	Douro	Tâmega	Reversível	1557	96	90	114
Almourol	Tejo	Tejo	-	67323	20	78	209
Pinhosão	Vouga	Vouga	Reversível	401	68	77	106
Girabolhos	Mondego	Mondego	Reversível	980	143	72	99
Alvito	Tejo	Ocreza	-	968	209	48	62
<b>Total</b>					1266	1096	1632

De acordo com Gomes, 2009, um Aproveitamento Hidroelétrico (Figura 1) é constituído por uma estrutura de retenção de água denominada barragem ou açude que dá origem a um reservatório a céu aberto, ou seja a albufeira. Por sua vez a barragem está equipada com órgãos de segurança, denominados descarregadores principais ou auxiliares e ainda por descargas de fundo que permitem controlar o nível de água na albufeira. Um dos intuitos destes aproveitamentos é a produção de energia elétrica resultante da queda da água armazenada na albufeira. A captação de água faz-se na tomada de água que é o órgão de ligação entre a albufeira e o circuito hidráulico, que por sua vez é constituído por um canal de derivação, uma câmara de carga, condutas forçadas que fazem a alimentação das turbinas e, finalmente, pela restituição. A produção energética faz-se na central, onde estão as turbinas acopladas a

## Capítulo 1

alternadores e os comandos e serviços auxiliares, sendo essa energia injetada na rede na subestação.

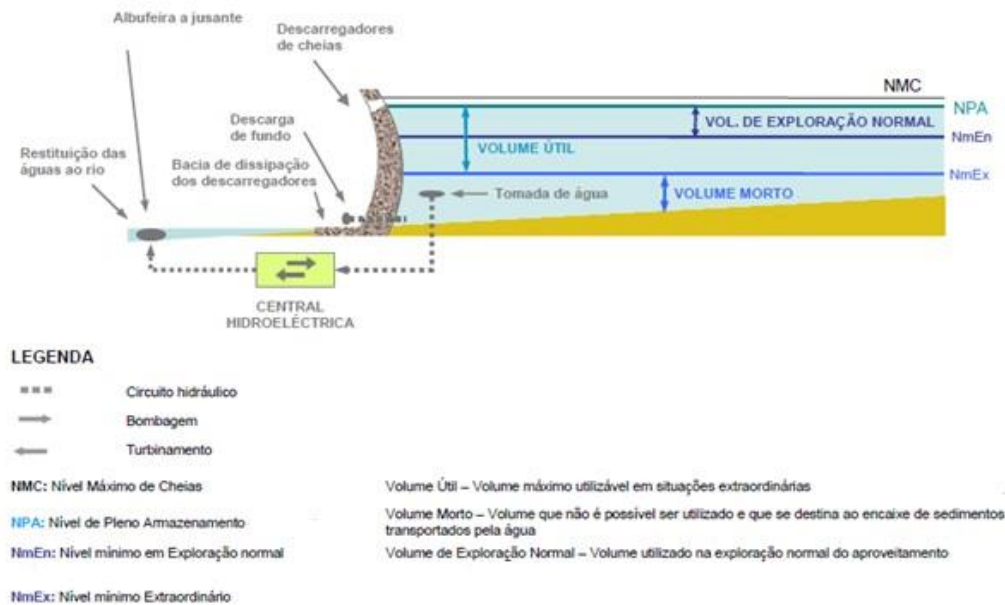


Figura 1 - Desenho esquemático de um aproveitamento hidroelétrico com barragem em abóbada

(Profico Ambiente, 2008)

O princípio de funcionamento de uma central hidroelétrica baseia-se em transformar a energia do movimento das águas em energia elétrica, sendo a potência elétrica produzida tanto maior quanto maior a velocidade das águas. Para atingir este objetivo, são criados desníveis artificiais que criam diferenciais de cota, permitindo que a água se desloque de um local elevado (com elevada energia potencial) para um nível mais baixo (com energia potencial inferior), atingindo no percurso velocidades elevadas. Esta água, que se move a grande velocidade, é conduzida para as pás de turbinas ligadas a alternadores, através dos seus veios, que produzem energia elétrica. (Gomes, 2009)

Há a possibilidade de reversibilidade dos grupos hidroelétricos, uma vez que podem não só turbinar a água fornecendo energia mas também bombear água gastando-a. Isto é importante em alturas em que o investimento em energia eólico é forte visto que se trata de um tipo de

recurso com propriedades irregulares (Figura 2). Imagine-se que nas horas de menor consumo, durante a noite, há uma grande quantidade de vento num parque eólico e no caso de todo esse vento ser utilizado para produzir energia, pode-se correr o risco de a oferta ser superior à procura. Há ainda a possibilidade de os geradores eólicos estarem desligados mas neste caso a matéria-prima estaria a ser desperdiçada. A melhor solução para este problema é produzir energia e acertar a oferta com os valores de procura colocando o aproveitamento hidroelétrico a funcionar bombando água de jusante para montante. Dessa maneira não há desperdícios de energia e permite o armazenamento de água para ser utilizada em horas de maior procura. (Araújo, 2013)

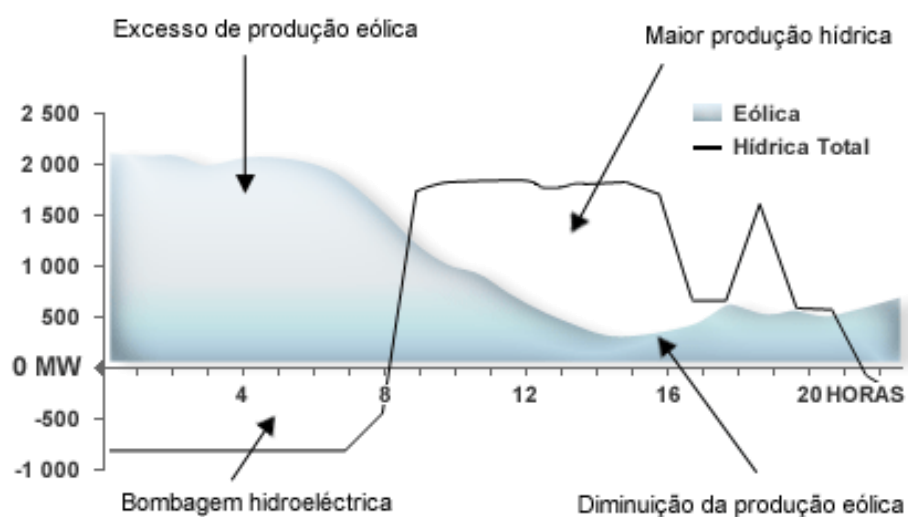


Figura 2 – Produção eólica e hídrica (EDP, 2015)



## 2 Barragens

De acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), uma barragem é um conjunto formado pela estrutura de retenção, sua fundação, zona vizinha a jusante, órgãos de segurança e exploração e albufeira, com exceção dos diques fluviais e costeiros e ensecadeiras que não permaneçam para além do período de construção.

As barragens, no sentido geral da estrutura propriamente dita, sua fundação, zona vizinha a jusante, órgãos de segurança e exploração e albufeira, são necessárias para uma adequada gestão das águas, nomeadamente para o abastecimento de água às populações, a rega, o controlo de cheias, a produção de energia, atividades turísticas e industriais e navegação.

Estas são estruturas cuja capacidade resistente deve ser suficiente de modo a absorver os esforços atuantes na estrutura resultantes do efeito de pressão da água. Devem possuir determinadas características de desempenho, tais como uma elevada impermeabilidade, estabilidade química adequada e grande deformabilidade.

Tendo em consideração os potenciais danos associados à onda de inundação correspondente ao cenário mais desfavorável existe uma classificação das mesmas em classes de I a III. Esta classificação é indicada por ordem decrescente da gravidade dos danos e tem em consideração vidas humanas, bens e ambiente na região do vale a jusante da barragem (Quadro 3).

*Quadro 3 – Classificação de uma barragem (RSB)*

<b>Classe</b>	<b>Ocupação humana, bens e ambiente</b>
I	Residentes em número igual ou superior a 25.
II	Residentes em número inferior a 25; ou  Infra-estruturas e instalações importantes ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas.
III	As restantes barragens.

A classificação da estrutura pode ser feita de acordo com a sua dimensão, o material utilizado na sua construção ou a sua forma estrutural.

Quanto à dimensão, uma barragem pode ser classificada como grande ou pequena. De acordo com o RSB, classifica-se como grande caso tenha altura igual ou superior a 15 metros ou tenha altura igual ou superior a 10 metros cuja albufeira tenha capacidade superior a 1 milhão de m<sup>3</sup>. Por sua vez, uma barragem é classificada como pequena caso a sua altura seja inferior a 15 metros e não esteja incluída na classificação de grande barragem e a albufeira tenha capacidade superior a 100 000 m<sup>3</sup>.

Relativamente ao material utilizado na sua construção, as barragens podem ser classificadas como de betão, de aterro (materiais soltos) e de alvenaria de pedra. Embora menos utilizados, é possível a construção de pequenas barragens em madeira e em aço.

A escolha do tipo de estrutura a ser implementada em cada projeto depende de vários fatores tais como: as características geológicas e geotécnicas do terreno, mais propriamente a qualidade

dos maciços rochosos da fundação e das margens, bem como da morfologia do vale onde será integrada e ainda o fator económico. Assim, da ponderação, estudo e análise destes fatores, resulta a escolha do tipo de estrutura que melhor se adapta.

## 2.1 Barragens de gravidade

As barragens de gravidade (Figura 3) apresentam uma secção transversal com uma forma aproximadamente trapezoidal e, em geral, a base com uma espessura superior a 70% da altura da barragem. Estas são barragens mais simples e mais comuns e a sua estabilidade é assegurada pelo peso próprio. A implantação deste tipo de barragens não requer uma elevada qualidade da rocha de fundação e podem ocupar um vale largo ou estreito.

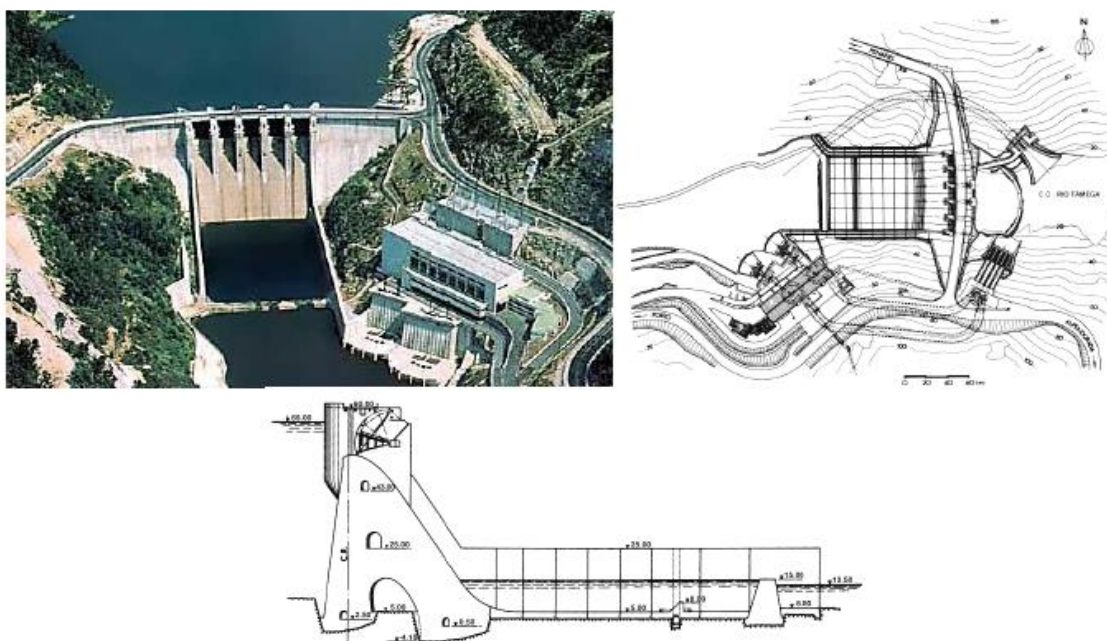


Figura 3 – Barragem de gravidade - Barragem do Torrão (Silva, 2013)

As barragens de gravidade com contrafortes (Figura 4) apresentam uma estrutura contínua a montante assegurando a estanqueidade e é suportada a jusante pelos contrafortes (elemento descontínuos) permitindo uma economia de betão. A sua execução é complexa e necessita de

grandes quantidades de armaduras. Estas são construídas em vales largos com baixo declive e um solo de fundação de boa qualidade.

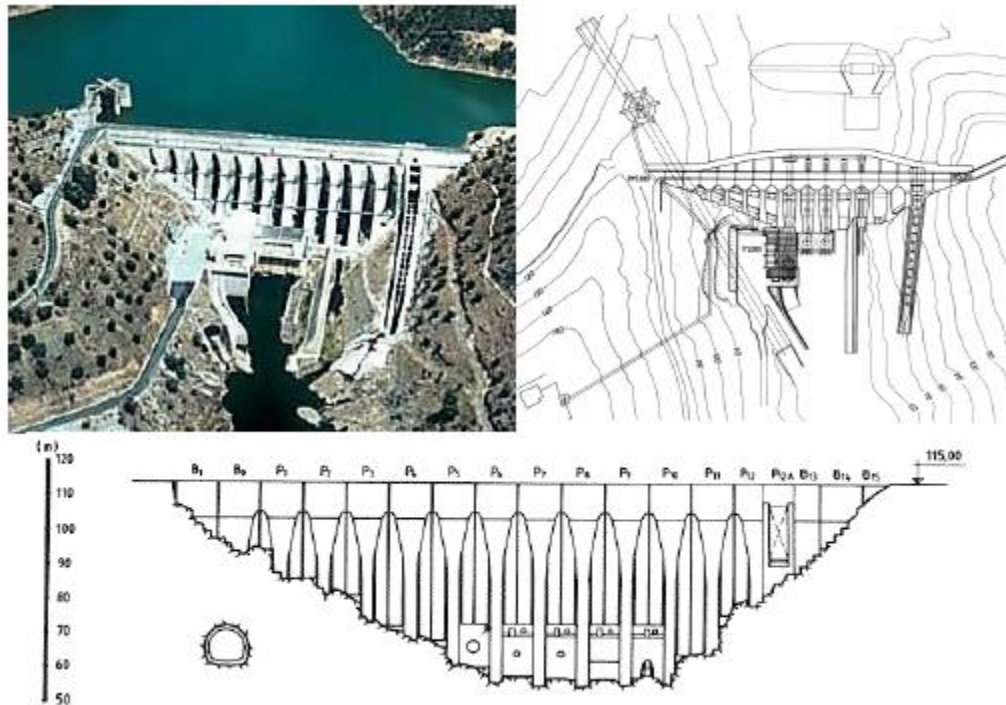


Figura 4 – Barragem de gravidade com contrafortes – Barragem da Pracana (Silva, 2013)

## 2.2 Barragens em abóbada

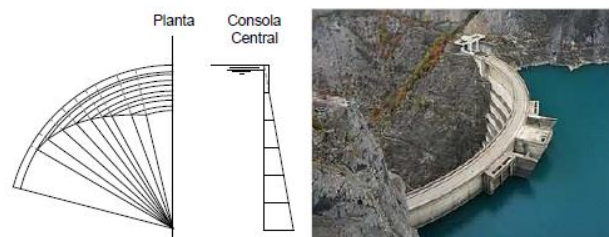
As barragens em abóbada são estruturas muito esbeltas usualmente utilizadas em vales de reduzida largura e boa qualidade dos maciços de fundação.

Estas apresentam curvatura para montante com a finalidade de transmitir o efeito da pressão hidrostática à fundação e aos encontros, tirando partido da resistência dos arcos à compressão e permitindo, assim, substancial redução do volume de betão em relação a barragens de gravidade. (Gomes, 2009)

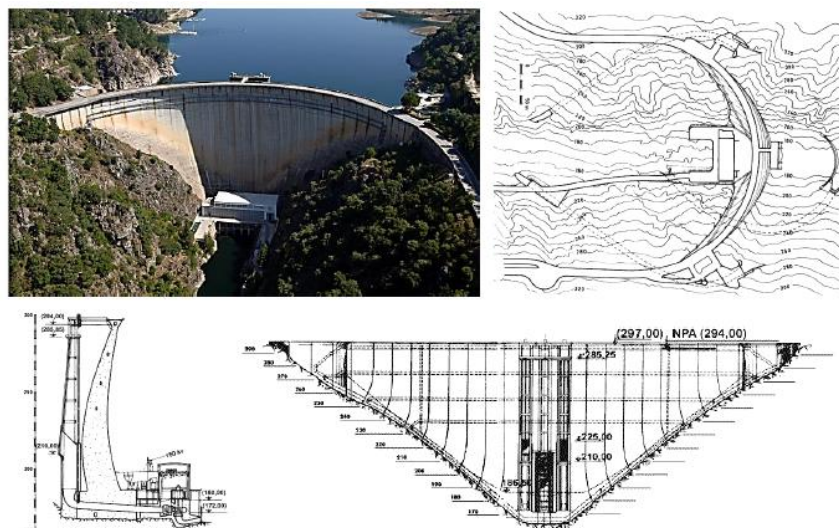
A curvatura horizontal da abóbada é responsável pela centralização da linha de pressões das secções para a ação do peso próprio, obtendo assim, compressões verticais em toda a barragem

quando se combina as ações do peso próprio e da pressão hidrostática. Este ajuste do peso da estrutura é necessário, visto que, existe uma tendência para a geração de trações verticais junto da base da barragem na face montante e no terço superior da barragem, na face jusante. (Cardoso, 2013)

Este tipo de barragem pode ser dotada de uma única curvatura em planta (Figura 5) ou curvatura em planta e em perfil, ou seja de dupla curvatura (Figura 6).



*Figura 5 – Barragem abóbada de única curvatura. Definição geométrica esquemática e exemplo da barragem de Monteynard em França (Cardoso, 2013)*



*Figura 6 – Barragem abóbada de dupla curvatura – Barragem do Cabril (Silva, 2013)*

Em relação à abóbada, esta pode ser simples ou múltipla. Sendo múltipla (Figura 7) será dotada de mais do que uma abóbada. A sua estabilidade global é garantida pelos contrafortes e a estabilidade local de cada vão pelas abóbadas sucessivas das quais a barragem é composta. Por norma a escolha destas recai sobre o facto de serem construídas com menor volume de betão, embora a sua execução seja difícil.

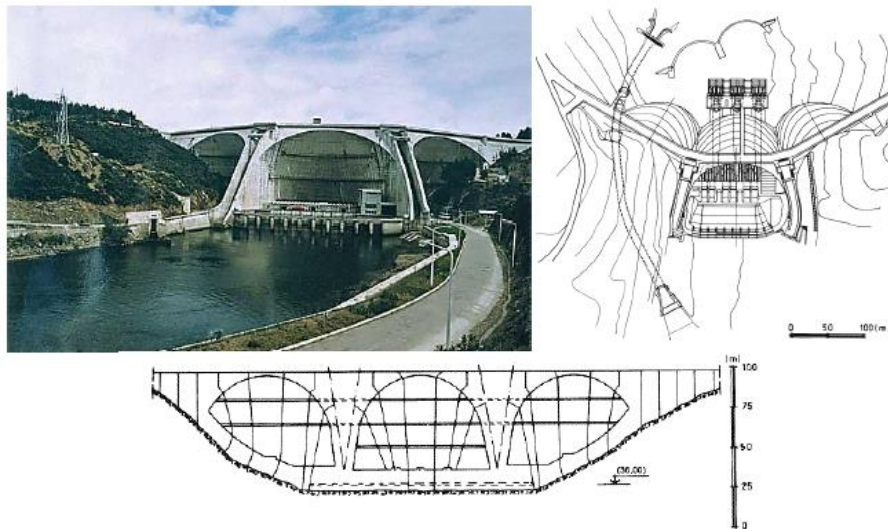


Figura 7 – Barragem de abóbada múltipla da Aguieira (Silva, 2013)

### 2.3 Barragens arco-gravidade

As barragens arco-gravidade (Figura 8) usufruem de uma solução estrutural que contempla vantagens quer das barragens abóbada quer das barragens de gravidade. Assim estas possuem curvatura em planta e secção transversal trapezoidal. Uma vez que as ações atuantes são transmitidas às fundações e aos encontros, há a possibilidade de reduzir o peso próprio diminuindo a espessura da base.

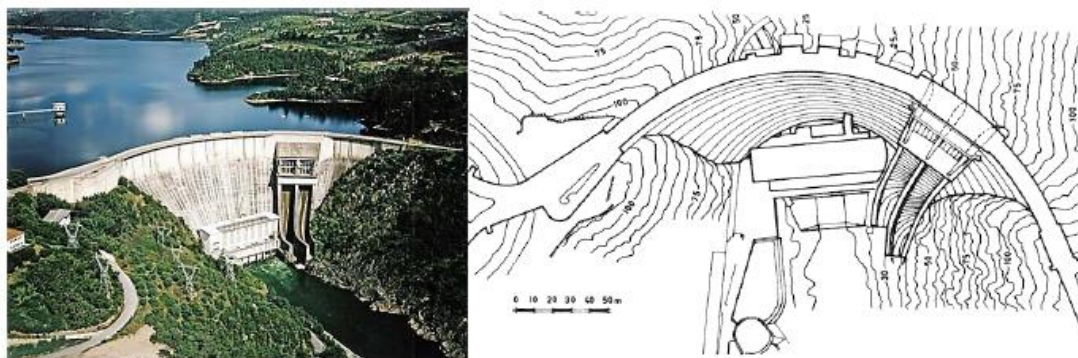


Figura 8 – Barragem arco-gravidade – Barragem de Castelo do Bode (Silva, 2013)

## 2.4 Técnicas construtivas de Barragens em betão

Atualmente as barragens de betão podem ser construídas por duas técnicas de construtivas diferentes, o Betão Compactado por Cilindros (BCC) ou o Betão convencional.

### 2.4.1 Betão Compactado por Cilindros (BCC)

O BCC é constituído, tal como um betão convencional, por agregados com diferentes granulometrias, ligante, água e, eventualmente, adjuvantes, mas diferindo pelo facto de ter um abaixamento nulo por forma a permitir, enquanto fresco, o trânsito sobre ele de equipamento pesados. A compactação do betão em grandes massas é efetuada mediante a passagem de cilindros vibradores sobre as camadas que vão sendo sucessivamente colocadas (Figura 9), e não por vibração interna, como nos betões em grandes massas das barragens de betão convencional referidas em 2.4.2. (Quintela *et al*, 2001)

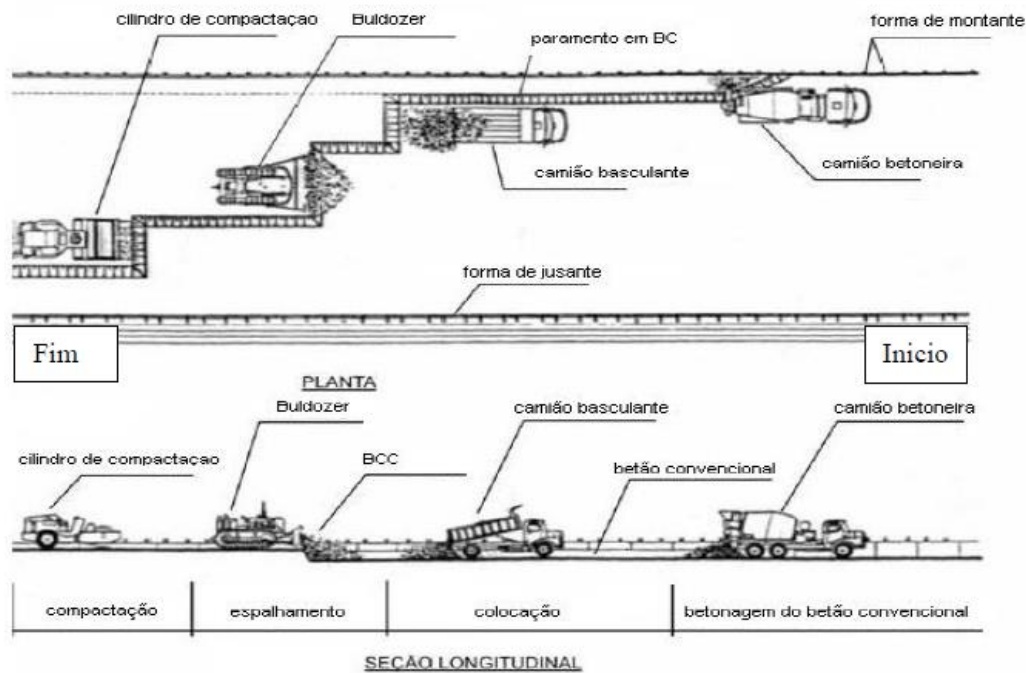


Figura 9 - Seqüência do BCC pelo método de colocação em camadas horizontais (Marques, 2008)

.Utilizando a técnica do BCC a construção da barragem é realizada em camadas horizontais, de margem a margem, com juntas transversais induzidas espaçadas de 20 a 30 metros. As camadas podem variar de 0,3 a 1 metro de altura sendo utilizado betão seco, ou seja, com baixo SLUMP. De acordo com a Norma de Construção de Barragens (Portaria n.º 246/98) o BCC é um betão seco, com abaixamento nulo, de modo a permitir que o equipamento de transporte e colocação, semelhante ao usado na construção de barragens de aterro, possa circular sobre o betão fresco.

Esta técnica pode ser realizada em camadas horizontais ou ainda em camadas inclinadas, ou seja, através do método rampado (Figura 10).

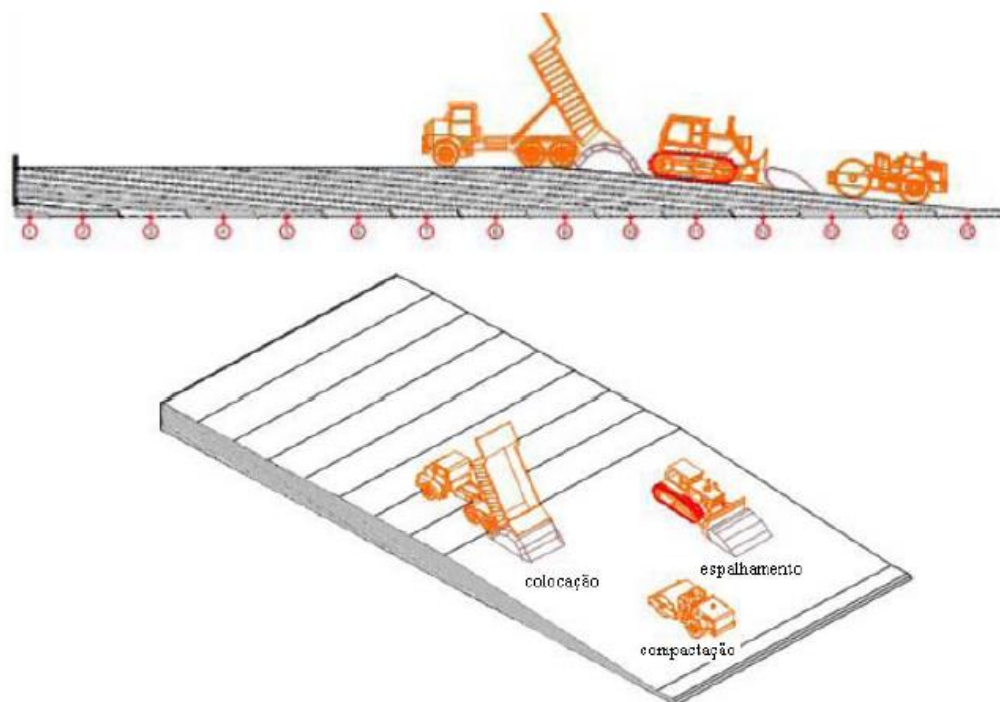


Figura 10 – Etapas do BCC pelo método rampado (Marques, 2008)

Em relação à impermeabilização da estrutura de uma barragem em BCC, pode haver necessidade de uma aplicação de uma membrana de PVC, externa ou incorporada em painéis pré-fabricados, ou execução de uma faixa de BCC enriquecido com calda de cimento, sendo esta última a técnica mais utilizada.

A técnica do BCC desenvolveu-se com o intuito de encontrar uma técnica de construção de barragens mais rápida e mais económica. Inicialmente esta foi aplicada apenas em barragens de gravidade e mais tarde, com a adaptação da cofragem, em barragens abóbada. Embora esta técnica nunca tenha sido utilizada em barragens em abóbada em Portugal, é recorrente a sua utilização em barragens construídas na China. Segundo a *US Army Corps of Engineers*, esta tecnologia é cada vez mais utilizada em comparação com barragens construídas em betão convencional, visto que permite utilizar um betão com menor dosagem de cimento, reduzir a

utilização de cofragens e permitir a realização da sua construção num tempo mais reduzido, advindo deste conjunto de fatores, benefícios económicos

### 2.4.2 Betão convencional

Tradicionalmente as barragens em abóbada são construídas com betão convencional e a compactação realizada através de vibração interna. A sua construção é realizada através da colocação de betão por blocos separados por juntas transversais.

Uma vez que se trata da aplicação em massas de betão existe um fenómeno muito intenso de libertação de calor resultante da hidratação, podendo dar origem a fissuras. Esta situação pode ainda ser agravada em certos casos dependendo da região e localização onde se encontra a estrutura. Assim, torna-se necessário tomar medidas para diminuir a temperatura. Tendo em vista a diminuição de risco de fissuração, as alturas de betonagem de cada bloco são alvo de estudo. Por outro lado, para evitar que o betão aumente de temperatura devido à temperatura atmosférica alta, a água de amassadura poderá ser parcialmente substituída por gelo em escamas. Outro método usualmente utilizado é o arrefecimento forçado por meio de refrigeração artificial. O sistema consiste na circulação de água, do rio ou refrigerada, em serpentinas colocadas nas camadas de betonagem. Estas são ativas posteriormente à betonagem, tratando-se da refrigeração de 1.<sup>a</sup> fase. Na refrigeração de 2.<sup>a</sup> fase, o objetivo é diminuir a temperatura para proceder à injeção das juntas de contração.

Posteriormente à betonagem, as juntas são injetadas de modo a garantir o funcionamento monolítico da estrutura. É garantida a impermeabilização da estrutura da barragem pelas propriedades do betão aplicado e assegurada nas juntas pelas lâminas de estanqueidade e injeção de juntas.

Com o objetivo de garantir uma solidarização mais eficaz do contacto betão-rocha junto à base da barragem e efetuar a consolidação do maciço rochoso em profundidade, realiza-se o tratamento do maciço de fundação.

Uma das preocupações associadas ao armazenamento de grandes massas de água, são as infiltrações que podem acontecer no terreno, resultantes das elevadas pressões verificadas em profundidade, e que geram correntes de percolação sob a barragem. A longo prazo, um dos efeitos provocados pela existência destas correntes é o arrastamento de finos existentes no solo e a sua conseqüente designação parcial, o que pode originar focos de instabilidade no maciço de fundação. Com este tratamento, injetando calda de cimento sob pressão, o terreno adquire um grau de consistência/consolidação mais elevado, assim como maior estanqueidade à ação da água. (Sousa, 2011)



### 3 Caracterização da obra do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua

Tal como referido anteriormente, em 1.3, o AHFT é um dos projetos analisados no âmbito do PNBEPH. O seu local de implantação situa-se no troço inferior do rio Tua, afluente da margem direita do rio Douro (Figura 11). É constituído por um escalão que oferece uma potência de 260 MW e um potencial de produção anual de 667 GW/h. Em relação à sua capacidade de armazenamento, o empreendimento proporciona uma albufeira com  $66 \times 10^3 \text{ m}^3$ , que engloba, na sua área de influência, os concelhos de Alijó, Carrazeda de Ansiães, Murça, Mirandela e Vila Flor. A construção do AHFT teve início em Abril de 2011 e tem previsão de entrada em serviço em Setembro de 2016. O custo do empreendimento ronda os 400 milhões de euros.



Figura 11 – Localização e bacia hidrográfica do AHFT (EDP, 2010)

#### 3.1 Elementos principais constituintes da obra

De uma forma resumida o AHFT é constituído por uma barragem em abóbada de dupla curvatura, (ponto 1 da Figura 12), sendo esta estrutura constituída por órgãos de segurança, tais como o descarregador de cheias, a descarga de fundo e o dispositivo de caudal ecológico.

A barragem abrange uma bacia hidrográfica com 3809 km<sup>2</sup> e cria uma albufeira que para o nível de pleno armazenamento (NPA) à cota 170,00 tem um volume de 106,1 hm<sup>3</sup> e uma área inundada de 420,9 ha. A albufeira terá, em condições normais, um regime de exploração entre o NPA e o seu nível mínimo de exploração (Nme) à cota 167,00. O nível mínimo extraordinário (NmE) situa-se à cota 162,00.

De acordo com o RSB, a albufeira é o volume de água retido pela barragem (conteúdo) ou terreno que circunda o mesmo volume (continente), ou ambos, devendo o sentido, em cada caso, ser deduzido do contexto. A água armazenada na albufeira irá permitir que se gere energia através do turbinamento da mesma mediante a necessidade.

Uma vez que no caso do AHFT os grupos são reversíveis, é possível bombear a água de jusante para montante, fazendo-se assim o enchimento da albufeira.

As características técnicas da albufeira do AHFT apresentam-se no Quadro 4.

*Quadro 4 – Características técnicas da albufeira (EDP, 2010)*

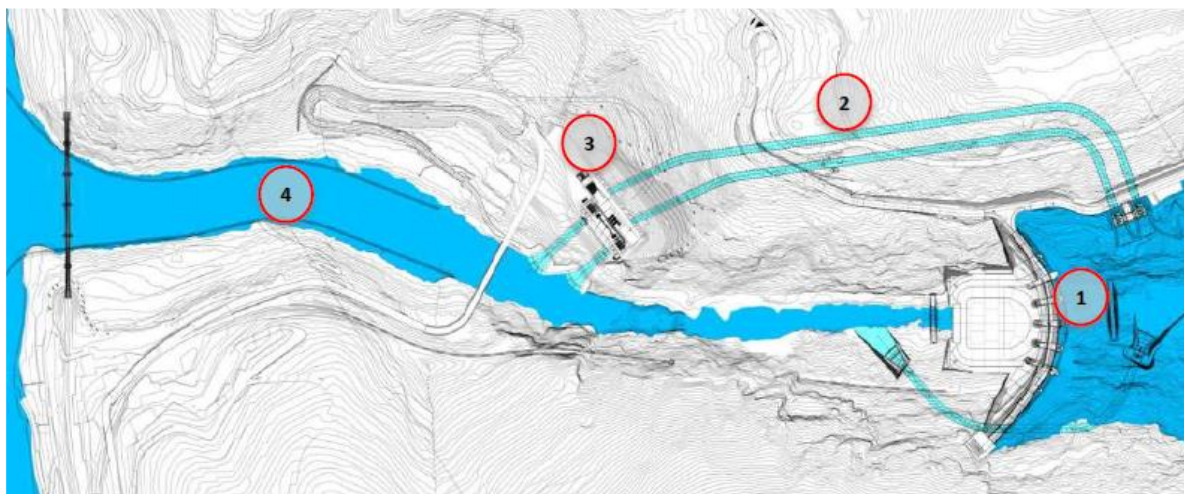
<b>Albufeira</b>	
<b>Nível de pleno armazenamento (NPA)</b>	(170)
<b>Nível de máxima cheia (NMC)</b>	(171)
<b>Nível mínimo de exploração (Nme)</b>	(167)
<b>Nível mínimo extraordinário (NmE)</b>	(162)
<b>Volume total NPA</b>	106 hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de NMC</b>	110 hm <sup>3</sup>
<b>Volume útil Nme</b>	10 hm <sup>3</sup>
<b>Volume útil NmE</b>	28 hm <sup>3</sup>
<b>Área inundada NPA</b>	421 ha
<b>Área inundada NMC</b>	436 ha

O circuito hidráulico subterrâneo (ponto 2 da Figura 12) localiza-se na margem direita, sendo este constituído por túneis independentes que alimentam os dois grupos geradores que se

encontram na central hidroelétrica. Do circuito hidráulico fazem parte a tomada de água, os túneis de adução e restituição.

A central hidroelétrica é enterrada e é constituída por dois grupos reversíveis (ponto 3 da Figura 12). Uma vez que os grupos são reversíveis está assegurada a inversão do circuito hidráulico, passando a restituição a desempenhar a função de tomada de água e vice-versa, sempre que necessário.

No canal a jusante (ponto 4 da Figura 12) há a necessidade de realizar escavações realizando uma rampa de modo a constituir uma transição suave do rio Tua para o rio Douro.



*Figura 12 – Planta geral do AHFT (Vallejo, 2015)*

### 3.1.1 Barragem e órgãos de segurança

De acordo com o Caderno de Encargos, a solução adotada para a barragem de Foz Tua consiste numa abóbada de dupla curvatura, em betão convencional vibrado, com uma altura máxima teórica de 108 metros medida entre o ponto mais baixo da fundação e o coroamento.

O coroamento tem um desenvolvimento de 275 metros e uma espessura de 5 metros. Na zona central do coroamento insere-se o descarregador de cheias de superfície que possui 4 portadas

equipadas, cada uma com 15,7 metros de largura. No coroamento da barragem, e incluindo a zona sobre o descarregador de cheias, constituir-se-á um atravessamento rodoviário do rio Tua com duas faixas de rodagem. Contudo, este atravessamento terá acesso apenas pela margem direita da barragem, através de um troço de estrada a construir ao longo da encosta a jusante da barragem e que liga à EN212 (Figura 13).

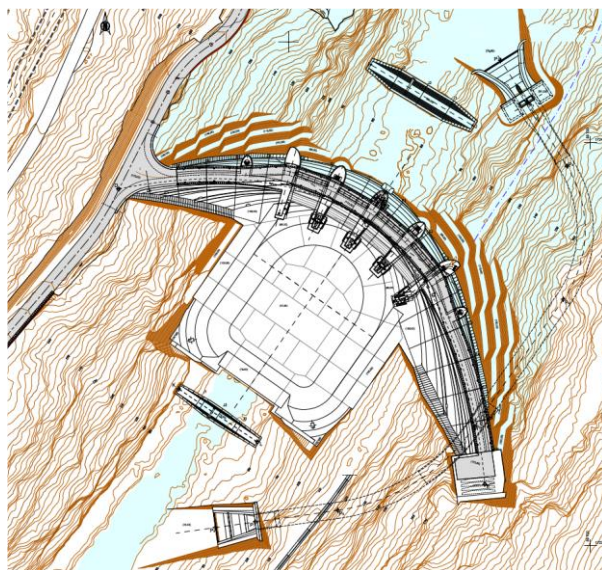


Figura 13 – Planta da barragem (EDP, 2010)

No Quadro 5 apresentam-se as características técnicas da estrutura da barragem.

Quadro 5 - Características técnicas da Barragem (EDP, 2010)

<b>Barragem</b>	
<b>Tipo estrutural</b>	Abóbada de dupla curvatura
<b>Material</b>	Betão convencional
<b>Características</b>	
Cota do coroamento	(172)
Altura máxima acima da fundação	108 m
Desenvolvimento do coroamento	275 m
Espessura do coroamento	5 m
Espessura na base da consola de fecho	22 m
Espessura máxima nas nascenças dos arcos	32 m
Volume de betão	358 000 m <sup>3</sup>

A barragem encontra-se dividida transversalmente por 17 juntas de contração em blocos com desenvolvimentos entre 13,5 e 17 metros. Estas são definidas por planos verticais, radiais à diretriz do arco do coroamento, e providas de caixotões. Ao longo do contorno das juntas colocam-se lâminas de estanqueidade por forma a criar compartimentos estanques. Estes compartimentos são dotados de dispositivos de injeção de modo a posteriormente se realizar a injeção das juntas de contração. Esta, tem como objetivo criar o monolitismo da abóbada, tal como referido em 2.4.2.

Nas Figura 14 e Figura 15 apresentam-se os alçados de montante e jusante, respetivamente, da barragem onde se pode verificar a identificação das juntas de contração.

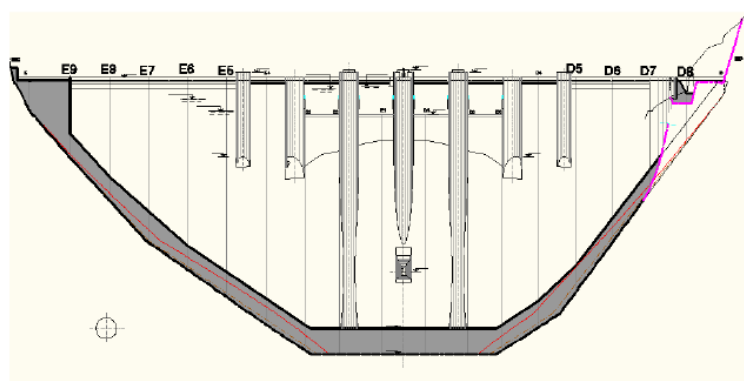


Figura 14 – Alçado de montante da estrutura da barragem (Ferreira, 2010)

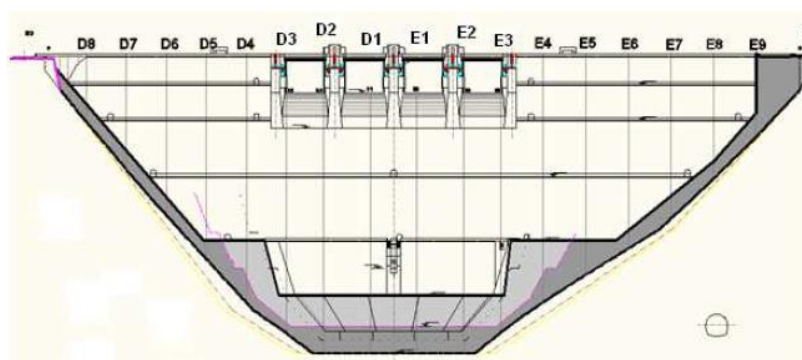


Figura 15 – Alçado de jusante da estrutura da barragem (Ferreira, 2010)

Na Figura 16 apresenta-se a antevisão da estrutura da barragem.



*Figura 16 – Antevisão da barragem (EDP, 2010)*

De acordo com o Art 3.º do RSB, a barragem está incluída na classe I, uma vez que o número de residentes é superior a 25 na região do vale a jusante que poderá ser afetada pela onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável, ou seja, a rotura da barragem.

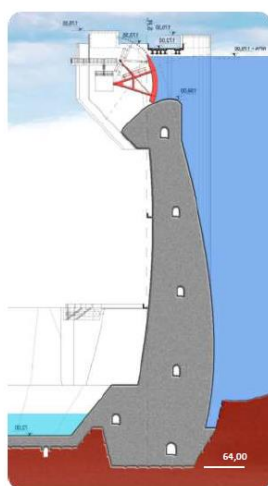
Como referido atrás, a estrutura da barragem é dotada de órgãos de segurança que visam assegurar o bom funcionamento do aproveitamento hidroelétrico, quer em situações de emergência quer em condições normais de exploração.

### ***Descarregadores de cheias***

O descarregador de cheias tem como principal função o esvaziamento parcial da albufeira a montante da barragem caso aconteça uma situação de caudais afluentes excedentários, subindo o nível de água acima do Nível Máximo de Cheia (NMC).

De acordo com o Caderno de Encargos, este tem uma capacidade máxima de vazão de 5500 m<sup>3</sup>/s sob o NMC (NMC=171). É constituído por uma estrutura descarregadora de quatro portadas, funcionando em superfície livre, e uma estrutura de dissipação de energia por impacto denominada de bacia de dissipação.

Na Figura 17 apresenta-se o corte transversal de um descarregador de cheias.



*Figura 17 – Corte transversal de um descarregador de cheias (Carvalho, 2013)*

### ***Descarga de fundo***

A descarga de fundo tem como função o esvaziamento da albufeira a montante, tal como o descarregador de cheias, e o controlo do seu primeiro enchimento. Ainda assim, a descarga de fundo é utilizada em manobras programadas em situações normais de operação, ao contrário do descarregador de cheias que apenas é utilizado em manobras de segurança.

De acordo com o Caderno de Encargos, esta tem capacidade máxima de vazão de 200 m<sup>3</sup>/s e o seu circuito hidráulico, de 26 metros, atravessa o corpo da barragem.

Na Figura 18 apresenta-se o perfil longitudinal da descarga de fundo do AHFT.

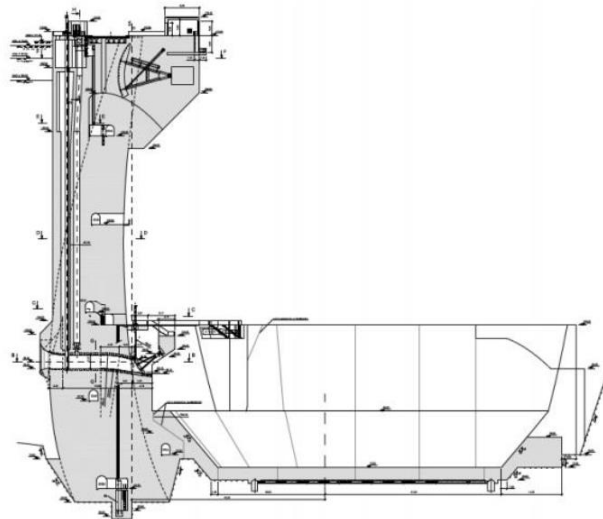


Figura 18 – Perfil longitudinal da descarga de fundo (Carvalho, 2013)

### ***Dispositivo de caudal ecológico***

O dispositivo de caudal ecológico tem como função minimizar as alterações negativas nos ecossistemas a jusante da barragem ao nível do regime natural de caudais. Assim, este dispositivo garante, na medida do possível, um regime de caudais que procura recriar o comportamento do rio antes da construção da barragem.

De acordo com o Caderno de Encargos, está projetado de modo a ser possível libertar caudais compreendidos entre 0,5 e os 10 m<sup>3</sup>/s. Este é, genericamente, constituído por uma conduta metálica com secção transversal circular com 1,3 metros de diâmetro equipada com duas válvulas.

Na Figura 19 apresenta-se o perfil longitudinal do dispositivo do caudal ecológico do AHFT.

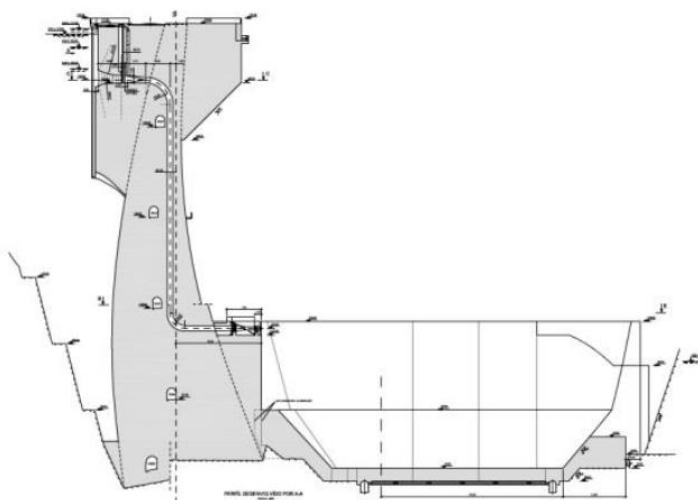


Figura 19 – Perfil longitudinal do dispositivo de caudal ecológico (Carvalho, 2013)

### 3.1.2 Circuito Hidráulico

O circuito hidráulico foi implantado na margem direita do rio Tua, próximo da confluência com o rio Douro, tirando partido da configuração topográfica favorável do vale do rio Tua na zona, ficando totalmente independente e afastado das obras da barragem e bacia de dissipação do descarregador de cheias.

O AHFT integra dois circuitos hidráulicos subterrâneos, independentes e paralelos, alimentando cada um dos grupos. Na Figura 20 pode-se verificar que o circuito hidráulico é constituído, de montante para jusante, pelas seguintes estruturas:

- Tomada de água, com o respetivo bocal de entrada, torre e poço de comportas, troços de transição/ligação e passadiços de acesso;
- Túnel de adução, com secção circular corrente revestida a betão armado e com inclinação constante, possuindo um troço blindado com menor inclinação, que antecede a ligação à turbina;

- Estrutura de restituição, que integra o tubo de aspiração da turbina, um túnel de pequeno desenvolvimento, uma torre e poço de comportas e o bocal de saída.

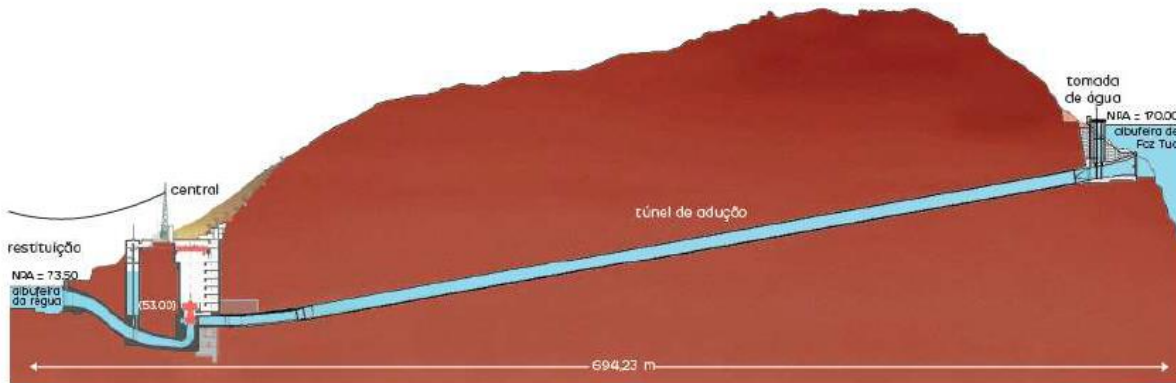


Figura 20 – Perfil longitudinal do circuito hidráulico (Vallejo, 2015)

A extensão total, incluindo a tomada de água, a restituição e o trecho que abrange a central, é de cerca de 695 metros para o Circuito Hidráulico 1 (do lado do rio) e aproximadamente de 770 metros para o Circuito Hidráulico 2 (do lado da encosta) (Figura 21).



Figura 21 – Obra subterrânea (Vallejo, 2015)

Sendo o aproveitamento reversível, a restituição funcionará como tomada de água em bombagem e a tomada de água funcionará como estrutura de entrega dos caudais na albufeira

de Foz Tua, invertendo-se o sentido de escoamento e portanto as designações de montante e de jusante.

### ***Tomada de água***

A tomada de água situa-se na margem direita da albufeira de Foz Tua, a cerca de 100 metros a montante do encontro direito da barragem, sendo constituída por duas estruturas iguais em torre, independentes, alimentando cada um dos grupos.

Cada estrutura de tomada de água compreende o respetivo bocal de entrada, torre e poço de comportas e troço de transição para o túnel de adução. A estrutura apresenta uma altura máxima de 40,3 metros acima da cota de fundação. Cada bocal da tomada de água é inserido na encosta da margem direita e tem um alinhamento retilíneo em planta. Tem um comprimento de cerca de 22,0 metros, tendo a soleira uma inclinação gradualmente crescente para a inclinação aproximada de ambos os túneis de adução. Ao bocal, segue-se a zona da fundação da torre, onde se encontram as comportas, e a zona de transição entre a secção retangular das comportas e a secção circular do túnel de adução.

### ***Túneis de adução***

Os túneis de adução em pressão, um por cada circuito hidráulico, atravessam o maciço rochoso que constitui o encontro direito da barragem, desenvolvendo-se com traçados paralelos entre si, afastados de 25 metros (entre eixos) exceto junto à central em que o afastamento entre grupos é de 38 metros (entre eixos), e segundo um alinhamento aproximadamente retilíneo e

orientado segundo o rio. O traçado em perfil é aproximadamente retilíneo com variações suaves de inclinação.

No Quadro 6 apresentam-se as características técnicas dos túneis de adução.

*Quadro 6 – Características técnicas dos Túneis de adução (EDP, 2010)*

<b>Túneis de adução</b>	
<b>Tipo – dois circuitos subterrâneos na margem direita</b>	
<b>Cota da soleira de entrada</b>	(140,5)
<b>Extensão (G1/G2)</b>	
Troços não blindados	498/552 m
Troços blindados	65,8/69,5 m
<b>Diâmetro interior</b>	
Troços não blindados	7,5 m
Troços blindados	5,5 m

### ***Restituição***

A restituição dos caudais turbinados é realizada numa zona de montante da albufeira da Régua, ficando implantada cerca de 500 metros a jusante da barragem e 600 metros a montante da confluência com o rio Douro, imediatamente a montante da ponte rodoviária existente e após um troço de rio com margens muito íngremes, que se pretendeu preservar.

A obra da restituição é constituída por duas estruturas semelhantes e independentes, cada uma integrando um curto túnel e um poço/torre, que recebem e restituem no rio Tua os caudais turbinados por cada um dos grupos.

Cada estrutura de restituição compreende um curto túnel escavado no maciço do lado da margem direita, poço/torre da comporta e bocal de saída para o rio Tua, que tem origem no final do tubo de aspiração da turbina-bomba. Ao tubo de aspiração de cada grupo segue-se um

túnel de restituição de secção retangular, variável em largura e altura, revestido a betão armado, que faz a transição para o bocal da estrutura da restituição.

No leito do rio Tua, a jusante da restituição e até à confluência com o rio Douro, está a ser escavado um canal, o qual garantirá adequadas condições de escoamento dos caudais turbinados e de admissão dos caudais a bombear.

No Quadro 7 apresentam-se as características técnicas dos túneis da restituição.

*Quadro 7 – Características técnicas dos túneis da Restituição (EDP, 2010)*

<b>Túneis de Restituição</b>	
<b>Tipo – dois circuitos subterrâneos na margem direita</b>	
<b>Cota da soleira de saída</b>	(62,0)
<b>Extensão (G1/G2)</b>	83/103 m

### 3.1.3 Canal a jusante

O talvegue do canal que materializa a intervenção no leito do rio Tua, a jusante da restituição do AHFT, desenvolve-se ao longo de aproximadamente 600 metros, tendo-se adotado larguras de 54 metros no trecho de perfil corrente do canal.

Na zona da restituição o canal será aprofundado (Figura 22) sendo realizada uma rampa de transição entre cotas a jusante da restituição e uma rampa de transição com o talvegue natural (linha verde da Figura 22) do rio Tua a montante da restituição.

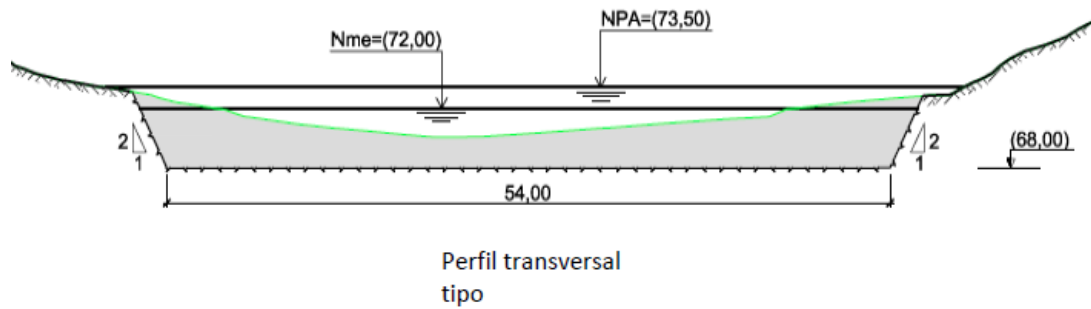


Figura 22 – Perfil transversal tipo da escavação do canal de jusante (EDP, 2010)

A largura do talvegue do canal será também ajustada na zona da restituição, quer devido à presença dessa estrutura, quer devido ao declive natural das margens do rio Tua. Junto à confluência do rio Tua com o rio Douro o talvegue alarga gradualmente, permitindo não só uma transição suave para o rio Douro como também a passagem na zona dos pilares da ponte ferroviária aí existente, mantendo uma área de escoamento conveniente.

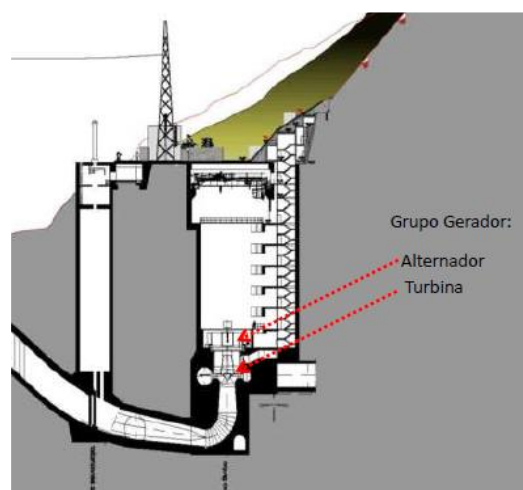
Em conjugação com os trabalhos de escavação do canal, será realizado um tratamento específico das fundações dos pilares da ponte ferroviária, com a finalidade de garantir as adequadas condições de funcionalidade e segurança da ponte durante o desenvolvimento das obras do canal e durante a fase de exploração da central hidroelétrica. Estes trabalhos específicos de tratamento de fundações dos pilares serão realizados através da empreitada específica, denominada de Empreitada Geral de Construção, prevendo-se a sua realização nas estiagens (Figura 23).



*Figura 23 – Ponte ferroviária*

### 3.1.4 Central e Subestação

A central hidroelétrica (Figura 24) é o órgão de exploração onde se encontram os grupos geradores, constituídos por alternador-motor e turbina-bomba, instalados em dois poços subterrâneos independentes. Estes são cobertos por um edifício onde é realizada a descarga, montagem e movimentação dos equipamentos e ainda onde serão as instalações do centro de comando da central.



*Figura 24 – Central e subestação (Vallejo,2015)*

A zona de implantação da central localiza-se na região do Alto Douro Vinhateiro, sendo este Património Mundial da UNESCO. Devido a esta localização, foi necessário realizar a alteração do projeto. Sendo assim, recorreu-se ao arquiteto português de renome internacional, Eduardo Souto Moura, que optou por enterrar os edifícios reduzindo assim o impacto visual. Assim, ficarão apenas visíveis os transformadores e o painel de saída de linha. No talude posterior à plataforma será realizada uma reconstrução paisagista com árvores de oliveira.

Na Figura 25 é possível verificar as diferenças na alteração do projeto, sendo a imagem da esquerda a representação do projeto antigo e a imagem da direita o projeto do Arquiteto Souto Moura.



*Figura 25 – Alteração do projeto da central (Batista, 2012)*

Os grupos reversíveis que equiparão a central permitirão dois modos de funcionamento alternativos e em sentidos opostos (Figura 26) (Profico Ambiente, 2008):

- Modo de turbinamento – neste modo o AHFT produz energia elétrica com base no turbinamento da água do rio Tua armazenada na albufeira a criar pelo novo aproveitamento, sendo a água turbinada restituída ao rio Douro na albufeira da Régua;
- Modo de bombagem – neste modo a água do rio Douro é bombeada a partir da albufeira da Régua para a albufeira do novo aproveitamento, em horas de vazio do diagrama de cargas da rede elétrica (em que o custo de energia para bombagem é baixo), permitindo a reutilização posterior dos volumes bombados para produção de energia elétrica em modo de turbinamento durante períodos de ponta pelo diagrama de cargas (em que a energia produzida é fortemente valorizada).

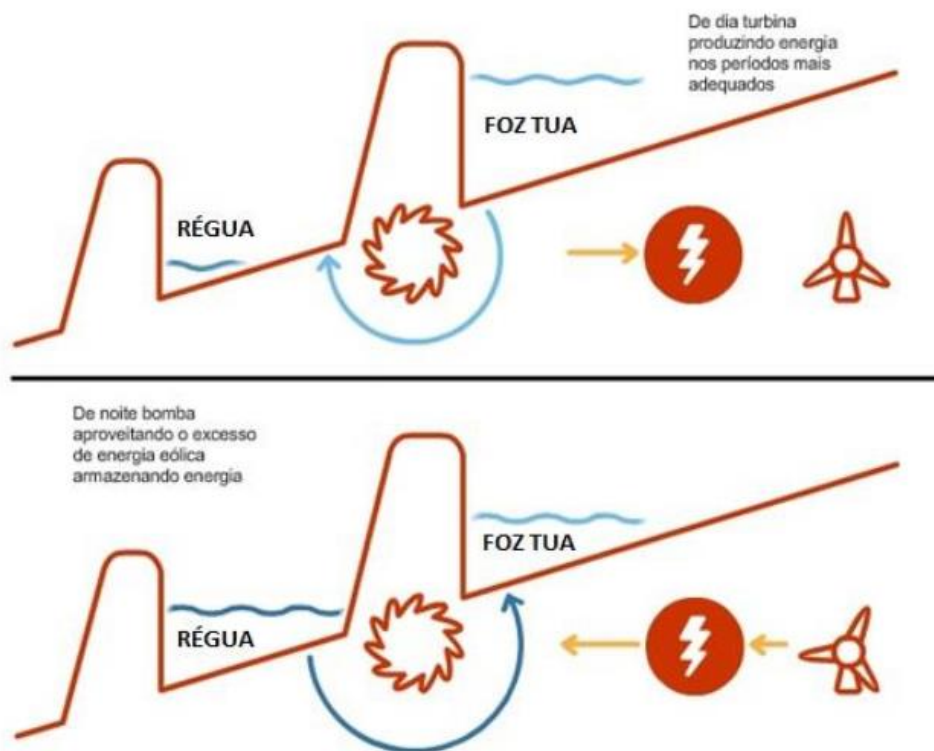


Figura 26 – Exemplo do princípio de funcionamento de uma central reversível (Martins, 2014)

A subestação é o órgão responsável pela entrega à rede da potência energética produzida pelos grupos de geradores no modo de turbinamento e ainda responsável pela receção de energia eólica para alimentar as bombas dos grupos geradores no modo de bombagem. Estas realizam-se por intermédio da linha de alta tensão de 400 kV situada entre a rede e subestação.



## 4 Acompanhamento da Construção da Barragem

### 4.1 Sistema de observação e monitorização

De acordo com o RSB, a construção e exploração das barragens podem, no entanto, envolver danos potenciais para as populações e bens materiais e ambientais na sua vizinhança, tornando-se, portanto, indispensável controlar a segurança destas obras, por intermédio de medidas adequadas de projeto, construção, exploração e observação e inspeção.

De acordo com o Caderno de Encargos, o plano de observação aplicado no AHFT teve em consideração todas as informações relativas ao projeto e as incidências dos processos construtivos desta obra, e foi elaborado de acordo com o estipulado no RSB (Decreto-Lei n.º 344/2007 de 15 de Outubro) e nas Normas de Observação e de Inspeção de Barragens (NOIB, Portaria n.º 847/93, de 10 de Setembro).

O sistema de observação aplicado permite:

- Interpretar o comportamento das obras nas diferentes fases da sua vida com base em resultados de observação e em modelos, para que seja possível prever o seu comportamento futuro e aferir os métodos de cálculo e as hipóteses de projeto;
- Avaliar as condições de segurança das estruturas durante a construção, primeiro enchimento e exploração;
- Contribuir para melhorar os próprios critérios e técnicas utilizadas no controlo de segurança deste tipo de obras.

O plano de observação contempla a observação das ações, das propriedades dos materiais e da resposta estrutural. Assim, serão observadas as ações da água, as ações térmicas e as ações dinâmicas. Os materiais estruturais – betão e maciço de fundação – serão alvo de caracterização

que permita o conhecimento, quer das suas propriedades iniciais quer da evolução no tempo dessas propriedades. Para a observação da resposta estrutural prevê-se a medição de deslocamentos por métodos geodésicos, fios-de-prumo e extensómetros de varas, de deslocamentos relativos em juntas por meio de medidores de juntas e de bases tridimensionais, a medição de deformações por grupos de extensómetros, e a medição de caudais drenados e infiltrados.

A barragem do AHFT está dotada de 5 galerias de visita GV1 a GV5 e da galeria geral de drenagem, que acompanha o contacto com a fundação na adjacência do paramento de montante, situando-se na zona central da abóbada. Nesta zona desenvolve-se também a galeria de drenagem de jusante, inserida no maciço de betão contíguo à bacia de dissipação. Nestas poderão ser realizadas as leituras da instrumentação colocada no âmbito do plano de observação.

### 4.1.1 Instrumentação embebida

A instrumentação embebida permite obter valores de deslocamentos relativos, extensões e temperaturas no betão da barragem. Para tal, são embebidos extensómetros de resistência, termómetros de resistência, tensómetros de resistência e medidores de movimentos de junta durante a betonagem dos blocos da barragem.

Nas Galerias de Visita (GV) é possível realizar as leituras da instrumentação embebida com recurso a uma unidade de leitura manual do tipo *Carlson*. A unidade de leitura permite a transformação de variações de grandezas elétricas em grandezas mecânicas e térmicas nomeadamente deslocamentos relativos, extensões e temperaturas.

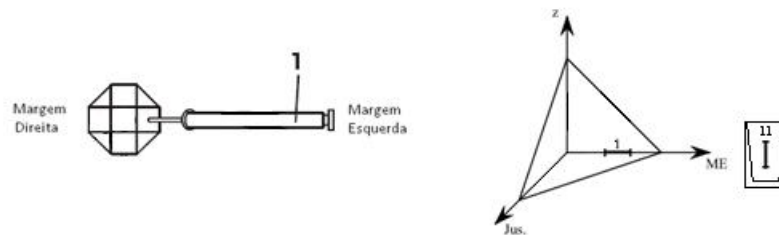
***Extensómetros de resistência***

As deformações mais significativas que se preveem que a abóbada venha a sofrer verificam-se na zona do coroamento, no paramento de jusante e ainda junto à fundação. Para o controlo das mesmas são instaladas extensómetros de resistência ao longo do arco do coroamento e na vizinhança da fundação. A instalação de extensómetros de resistência permitem medir a deformação na barragem e a deteção de variações de volume do betão.

Associado a cada grupo de extensómetros de resistência existe sempre um extensómetro de resistência colocado num balde corretor. Este permite registar a evolução ao longo do tempo das variações autógenas do betão, uma vez que está liberto das tensões instaladas nas zonas envolventes.

Existem 3 tipos de grupos instalados:

- Grupo unidirecional (Figura 27) constituído por um extensómetro horizontal e um corretor, situados a 1 metro do paramento;



*Figura 27 – Grupo unidirecional (Mota-Engil e Tecnosol, 2014)*

- Grupo plano (Figura 28), situado a 1 metro do paramento, constituído por cinco extensómetros e um corretor;

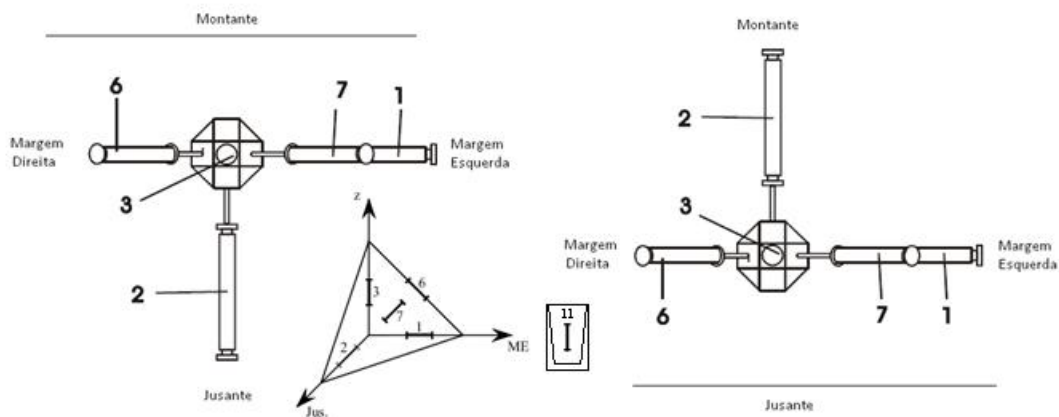


Figura 28 – Grupo plano (Mota-Engil e Tecnosol, 2014)

- Grupos tridimensional (Figura 29), a instalar junto ao contacto com a fundação e a meio da espessura da abóbada, é constituído por nove extensómetros e um corretor.

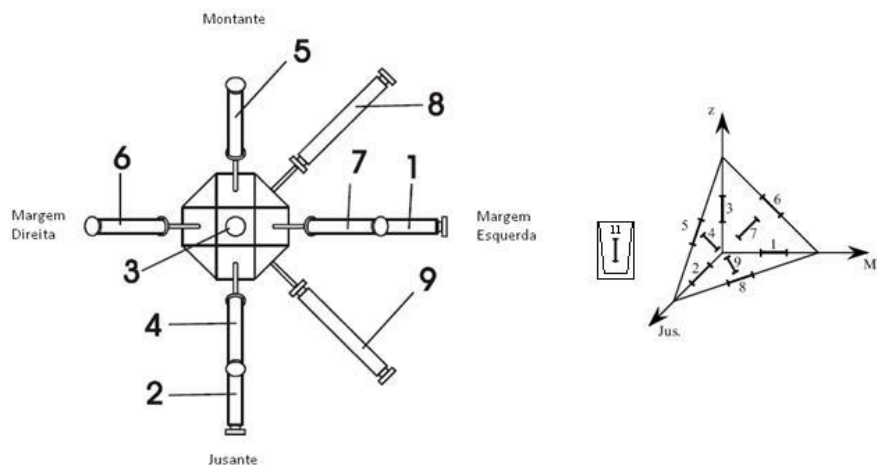


Figura 29 – Grupo tridimensional (Mota-Engil e Tecnosol, 2014)

Por norma os grupos unidireccionais são colocados perto do coroamento, paralelos aos paramentos e às cotas previstas no projeto de instrumentação. Já os grupos planos, são colocados no eixo dos blocos, junto dos paramentos e às cotas previstas no projeto de

instrumentação. Por fim, os grupos tridimensionais, são normalmente instalados no eixo do bloco e equidistantes dos paramentos, às cotas indicadas no projeto de instrumentação.

### ***Termómetros de resistência***

Uma vez que existe uma grande preocupação com a temperatura do betão durante a libertação do calor de hidratação, existe a necessidade de conhecer os valores atingidos. Para tal, são embebidos termómetros de resistência no betão. Deste modo, há a possibilidade de determinar e controlar a temperatura do betão durante a libertação do calor de hidratação, ativando a refrigeração artificial quando necessário.

Por norma, os termómetros localizam-se no interior do bloco, nos paramentos. Os termómetros localizados nos paramentos podem-se encontrar no interior do bloco a cerca de 0,10 metros do paramento ou ainda em contacto com a água, denominados como termómetros de água. Estes localizam-se no paramento de montante e permitem obter a temperatura da água da albufeira.

### ***Tensómetros de resistência***

De modo a obter as tensões totais são instaladas tensómetros de resistência (CT), cujas posições permitam a medição de tensões horizontais, tensões verticais e tensões normais ao contacto com a fundação. Estas podem ser instaladas num plano horizontal com o objetivo de medir as tensões verticais, num plano inclinado com o objetivo de medir as tensões normais ao contacto com a fundação e ainda num plano vertical ou sub-vertical com o objetivo de medir as tensões horizontais.

### ***Medidores de movimentos de junta***

Os medidores de movimentos de junta (MJ) são equipamentos especialmente vocacionados para controlar os movimentos de abertura e fecho das juntas de contração entre blocos adjacentes que se verifiquem durante a construção, em particular durante a injeção das juntas de contração, primeiro enchimento e período de exploração.

#### 4.1.2 Instrumentação não embebida

A instrumentação não embebida, contrariamente à instrumentação embebida, não é envolvida no betão aquando da betonagem da estrutura. Neste tipo de instrumentação englobam-se os fios-de-prumo, os extensómetros de varas de fundação, as bases tridimensionais e os piezómetros. Estes são colocados após a cura do betão nas GV da Barragem. É necessário proceder à furação da estrutura e por vezes proceder à impermeabilização desse mesmo furo.

#### ***Fios-de-prumo***

Serão instalados cinco fios-de-prumo invertidos localizados nos blocos E6-E7, E3-E4, D1-E1, D3-D4 e D6-D7 e um fio-de-prumo direito no bloco central para medição do deslocamento dos pilares do descarregador.

Os fios-de-prumo materializam uma vertical que passa pelo ponto de suspensão do fio (fios-de-prumo direitos) ou pelo ponto de amarração da ancoragem fios-de-prumo invertidos). Os fios-de-prumo direitos são, no essencial, constituídos por um fio de aço inoxidável de alta resistência, suspenso de uma peça metálica solidarizada à estrutura cujos deslocamentos se pretendem medir. O fio é submetido a uma tensão de tração, de modo a metê-lo esticado, mediante a suspensão, na sua extremidade inferior, de um peso. O seu princípio de funcionamento é análogo

ao do chamado fio-de-prumo de pedreiro. Os fios-de-prumo invertidos são, no essencial, constituídos por um fio de aço com as características atrás indicadas para os fios-de-prumo direitos, cuja extremidade inferior está fixa a uma peça metálica ancorada num ponto da fundação, em princípio, liberto do campo de tensões transmitidos pela barragem à fundação e, por conseguinte, que se mantém ao longo do tempo fixo, e cuja extremidade superior está fixa a um flutuador imerso num balde com água. A impulsão exercida no flutuador submete o fio a uma tensão de tração. A posição de equilíbrio do fio corresponde à vertical que passa pelo ponto de ancoragem na fundação. A passagem dos fios-de-prumo através do corpo da barragem faz-se por furos ou por tubos com condições de verticalidade tais que, independentemente dos movimentos da barragem devidos às variações das condições de solicitação, os fios definam sempre, sem constrangimentos resultantes de contactos com as paredes dos furos ou dos tubos, a mesma vertical. (Quintela *et al*, 2001)

O processo de instalação dos fios-de-prumo compreende as seguintes fases:

- Furação;
- Verificação da verticalidade;

A verificação da verticalidade é realizada através da simulação de um fio-de-prumo numa tina de água.

- Ensaio *Lugeon* e injeções de impermeabilização;

O ensaio de absorção de água, ou seja o ensaio de *Lugeon*, consiste na injeção radial de água sob pressão num troço do furo, limitado por um obturador, onde é medida a quantidade de água absorvida pelo maciço rochoso num determinado período de tempo. Este permite avaliar as condições de permeabilidade e regimes de escoamento do maciço.

O ensaio é realizado a cada troço de 5 metros recorrendo a três patamares de pressão estabilizada de 5 bar, 10 bar e 5 bar com duração de 10 minutos, registando-se minuto

a minuto o caudal absorvido. Caso o maciço absorva água equivalente a 2 unidades de *Lugeon* num dos patamares de ensaio é necessário proceder à impermeabilização do maciço ou tratá-lo de modo a obter melhores características mecânicas. No caso de ser necessário proceder à injeção, o troço é injetado com calda de cimento com pressão. Posteriormente à cura da calda de cimento, realiza-se uma reperfuração do furo e realiza-se um novo ensaio de *Lugeon* e repete-se o processo até se considerar o furo impermeável.

A unidade de *Lugeon* é definida como sendo o caudal de 1 litro por minuto e por metro de furo injetado num ensaio realizado à pressão de 10 bar e com a duração de 10 minutos.

- Instalação do revestimento;
- Instalação do fio-de-prumo.

### ***Extensómetros de varas de fundação***

Os extensómetros de varas de fundação (Figura 30) são constituídos por fios ou varões metálicos (ou ainda por cabos em fibra de vidro), instalados em furos de sondagem executados na fundação, ancorados a diferentes profundidades. Como os fios, varões ou cabos se podem mover no interior dos furos, em função do movimento experimentado pela ancoragem, as leituras, mediante defletómetros de precisão (ou efetuados automaticamente por dispositivos apropriados), consistem na medição da distância, na direção do furo, a extremidade superior do fio ou da vara a uma referência fixa à estrutura. Obtêm-se assim deslocamentos relativos entre os pontos das ancoragens e a referência fixa à estrutura. Quando a ancoragem mais profunda estiver colocada numa zona liberta do campo de tensões transmitido pela barragem à fundação, podem calcular-se, para além dos deslocamentos relativos e das extensões entre

ancoragens, os deslocamentos absolutos dos pontos de ancoragem e do ponto localizado à superfície, na direção do furo. A sua colocação durante a construção permite medir os deslocamentos induzidos na fundação pela instalação do peso próprio da estrutura, elementos importantes para a caracterização das propriedades dos maciços. (Quintela *et al*, 2001)



*Figura 30 – Extensómetro de varas de fundação*

O extensómetro de varas de fundação tem como objetivo a medição dos movimentos relativos entre a estrutura da barragem e o maciço de fundação, tanto durante a execução da barragem como durante a exploração da mesma. Este pode ser simples ou duplo, sendo constituído por uma ou duas ancoragens, respetivamente.

O processo de instalação dos extensómetros de fundação compreende as seguintes fases:

- Furação;

A furação para a instalação de extensómetros de varas de fundação é efetuada à rotação com recolha de amostra de diâmetro de 86 milímetros. O maciço é cortado por ação do movimento de rotação imprimido à coroa diamantada acoplada à base do tubo duplo amostrador, a barrena, que está ligada ao trem de varas. O movimento de rotação e a pressão exercida na coroa, arrefecida pela água injetada em contínuo, provocam o

avanço da furação e a entrada do terreno rochoso para o interior da barrena. O terreno rochoso é extraído, trazendo a ferramenta de furação à superfície cada vez que o avanço da furação atinge o comprimento da barrena.

- Ensaios *Lugeon* e injeções de impermeabilização;

Tal como abordado anteriormente nos fios-de-prumo.

- Instalação de extensómetros de varas;
- Ensaios de tração;
- Proteção das cabeças dos extensómetros.

### ***Bases tridimensionais***

A base tridimensional tem o objetivo de medir os movimentos das juntas da estrutura da barragem segundo três eixos ortogonais (Figura 31) sendo que L1 mede o deslizamento vertical entre os dois blocos, L2 mede o deslizamento horizontal entre os blocos e L3 a abertura/fecho da junta. Assim enriquecem a informação fornecida pelos MJ,

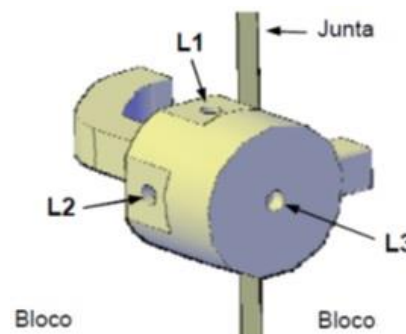


Figura 31 – BT (Mota-Engil e Tecnosol, 2014)

complementando-a com a medição dos deslizamentos entre blocos.

Esta é fixa, em cada junta nos hasteais das GV com o auxílio de uma cércea (Figura 32). A cércea garante um posicionamento correto e exato dos eixos de leitura e ainda, que no momento de instalação, o campo de leitura da abertura/fecho possa ser ajustado em função dos movimentos esperados.

Na Figura 33 pode-se verificar uma BT instalada sem a cércea colocada.



*Figura 32 – Instalação de uma BT*



*Figura 33 – BT instalada na barragem*

A medição manual dos movimentos é realizada com um defletómetro digital, sendo o mesmo apoiado sobre cada superfície da base tridimensional.

### ***Piezómetros***

A instalação de piezómetros tem como objetivo a medição de subpressões transmitidas pelas fundações e maciços rochosos às estruturas.

O processo de instalação dos piezómetros compreende as seguintes fases:

- Furação;  
Tal como abordado anteriormente no extensómetro de varas de fundação.
- Ensaios *Lugeon* e injeções de contenção;  
Tal como referido atrás nos fios-de-prumo.
- Instalação dos piezómetros, incluindo o transdutor.

## 4.2 Betão – Materiais e Composições

De acordo com o Caderno de Encargos, o estudo, fabrico, colocação em obra e controlo dos betões que fazem parte deste projeto obedecem às disposições regulamentares aplicáveis nomeadamente a NP EN 206-1 de 2007 a NP EN 13670-1 de 2007 e a respetiva emenda (2008), em conformidade com o Decreto-Lei n.º 301/2007 de 23 de Agosto, pelo que a classe de inspeção da obra de execução do AHFT prevista na norma NP EN 13670-1 será a classe 3, sendo por isso prevista a certificação da produção do betão em obra assim como a instalação em obra de um laboratório acreditado conforme se prescreve no n.º 2 do artigo 5 do referido Decreto-Lei. Em sequência do enquadramento do tipo de obra e importância do ponto de vista de engenharia, o projetista assume que as estruturas de betão sejam consideradas para vida útil de 100 anos, ou seja correspondentes à categoria 5 conforme especificado no Documento Nacional de Aplicação 5.3.1 da norma NP EN 206-1.

### 4.2.1 Receção de materiais

Depois de vários estudos e caracterização geológica e geotécnica, optou-se por localizar a pedreira, bem como a central de produção de agregados para o betão, em Vila Flor. O desmonte do material da pedreira é realizado através de pegas de fogo com recurso a explosivos. Após o controlo *in situ*, o material é encaminhado para a central de britagem onde é transformado em agregado para fabrico de betão.

O material britado é transportado por camiões para o estaleiro do AHFT, onde é lavado, de modo a serem libertos de finos e outras impurezas prejudiciais para o fabrico de betão, e depositado nos respetivos silos. De modo a impedir que, por algum erro de produção ou de transporte, sejam armazenados agregados de uma determinada dimensão que não corresponda

ao silo, as plataformas de descarga dos agregados são dotadas de uma estrutura tipo peneiro que faz o controle da dimensão do agregado.

No betão aplicado no AHFT são utilizadas cinzas volantes de Compostilha e cinzas volantes de Sines. O seu armazenamento é feito em silos diferentes (Figura 34) de modo o não existir contaminação entre ambos e em caso de ocorrer algum problema com o betão, saber se algumas destas teve influência.

Para todos os materiais e produtos rececionados em obra é da responsabilidade do empreiteiro efetuar a verificação da guia de remessa e a conformidade dos mesmos. Sendo a fiscalização a responsável pela validação dos mesmos.

O ensilamento dos materiais é efetuado de modo a garantir a sua utilização por ordem cronológica de chegada à obra e ainda a evitar contaminações de humidade.



*Figura 34 - Silos*

#### 4.2.2 Central de betão

No estaleiro existem duas centrais de betão, sendo uma denominada de principal e a outra de secundária. Para a estrutura da barragem é apenas fabricado betão na central de betão principal (Figura 35). Esta localiza-se na margem direita do rio Tua, tendo uma capacidade de produção de 220 m<sup>3</sup>/h.



*Figura 35 – Central principal de betão*

A central principal de betão está equipada com uma sub-central para o fabrico de gelo em escamas. Utiliza-se gelo em escamas no fabrico de betão nos meses de maior temperatura de modo a garantir que, na fase de produção, este não ultrapasse os 25°C, como especificado no Caderno de Encargos.

Encontra-se ainda equipada com duas unidades de produção independentes, constituída cada uma delas por uma “misturadora tipo tambor com abertura em duas semi-esferas”. O funcionamento da central é automatizado, estando esta dotada de um controlo informático (Figura 36) que coordena todos os ciclos de produção e regista todas as produções de betão realizadas.



Figura 36 – Software utilizado no processo de fabrico de betão

Assim que há autorização para iniciar uma betonagem, o encarregado fornece essa indicação à central de betão de modo a iniciar-se a produção. É iniciado o processo de fabrico automatizado, sendo os inertes pesados na quantidade necessária para a composição de betão a fabricar e transportados através do tapete pesador instalado até à misturadora. São introduzidos os ligantes necessários para a produção do betão, adjuvantes caso esteja definido na composição de betão a fabricar e água de amassadura ou gelo em escamas e produz-se uma mistura homogénea. A misturadora do AHFT tem capacidade para produzir duas amassadura de 4,3 m<sup>3</sup> ao mesmo tempo, tendo uma tolva de espera de 9m<sup>3</sup> para o *silobus* e ao lado outra tolva de 4,5m<sup>3</sup> para carregar uma autobetoneira (Figura 37). O *silobus* transporta o betão até ao cais de baldes (Figura 38) onde deposita o betão nos baldes a serem transportados pelo *blondin* de modo a betonar a estrutura da barragem e parte da bacia de dissipação. Na autobetoneira será transportado o betão para as restantes frentes de obra.



*Figura 37 – Silobus e autobetoneira*



*Figura 38 – Cais de baldes*

#### 4.2.3 Fabrico de betões

Para o fabrico de betões do AHFT, foram tidos em consideração estudos realizados bem como conhecimentos e avaliações de desempenho em obras similares anteriormente realizadas pela EDP. É de notar que num empreendimento desta dimensão, com estruturas diferenciadas e de necessidades funcionais e estruturais diferentes, há uma necessidade de produzir diferentes tipos/composições de betões com características específicas para cada caso e conseqüentemente diferentes constituintes. No entanto, no presente trabalho, apenas serão apresentadas as especificações do betão a ser aplicado na execução da estrutura da barragem.

De acordo com o Caderno de Encargos, a temperatura máxima admissível para o betão fresco, foi definida em função do tipo de estrutura a betonar, sendo que para as estruturas em geral aquele limite não ultrapassará os 25°C, tal como referido anteriormente.

#### *4.2.3.1 Constituintes*

O betão é um material composto por vários constituintes que devem ser estudados, bem como as suas dosagens, e criteriosamente escolhidos em função do desempenho pretendido para a estrutura.

De acordo com o Caderno de Encargos, as especificações dos diferentes constituintes dos betões, designadamente agregados, cimentos, cinzas volantes, água de amassadura e adjuvantes, serão elaboradas de acordo com as disposições aplicáveis no âmbito da normalização portuguesa referida no Quadro 8.

Quadro 8 – Referências normativas dos constituintes dos betões

Constituintes do betão	Referência normativa	
Agregados para betão	EN 12620: 2002 e A1: 2008	<i>Aggregates for concrete</i>
	LNEC E467:2006	Guia para a utilização de agregados em betões de ligantes hidráulicos
	LNEC E461:2004	Betões – Metodologias para prevenir reacções expansivas internas
Cimentos correntes	NP EN 197-1:2001	Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes
	NP EN 197-1:2001/A1:2005	
	NP EN 197-1:2001/A3: 2008	
Adições para betão	NP EN 197-1:2001	Cinzas volantes para betão. Parte I: Definição, especificações e critérios de conformidade.
	NP EN 450-2:2006	Cinzas volante para betão. Parte 2: Avaliação da conformidade.
	NP EN 13263-1: 2005 + A1:2009	Sílica de fumo para betão. Parte I: Definições, requisitos e critérios de conformidade.
	NP EN 13263-2: 2005 + A1:2009	Sílica de fumo para betão. Parte 2: Avaliação da conformidade.
Água de amassadura e/ou gelo	NP EN 1008:2003	Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão.
Adjuvantes	NP EN 934-1:2008	Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte I: Requisitos gerais.
	NP EN 934-2:2009	Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem.

***Agregados***

O betão de barragens é um betão em grandes massas, cujas exigências do ponto de vista da moldagem são pequenas, uma vez que a percentagem de zonas armadas é pouco significativa, sendo muito grandes os volumes a betonar e, conseqüentemente, por razões de economia e produtividade, o volume de cada amassadura. Em consequência, este betão foi desde sempre, e é, ainda hoje, fabricado com agregados cuja dimensão é apreciável, face aos usados em outro tipo de estruturas. Em regra, as curvas granulométricas estudadas incluem agregados com dimensão máxima de 150 milímetros. (Quintela *et al*, 2001)

Os agregados podem ser utilizados de forma a reduzir ao mínimo a percentagem de ligante na composição do betão, utilizando uma composição granulométrica extensa e com material britado de dimensões elevadas.

No Quadro 9 apresentam-se as classes de agregados utilizados no AHFT e a sua granulometria.

*Quadro 9 – Granulometria das classes de agregados*

<b>Designação</b>	<b>Granulometria [mm]</b>
Areia	0 – 4.75
Brita 1	4.75 – 9.5
Brita 2	9.5 – 19
Brita 3	19 – 37.5
Brita 4	37.5 – 75
Brita 5	75 – 150

De acordo com o Caderno de Encargos, apresentam-se no Quadro 10 a dimensão máxima do agregado no betão de cada elemento de obra.

*Quadro 10 – Dimensão máxima do agregado no betão de cada elemento*

<b>Dimensão máxima do agregado no betão</b>	<b>Elemento de obra</b>
150 mm	Núcleo dos blocos do corpo da barragem
75 mm	Paramento de montante e jusante dos blocos da barragem
	Núcleo das estruturas de suporte das comportas descarregadores de superfície
	Soleira do descarregador de superfície
37.5 mm	Núcleo dos elementos estruturais de espessura superior a 2,0 m na central
	Betão envolvente das armaduras nas secções espessas
19 mm	Elementos estruturais do coroamento da barragem, na central, nos circuitos hidráulicos nas tomadas de água e respetivas restituições
	Elementos estruturais de menor dimensão – paredes, pilares e vigas correntes
9.5 mm	Revestimento do circuito hidráulico
	Micro betão de selagem de peças fixas

### ***Ligante hidráulico***

O ligante é o constituinte do betão que permite, através da sua presa, a aglomeração dos agregados. Este é constituído no caso da presente obra, por uma mistura de cimento com cinzas volantes.

Optou-se pela utilização de cinzas volantes uma vez que estas conferem ao betão um conjunto de propriedades que melhoram o desempenho da estrutura na fase de exploração. A sua utilização diminui a quantidade de calor de hidratação gerada na reação térmica do endurecimento do betão, como se pode verificar na Figura 39, aumenta a durabilidade e

impermeabilidade do betão e reduz ainda os fenómenos de lixiviação, processo de dissolução e transporte de cal hidratada devido ao contacto do betão com água do rio. O controlo da quantidade de calor de hidratação é bastante importante, uma vez que esta pode provocar o aparecimento de fissuras, ainda em fase de endurecimento do betão, comprometendo a impermeabilidade da estrutura da barragem bem como a sua segurança estrutural. Para tentar reduzir ao máximo este fenómeno, introduz-se no processo de fabrico do betão uma menor quantidade de cimento, pois é o principal responsável pela produção de calor, compensando com cinzas volantes.

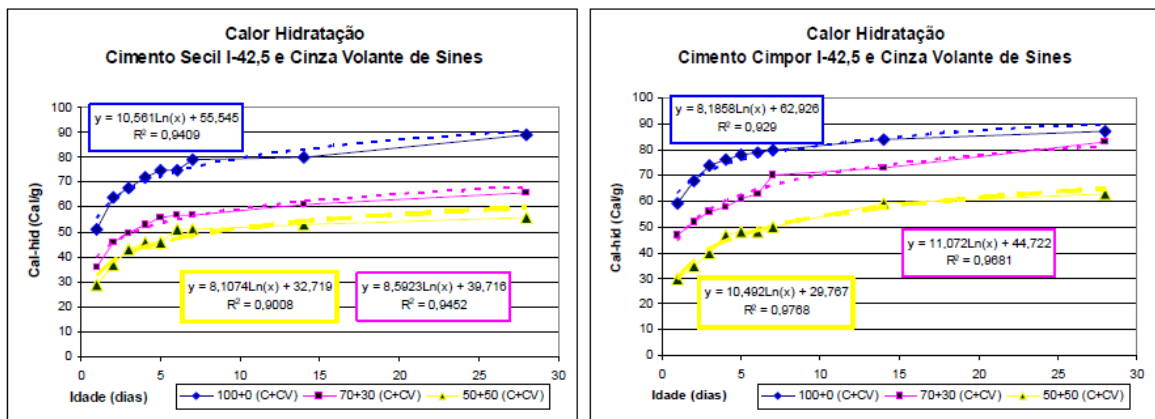


Figura 39 – Calor de hidratação de misturas de cinza volante e cimento Secil e Cimpor, respetivamente (EDP, 2010)

No AHFT são utilizadas cinzas volantes de Compostilha e cinzas volantes de Sines. O seu armazenamento é feito em silos diferentes de modo o não existir contaminação entre ambos e em caso de ocorrer algum problema com o betão saber se algumas destas teve influência, tal como referido anteriormente em 4.2.1.

### *Adjuvantes*

Os adjuvantes são adicionados ao betão na fase de amassadura com o intuito de conferir determinadas propriedades/características. Hoje em dia existem adjuvantes para diversos fins. De acordo com o Caderno de Encargos, para betões de consistência seca é habitual utilizar-se um adjuvante redutos de água e plastificante, enquanto que para consistências plásticas ou fluidas se recorre por norma a super-plastificantes/fluidificantes, associados normalmente aos betões de menor diâmetro máximo de agregado e conseqüentemente com um teor em finos mais elevado que os betões de consistência seca, dando o risco de segregação daqueles enquanto se utilizam estes adjuvantes.

### *Água de amassadura*

Após análises efetuadas à água do rio Tua obtiveram-se valores aceitáveis e dentro dos limites normativos, ficando assim comprovada a aptidão desta para utilização no fabrico de betão. Assim, a água de amassadura para fabrico de betão é captada, à superfície do rio Tua, por bombagem e armazenada, após decantação, em depósitos próprios localizados na central de betão. De acordo com o estabelecido no Caderno de Encargos, os depósitos são constituídos e revestidos por materiais que não contribuam nos períodos de Verão para o aumento das temperaturas da água devido à insolação.

Em situações em que as temperaturas sejam muito elevadas, é necessário substituir parte do volume de água de amassadura por gelo em escamas.

#### *4.2.3.2 Tipos/composições de betões*

As composições de betão a aplicar na obra são definidas pelo Dono de Obra (DO), sendo portanto de composição prescrita. Para tal foram tidos em consideração estudos realizados em função do desempenho pretendido para o betão bem como conhecimentos e avaliações de desempenho em obras similares anteriormente realizadas pela EDP, tal como referido anteriormente. Com base nessa informação e em ensaios realizados foram estabelecidas as composições ideais. O DO fornece as informações das suas composições ao empreiteiro que é responsável pela sua produção, tendo a fiscalização de verificar a conformidade do betão produzido.

No presente trabalho, apenas serão apresentadas as especificações do betão a ser aplicado na execução da estrutura da barragem.

Na estrutura da barragem são utilizados vários tipos de betões devido às diferentes exigências de desempenho em cada zona. Deste modo torna-se necessário utilizar diferentes tipos/composições a utilizar na mesma estrutura.

No Quadro 11 apresentam-se os diferentes tipos de betões a aplicar na estrutura da barragem.

*Quadro 11 – Tipos de betões a aplicar na barragem*

<b>Tipo</b>	<b>Zona a aplicar</b>
<b>1</b>	Núcleo da barragem
<b>2</b>	Paramento da barragem (mínimo 1,50 metros)
<b>4.1</b>	Fundação e blocagem (mínimo 1 metro)
<b>4.2</b>	Fundação e blocagem zona armada
<b>7.1</b>	Revestimento das galerias (espessura de 1,50 metros)
<b>9.2</b>	Pilares do descarregador de cheias

Uma vez que os paramentos e a fundação da barragem estarão mais expostos ao contacto com a água, é necessário garantir um elevado índice de impermeabilidade nestas zonas. Para tal utilizam-se um conjunto de agregados com granulometria extensa e com elevada quantidade de finos com o objetivo de preencher de forma eficaz os vazios existentes.

No revestimento das galerias de visita, nas secções dos descarregadores (de cheias e descarga de fundo) e elementos estruturais, o betão passa a ser armado e com classe de resistência superior devido ao aumento significativo da quantidade de ligante utilizado na sua composição. São utilizados agregados de menor dimensão comparativamente ao betão utilizado no núcleo e paramento da barragem. Assim é garantida uma aderência mais eficaz entre o betão e a armadura.

Na Figura 40 apresentam-se dois desenhos de preparação de betonagem que apresentam os diferentes tipos de betões a utilizar nos blocos da barragem.

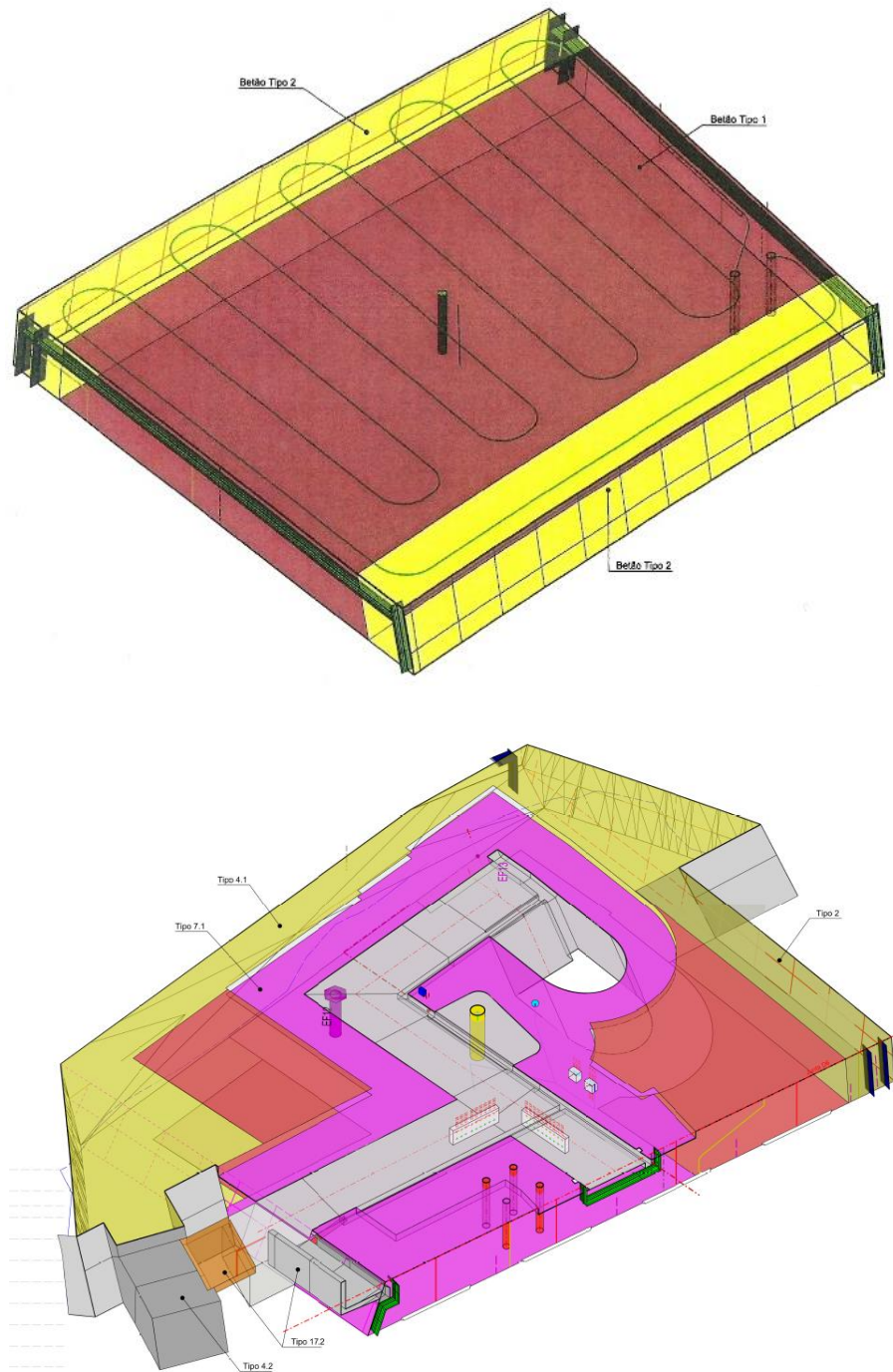


Figura 40 – Tipos de betões a utilizar em blocos da barragem (Barragem de Foz Tua ACE, 2013)

No Quadro 12 apresentam-se as características dos diferentes tipos de betões. Pode-se verificar as diferenças na classe de resistência exigida, o diâmetro máximo do agregado aplicado e o SLUMP de cada um dos betões.

*Quadro 12 – Características gerais dos diferentes tipos de betão aplicados na barragem*

<b>Tipo</b>	<b>Classe de resistência [MPa]</b>	<b>Idade de definição a classe de resistência</b>	<b>Diâmetro max do agregado [mm]</b>	<b>SLUMP (classe de abaixamento)</b>	<b>Relação A/L (máxima)</b>
<b>1</b>	C 25/30	90 dias	150	S1	0,47
<b>2</b>	C 25/30	90 dias	75	S1	0,45
<b>4.1</b>	C25/30	90 dias	75	S1	0,45
<b>4.2</b>	C 20/25	90 dias	37,5	S3	0,42
<b>7.1</b>	C 25/30	90 dias	37,5	S3	0,42
<b>9.2</b>	C 30/37	90 dias	19	S3/S4	0,39

A classificação é feita de acordo com a dimensão máxima, dosagem de ligante, percentagem de cinzas volantes, tipo de betão e ainda a versão da composição. A referência da composição é composta por 9 dígitos. O primeiro dígito expressa qual a dimensão máxima do agregado a utilizar, sendo que o 1 representa os 150 milímetros e assim sucessivamente até ao 6 que representa os 4,75 milímetros. Do segundo ao quarto dígito representa a dosagem de ligante em  $kg/m^3$ , o quinto e sexto dígitos representam a percentagem de cinzas volantes a utilizar, o

sétimo e oitavo representam o tipo de betão e por fim o nono dígito representa a versão da composição.

É de notar que uma vez que são utilizados 2 tipos de cinzas volantes, os diferentes tipos/composições de betão foram estudadas e doseadas tendo em consideração cada tipo de cinzas volantes. Assim, como se pode verificar no Quadro 13, existem duas composições para cada tipo de betão, variando as dosagens de ligantes.

*Quadro 13 – Composições / tipo de betões a utilizar na estrutura da barragem*

<b>Tipo</b>	<b>Composição</b>	<b>D max [mm]</b>	<b>Ligante [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>% CV</b>	<b>Tipo de CV</b>
<b>1</b>	1 200 50 01 0	150	200	50	Compostilha
<b>1</b>	1 230 43 01 0	150	230	43	Sines
<b>2</b>	2 240 50 02 0	75	240	50	Compostilha
<b>2</b>	2 260 46 02 0	75	260	46	Sines
<b>4.1</b>	2 240 50 04 0	75	240	50	Compostilha
<b>4.1</b>	2 260 46 04 0	75	260	46	Sines
<b>4.2</b>	3 350 55 04 0	38	350	55	Compostilha
<b>4.2</b>	3 375 52 04 0	38	375	52	Sines
<b>7.1</b>	3 400 50 07 0	38	400	50	Compostilha
<b>7.1</b>	3 375 52 07 0	38	375	52	Sines
<b>9.2</b>	4 400 50 09 0	19	400	50	Compostilha
<b>9.2</b>	4 430 50 09 0	19	430	50	Sines
<b>9.2</b>	4 450 49 09 0	19	450	49	Sines

*4.2.3.3 Controlo de qualidade do betão*

Para garantir que se realize o controlo da qualidade do betão foi elaborado um Plano de Inspeção e Ensaio (PIE) pelo Dono de Obra (DO), onde são indicados quais as inspeções/ensaios a realizar, finalidades, frequência e ainda o local da realização dos mesmos.

De modo a avaliar a conformidade e características dos materiais no fabrico de betão encontra-se instalado no estaleiro um laboratório com equipamentos específicos e pessoal qualificado para a realização dos ensaios definidos no PIE atrás referido.

A equipa da fiscalização é responsável pelo acompanhamento do processo de gestão da qualidade dos betões, desde a receção de matérias-primas até à monitorização dos ensaios definidos no PIE.

De acordo com o PIE são realizados ensaios de controlo ao betão fresco permitindo obter a temperatura, a massa volúmica, a consistência através do ensaio de abaixamento (SLUMP) e o teor em ar. É ainda realizada uma inspeção visual do betão de modo a verificar a homogeneidade, estado de segregação, exsudação e coesão da mistura. Estes são ensaios rápidos com o objetivo de verificar a conformidade do betão.

São recolhidos provetes de amostras que, posteriormente, são ensaiados no laboratório, de acordo com as especificações do PIE, de modo a determinar as restantes propriedades e características de desempenho do betão endurecido. São realizados ensaios de resistência à compressão, de resistência à tração indireta, de resistência à penetração de água sob pressão e ainda o módulo de elasticidade.

Poderão ainda ser realizados ensaios de permeabilidade ao oxigénio, absorção de água e capilaridade dependendo do tipo de betão produzido e dos requisitos de desempenho pretendidos em função do local de aplicação.

Os betões a aplicar nas secções em que a água tenha uma ação mais forte e onde sejam instalados aparelhos mecânicos e secções blindadas, por questões relacionadas com a oxidação do aço, devem satisfazer as especificações definidas nos critérios de aceitação referentes aos parâmetros de permeabilidade ao oxigénio, absorção de água e capilaridade.

No Anexo 1 apresenta-se o PIE de betões aplicado no AHFT.

### 4.3 Técnicas de construção da barragem

Para permitir a execução da estrutura da barragem, foi necessário proceder à construção de obras provisórias de desvio do leito normal do rio Tua, construindo-se uma galeria de derivação subterrânea (Figura 41) localizada na margem esquerda e ainda duas ensecadeiras, uma localizada a montante do local de implantação da estrutura e outra a jusante (Figura 42).



*Figura 41 – Evolução da construção da boca de entrada da derivação provisória*



*Figura 42 – Ensecadeira de jusante*

Como medida de segurança em caso de cheia, optou-se por manter dois orifícios provisórios (Figura 43) nos blocos D2-D3 e E2-E3 durante a construção da estrutura. Estes orifícios têm a forma de rolhão com secção transversal quadrada que converge para jusante. Para a obturação dos orifícios foram instalados negativos no corpo da barragem que viabilizam a betonagem da última camada a partir da GV4. Serão realizadas injeções que irão permitir o preenchimento dos vazios na interface entre os betões existentes e os da obturação, de modo a garantir o funcionamento eficaz em arco da barragem.



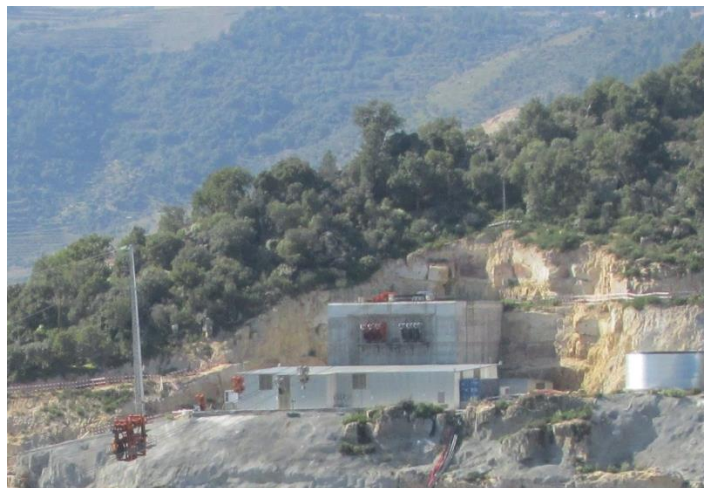
*Figura 43 – Orifícios provisórios da estrutura da barragem*

A estrutura da barragem é executada de forma tradicional com betão convencional aplicado em massa e compactado por vibração interna. Tendo em conta o volume necessário para a elaboração da estrutura da barragem e de modo a reduzir o tempo de transporte do betão optou-se pela utilização de *blondins* para a betonagem de estrutura da barragem e parte da bacia de dissipação.

O *blondin* é um meio de transporte onde o carro de suporte se movimenta ao longo de cabos esticados e amarrados em dois pontos opostos em cada margem do vale. Estes pontos podem ser ambos móveis, ambos fixos ou ainda um deles fixo e outro móvel, sendo este o caso de ambos os *blondins* no AHFT, ou seja do tipo radial.

Optou-se pela colocação de 2 *blondins* de modo a realizar a betonagem da estrutura da barragem com mais rapidez.

O ponto fixo (Figura 44) é constituído por um maciço de betão, devidamente dimensionado para suportar as cargas elevadas pelo carro de rolamento. Este localiza-se na margem direita do AHFT.



*Figura 44 – Ponto fixo do blondin*

## Capítulo 4

O ponto móvel localizado na margem esquerda do AHFT (Figura 45) é constituído por uma viga de betão radial (Figura 46) devidamente dimensionada para suportar as cargas elevadas pelo carro de rolamento. Na viga de betão radial é instalado um sistema de carris que possibilita que o ponto de fixação dos cabos se possa deslocar.



*Figura 45 – Ponto móvel do blondin*



*Figura 46 – Viga de betão radial*

O *blondin* não é apenas utilizado para a betonagem da estrutura da barragem e parte da bacia de dissipação, é ainda utilizado para a elevação de cofragem, transporte de materiais e equipamentos.

Cada *blondin* é controlado a partir de uma cabine por um manobrador e auxiliado por um sinaleiro que dá informações mais precisas sobre a manobra junto ao local da descarga ao manobrador via rádio.

Cada *blondin* tem um *software* de controlo (Figura 47) que permite que o manobrador tenha informações relativas à sua localização, velocidade, carga, etc.. O *blondin* é equipado de sensores que informam em que posição se localiza o balde e ainda que limita a velocidade quando se começa a aproximar de uma superfície.



Figura 47 – Software de controlo do *blondin*

A cabine de controlo encontra-se localizada de forma estratégica junto à central de betão principal de modo a facilitar o transporte do betão. Assim, existe um local específico para o carregamento do betão, denominado de cais de baldes (Figura 48) tal como referido anteriormente em 4.2.2.



Figura 48 – Localização do cais de baldes junto à cabine de controlo do *blondin*

### 4.3.1 Escavações

As escavações são uma das atividades iniciais da obra e sem estas não seria possível a realização da estrutura da barragem. Uma vez que a mesma ocorreu fora do período do estágio apenas serão apresentados tópicos relativos ao assunto.

Do ponto de vista geotécnico, todas as escavações devem ser realizadas no sentido descendente, permitindo aliviar as forças desestabilizadoras em maior grandeza relativamente ao alívio de forças estabilizadoras, aumentando assim o fator de segurança. (Gonçalves, 2011)

Inicialmente no AHFT as escavações foram realizadas no sentido descendente, alterando-se posteriormente o sentido devido ao acidente ocorrido. Após a caracterização do maciço, optou-se pelo desmonte com recurso a explosivos uma vez que o maciço possuía características resistentes muito altas.

A execução da escavação de uma zona de implantação da barragem implica as seguintes atividades:

- Verificação da estabilidade de taludes, encostas e plataformas;
- Levantamento topográfico;
- Desmatação e decapagem;
- Escavação com recurso a explosivos;
  - Perfuração do terreno;
  - Descarga dos explosivos e acessórios;
  - Carregamento dos explosivos;
  - Ligação dos detonadores;
  - Disparo;
  - Verificação da pega.

- Escavação com meios mecânicos;
- Carga, transporte e depósito do produto resultante até à escombreira;
- Saneamento de taludes resultantes da escavação;
- Estabilização dos taludes.

À medida que avança a escavação das margens, há necessidade de aplicar medidas de contenção aos taludes que vão sendo criados por uma questão de segurança.

- Colocação de betão projetado;

De acordo com (Gonçalves, 2011), o betão projetado aplicado como material de contenção permite diversos aspetos positivos:

- Regularização da superfície do maciço rochoso;
- Evita a exposição da superfície do maciço a agentes de meteorização e erosivos que podem provocar alteração e degradação daquele;
- Os blocos de pequena dimensão ganham alguma coesão, tendo o betão projetado um efeito cola, evitando a queda de pequenas pedras;
- O conjunto malhasol (malha electro soldada) e betão projetado comporta-se como uma estrutura única com características dúcteis, o que se traduz num incremento de segurança.

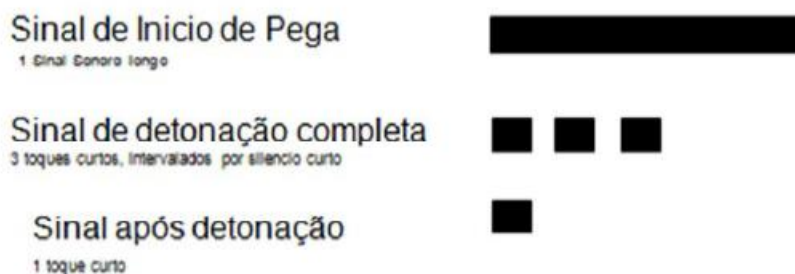
- Colocação de pregagens e ancoragens.

Nas escavações a céu aberto é necessário garantir a segurança a nível estrutural bem como a segurança dos trabalhadores, para tal é necessário que todos os trabalhos sejam verificados e acompanhados devidamente pelo empreiteiro, fiscalização e Coordenação de Segurança em Obra (CSO). O plano de fogo é enviado e deferido pela fiscalização e pela CSO, por cada pega. Sempre que esta interfira com terceiros é necessário proceder ao aviso dos mesmo e indicar quais as medidas e procedimentos a tomar. Nos dias da pega de fogo, nas portarias e outros locais definidos são colocados os horários e local da mesma e colocada uma bandeira vermelha,

sendo que nos dias em que não ocorram permanece no local uma bandeira verde. O detonador e o cordão detonante não podem ser transportados em conjunto com os explosivos. Existem locais de segurança onde permanecem as pessoas necessárias para a realização da atividade sendo as restantes pessoas evacuadas da zona, zona essa que depende da carga de explosivos associada a cada pega de fogo.

Quando se reúnem as condições para iniciar a pega de fogo, há um sinal sonoro longo, que é o aviso de pega, que se dá 5 minutos antes da detonação. Um minuto antes do início da pega é dado outro sinal, de início de pega, constituído por 3 toques curtos intervalados por períodos de curto silêncio. Após a verificação pelo operador de substâncias explosivas, habilitado com célula de operador, se a pega ocorreu como esperado é dado o sinal sonoro de um toque curto que indica o final da pega de fogo.

Na Figura 49 encontram-se representados os sinais sonoros a efetuar numa pega de fogo.



*Figura 49 – Sinais sonoros de uma pega de fogo*

Na Figura 50 apresenta-se encosta da margem esquerda já escavada.



*Figura 50 – Encostada escavada da margem esquerda*

#### 4.3.2 Trabalhos anteriores à betonagem

Antes de proceder à betonagem do bloco é necessário realizar trabalhos de preparação, sendo alguns destes comuns em todas as betonagens. Em todas as betonagens é necessário proceder à colocação dos elementos de cofragem, implantação topográfica e a preparação da fundação/superfície a betonar. Em determinadas camadas é necessário realizar outro tipo de trabalhos de preparação diferentes dos apresentados. Estes trabalhos são de colocação de armaduras, instalação de elementos para a injeção de juntas, instalação de elementos do sistema de refrigeração artificial, instalação de instrumentação embebida e trabalhos do fornecedor de equipamentos.

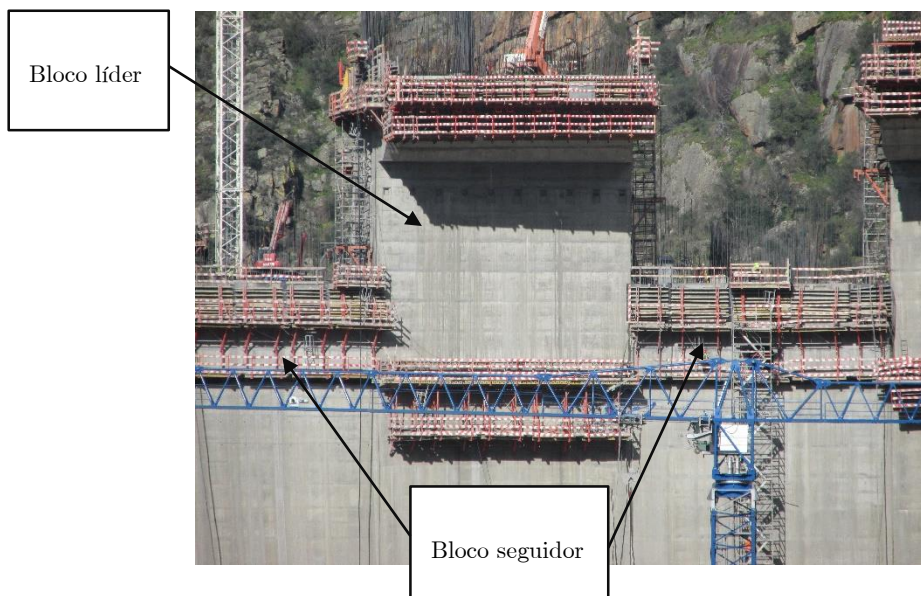
##### *4.3.2.1 Cofragem*

Cada bloco possui um projeto específico de cofragem, sendo utilizados diferentes sistemas de cofragem para os diferentes elementos/órgãos a betonar. Utilizam-se cofragem autoportante, trepante, pré-fabricada perdida, caixotões, entre outras.

## Capítulo 4

Os painéis de cofragem a utilizar devem apresentar superfícies em bom estado, limpas e desempenadas. Para uma fácil desmoldagem, aplica-se óleo descofrante em toda a superfície. Para que não haja alterações de geometria durante a betonagem é necessário proceder a uma montagem cuidada, devidamente alinhada e nivelada.

De modo a que as cofragens de cada bloco não fiquem sobrepostas com as cofragens dos blocos adjacentes optou-se por deixar um desnível entre os mesmos (Figura 51). Assim existem os blocos denominados de líder e blocos seguidores. O bloco líder necessita de cofragem nas quatro faces do bloco enquanto o bloco seguidor apenas necessita de cofragem nos paramentos, sendo a betonagem feita contra a face lateral do bloco líder.



*Figura 51 – Desnível entre blocos*

A cofragem a utilizar nos paramentos é dotada de um sistema mecânico de afinação de modo a acompanhar com rigor o desenvolvimento da curvatura da estrutura da barragem. No caso da cofragem aplicada nas faces laterais de cada bloco é necessário integrar os caixotões de encaixe entre blocos (Figura 52).

No caso das GV's é necessário utilizar cofragem em abóbada (Figura 53).



Figura 52 – Cofragem do  
caixotão



Figura 53 – Colocação da cofragem para GV

A movimentação da cofragem é efetuada com recurso a gruas ou com os *blondins* tal como mostram as Figura 54 e Figura 55.

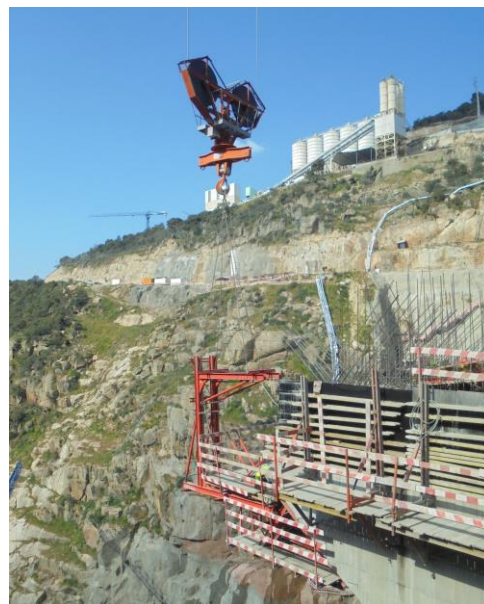
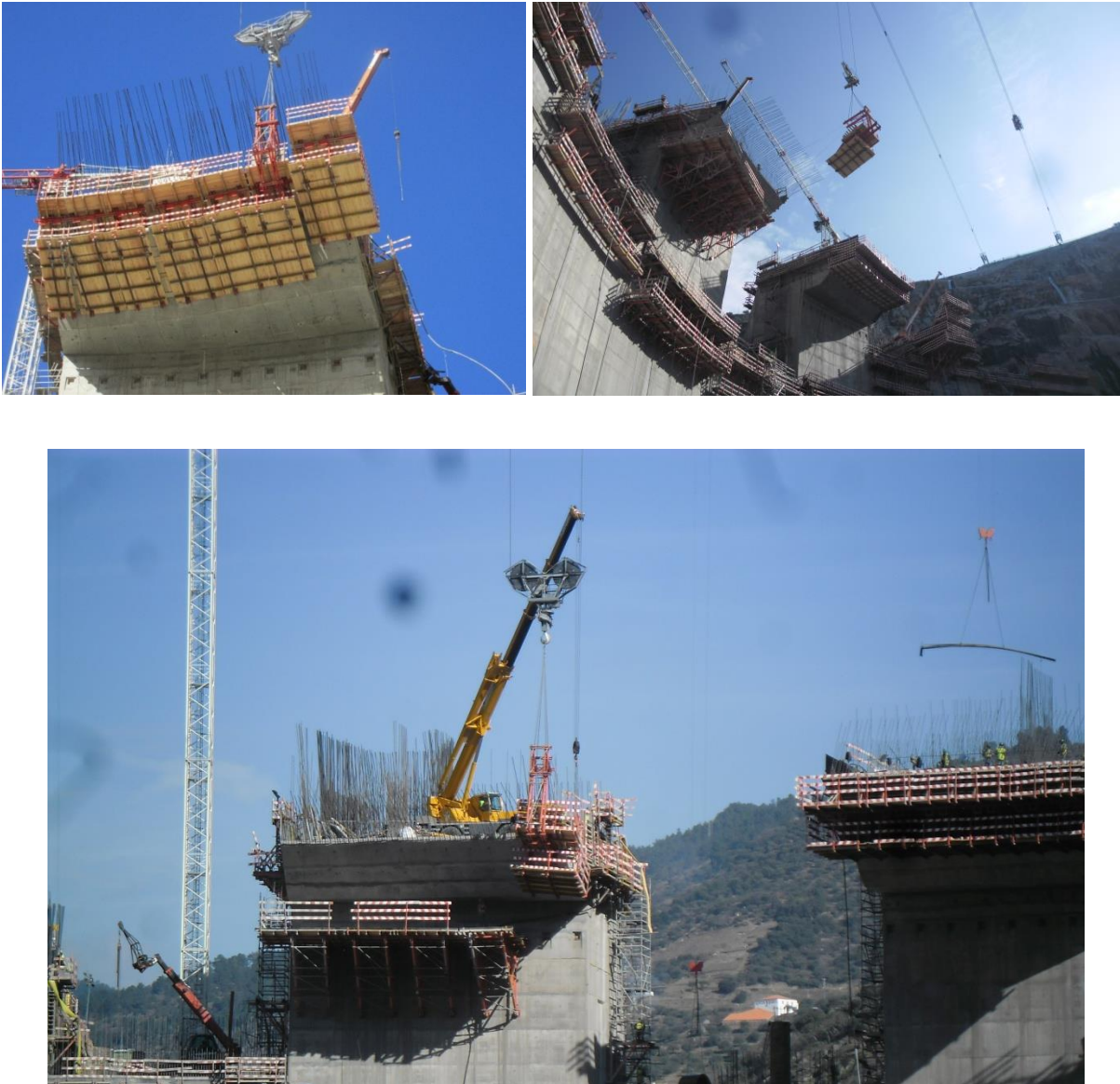


Figura 54 – Transporte e colocação de cofragem com recurso ao blondin



*Figura 55 – Movimentação da cofragem com recurso ao blondin*

#### *4.3.2.2 Implantação topográfica*

Inicialmente procede-se à implantação topográfica com auxílio do equipamento topográfico e com a equipa correspondente (Figura 56). Definem-se as cotas altimétricas e planimétricas, ficando estas legíveis no bloco através de tinta.



*Figura 56 – Implantação topográfica*

#### *4.3.2.3 Preparação da fundação / superfície a betonar*

Em seguida procede-se à verificação das condições da superfície do elemento, sendo este saneado de todos os elementos desagregáveis, ocos, depósitos de matéria orgânica e outras substâncias estranhas. O maciço de fundação ou superfície do bloco é convenientemente lavado com água sob pressão antes de cada betonagem, permanecendo molhado durante as 24 horas anteriores ao início de cada betonagem. No entanto, imediatamente antes do início desta, a água será eliminada com recurso a jatos de ar. Quando o betão é aplicado diretamente contra o soco/maciço de fundação é necessário colocar uma camada de betão de limpeza com pelo menos 50 milímetros de espessura, de modo a proteger de contaminações e perdas de água.

Nas juntas de contração colocam-se lâminas em PVC (Figura 57), juntas *water stop*, materializando compartimentos estanques, tal como referido anteriormente em 3.1.1. Ao longo do bordo de montante de todas as juntas, colocam-se duas lâminas verticais paralelas afastadas entre si 0,50 metros de modo a garantir uma impermeabilização eficaz. Estas ainda são colocadas em redor das GV.



Figura 57 – Lâmina de estanqueidade

#### 4.3.2.4 Armaduras

Na barragem, nem todos os blocos necessitam de armadura, tal como se refere em 4.2.3.1. A armadura é utilizada em redor dos orifícios provisórios de cheias e das GV, na conduta do caudal ecológico, na descarga de fundo, na zona dos pilares e do descarregador de cheias.

Caso o bloco tenha armaduras estas serão pré-moldadas pelo fornecedor ou moldadas e montadas no estaleiro sempre que possível e colocadas no local com recurso a gruas ou *blondin*.

#### 4.3.2.5 Instalação de elementos para a injeção de juntas

Quando aplicável, embebe-se no elemento a betonar os componentes necessários para realizar posteriormente a injeção de juntas tais como: tubagem horizontal para injeção, tubagem de condução aos tubos horizontais, tubos de saída das ranhuras coletoras, tubos de EPDM para moldar ranhuras, válvulas de injeção e dispositivos para negativos das ranhuras.

#### 4.3.2.6 Instalação de elementos do sistema de refrigeração artificial

Conforme especificado no projeto de refrigeração artificial, é necessário proceder à instalação dos componentes previstos. Esta instalação consiste na montagem de serpentinas em PEAD (Figura 58) e respetivos acessórios. As serpentinas serão distribuídas ao longo dos elementos a betonar e ligadas a planos de distribuição (Figura 59) localizados nas GV ou varandins da barragem. Este sistema consiste num sistema de adução de água do rio ou refrigerada para circulação nos elementos betonados. De acordo com o projeto, estas estão dispostas nos blocos de 2 em 2 metros.

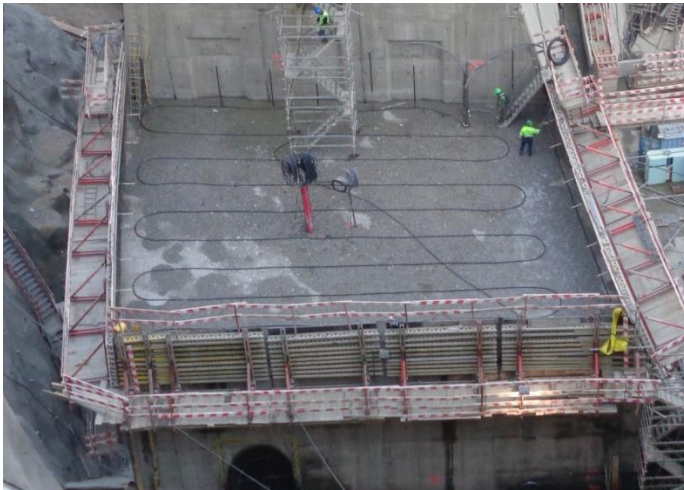


Figura 58 – Instalação de serpentinas no bloco



Figura 59 – Plano de distribuição de serpentinas

#### 4.3.2.7 Instalação de instrumentação embebida

Delimitam-se as zonas de implantação de instrumentação bem como nas redondezas com marcações que fiquem visíveis no fim da betonagem. Por norma utilizam-se ferros pintados na extremidade que ficará visível no final de betonagem.

***Extensómetros de resistência***

A instalação dos grupos de extensómetros de resistência é realizado no dia previsto para o início da betonagem, posteriormente à conclusão dos trabalhos de limpeza. Inicialmente procede-se à instalação da roseta (Figura 60) nivelada e com a inclinação do paramento, no caso de serem instalados junto ao paramento, de modo que os grupos fiquem instalados paralelos ao mesmo. Em seguida instalam-se os extensómetros de resistência na roseta, tendo em atenção de verificar se estes são colocados na posição correta de acordo com o definido nas fichas de instalação (Figura 60).



*Figura 60 – Instalação da roseta e respetivos extensómetros de resistência de um grupo plano*

Por fim coloca-se de forma centrada o primeiro elemento da cofragem (Figura 61).



*Figura 61 – Colocação do primeiro elemento da cofragem num grupo plano*

Em certos casos não é possível a colocação da cofragem, caso seja colocado numa zona armada, caso o betão seja bastante fluído, ou seja com SLUMP elevado, ou ainda na instalação de grupos unidireccionais. Assim, utiliza-se rede do tipo “galinheiro” a delimitar a zona (Figura 62 e Figura 63).



*Figura 62 – Instalação de um grupo unidirecional de extensómetros de resistência com recurso à rede de galinheiro*



*Figura 63 – Instalação de um grupo plano de extensómetros de resistência com recurso à rede de galinheiro*

O extensómetro é colocado na vertical, centrado no interior do balde corretor (Figura 64) e equidistante do fundo e do topo. Este é posicionado a 1 metro do grupo de extensómetros no sentido das margens.



*Figura 64 – Extensómetro no balde corretor*

### *Termómetros de resistência*

Existem três tipos de termómetros: termómetros de paramento, de interior e de água, como indicado em 4.1.1. Os termómetros de paramento (Figura 65) colocam-se a cerca de 1 a 2 centímetros da cofragem. Estes são colocados na armadura, caso exista, ou suportados num varão de aço colocado propositadamente. Os termómetros de interior são colocados de forma idêntica à dos termómetros de paramento, embora estes sejam colocados no interior dos blocos.



*Figura 65 – Termómetro de paramento*

Os termómetros de água são colocados no paramento de montante, ficando em contacto com a água após o enchimento da albufeira. Neste tipo de termómetros é colocado numa cofragem quadrangular específica para o efeito (Figura 66). Instala-se o termómetro, envolvido em geotêxtil, dentro da cofragem e do tubo de suporte, com recurso a resina. É de notar que a cofragem tem uma inclinação de 5 a 10 graus de modo a evitar a acumulação de lamas na sua extremidade de contacto com a água.



*Figura 66 – Cofragem quadrangular para instalação do termómetro de água*

*Tensómetro de resistência*

No caso de serem instalados CT (Figura 67) é necessário deixar um negativo na camada anterior à instalação, havendo o cuidado de não deixar vestígios de madeira aquando da sua descofragem. No dia da instalação da CT, o negativo (Figura 68) é limpo e retiram-se os materiais soltos.



*Figura 67 – Tensómetro de resistência*



*Figura 68 – Negativo para instalação de CT num plano inclinado*

É preparada uma argamassa de colagem que é colocada na superfície de instalação e em seguida coloca-se a CT sobre a argamassa (Figura 69) garantindo o seu nivelamento com recurso a um nível. Sobre este é colocado um tripé com uma base onde será colocado um peso de 10 kg com o objetivo de o imobilizar (Figura 70).



*Figura 69 – Colocação a argamassa de colagem e CT num plano horizontal*



*Figura 70 – Imobilização da CT num plano horizontal*

É de notar que caso não se trate de uma CT a instalar num plano horizontal é necessário utilizar acessórios de fixação e ainda cravar as hastes no betão antes da colocação da argamassa de ligação, apertando manualmente o parafusos e linguetas para o suporte da CT após o procedimento de assentamento (Figura 71).



*Figura 71 – Instalação da CT num plano inclinado*

Nas Figura 72 e Figura 73 pode-se verificar uma CT instalada num plano inclinado e num plano vertical, respetivamente.



Figura 72 – CT num plano inclinado



Figura 73 – CT num plano vertical

### ***Medidor de movimentos de junta***

Caso sejam instalados MJ, é deixado um suporte, denominado *socket* (Figura 74) embebido no betão na junta do bloco líder. Este é tamponado até à betonagem do bloco seguidor de modo a evitar a sua obturação.



Figura 74 – Socket

Em seguida é acoplado por meio de roscagem o MJ (Figura 75) no respetivo *socket*.



*Figura 75 – Colocação de um medidor de movimento de juntas*

### ***Condução de cabos***

Após a instalação da instrumentação, juntam-se todos os cabos, e fixam-se em vários pontos ao longo da sua trajetória de modo a evitar o arrastamento dos cabos aquando da betonagem.

Estes são conduzidos na horizontal até à conduta técnica (Figura 76), seguindo a trajetória definida em projeto. As condutas técnicas são conduzidas até às GV existente na barragem.

Por vezes aquando da instalação da instrumentação embebida ainda não existe a GV, sendo necessário conduzir os cabos até uma conduta ascendente. Quando já se encontra construída a GV para a qual serão encaminhados, existe uma coluna técnica descendente.



*Figura 76 – Condução dos cabos para a conduta técnica*

#### 4.3.2.8 *Fornecedor de equipamentos*

Tal como referido anteriormente em 3.1.1, a estrutura da barragem é constituída por órgãos de segurança. Para a conceção destes há necessidade de ajustar e complementar os projetos e trabalhos da construção civil com o do Fornecedor de Equipamentos (FE). De modo a que cada entidade consiga realizar o seu trabalho, realiza-se a passagem de frente entre o Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) e FE. Na passagem de frente reúnem-se elementos da fiscalização, CSO, encarregado do FE e encarregado do ACE. Estes efetuam uma vistoria ao bloco no qual será realizada a passagem de frente e verificam se existe alguma condicionante ou não-conformidade. Caso existam são registadas no Protocolo de Receção de Frente de Obra, é definida uma data até à qual devem ser corrigidas e realiza-se uma nova vistoria. Assim que esteja tudo conforme e acordado entre as diferentes entidades é assinado o Protocolo de Receção de Frente de Obra.

Após conclusão de cada subactividade e antes do início de betonagem a fiscalização valida o impresso do modelo Cartão Único da Betonagem (CUB) e o Boletim de Verificação.

No CUB constarão as validações da verificação do trabalho executado pelos responsáveis por cada subactividade inerente ao elemento a betonar. Este estará disponível na frente de obra até à conclusão da betonagem.

No Anexo 2 apresenta-se o modelo CUB utilizado no AHFT.

No Boletim de Verificação registam-se as verificações efetuadas na preparação para a betonagem, durante a betonagem e ainda na descofragem do bloco. Relativamente aos trabalhos de preparação de betonagem, constarão as validações dos trabalhos de fundação/junta de

## Capítulo 4

betonagem, juntas de estanqueidade, verificações da armadura e por fim a verificação da cofragem.

No Anexo 3 apresenta-se o modelo do Boletim de Verificação utilizado no AHFT.

### 4.3.3 Betonagem

O processo de betonagem da estrutura da barragem teve início em Agosto de 2013, estando prevista a utilização de 358 000 m<sup>3</sup> de betão em 18 blocos verticais.

#### *4.3.3.1 Tipos de betões*

Devido às fundações e paramento da barragem estarem mais expostos ao contacto com a água, é necessário garantir um índice mais elevado de impermeabilidade, tal como referido anteriormente em 4.2.3.2.

No Quadro 14 podem-se verificar as diferenças nas composições do betão a utilizar no núcleo e no paramento da estrutura da barragem, sendo os valores apresentados para 1 m<sup>3</sup> de betão e utilizando cinzas volantes de Compostilha.

Quadro 14 – Diferença da composição de betão a utilizar no núcleo (tipo 1) e paramento (tipo 2) da barragem

	<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>
75/150	545	-
37,5/75	325	570
19/37,5	305	395
9,5/19	240	295
4,75/9,5	205	185
0/4,75	560	650
CEM I 42,5 R	100	120
CV Compostilha	100	120
Água	100	115
Sikament P-190	1,2	1,4

#### 4.3.3.2 Transporte, colocação e cura

A betonagem apenas será iniciada após a entrega do Pedido de Betonagem (PB) onde é identificado o elemento a betonar, cotas de início e fim prevista, tipos de betões a utilizar, recursos humanos e equipamentos a utilizar na betonagem e ainda eventuais condicionantes. O

## Capítulo 4

PB será deferido pela Fiscalização e estará disponível na frente de obra até à conclusão da betonagem, juntamente com o CUB referido anteriormente caso exista.

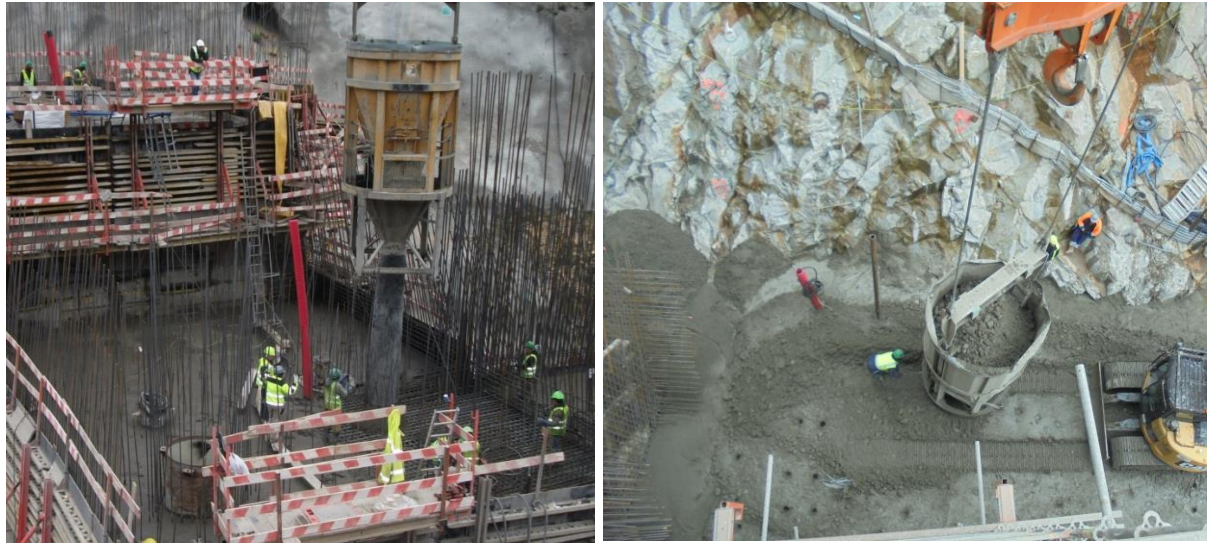
No Anexo 3 pode-se consultar um exemplo de um pedido de betonagem de um bloco da barragem.

O transporte do betão realiza-se de modo a limitar os riscos de segregação dos agregados ou separação entre matriz de argamassa e agregado grosso, tendo em vista garantir a sua correta e adequada compacidade final (Figura 77).



*Figura 77 – Transporte de betão*

A betonagem da estrutura da barragem apenas é realizada com recurso aos *blondins* tal como se pode verificar na Figura 78.



*Figura 78 – Betonagem do bloco com recurso ao blondin*

Com base no risco de fissuração do betão associado ao aumento de temperatura provocado pelo ligante, na colocação e na eficiência da vibração, a altura máxima de cada camada de betonagem é de 2 metros. Também devido ao risco de fissuração, as temperaturas de colocação do betão convencional estão limitadas a 25°C no caso de estruturas em massa não armada e a 21°C no caso das estruturas armadas.

#### 4.3.3.2.1 Instrumentação embebida

No caso da instalação de instrumentação embebida, cobrem-se manualmente os cabos ao longo da sua trajetória com betão, ao qual foram retirados os agregados de maior dimensão. Com recurso a um crivo de 38 milímetros (Figura 79) criva-se o betão a utilizar no envolvimento da instrumentação a embeber no betão (Figura 80) dependendo do tipo de composição do betão a utilizar.

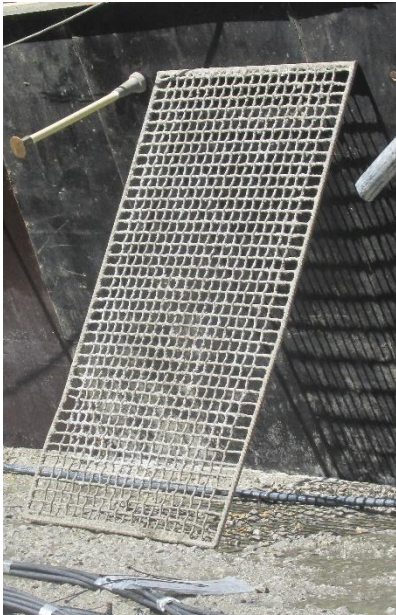


Figura 79 – Crivo



Figura 80 – Crivagem do betão para envolvimento dos extensómetros de resistência

### ***Extensómetros de resistência***

Caso sejam instalados extensómetros de resistência, com recurso a uma colher de pedreiro e manualmente, enche-se o balde corretor com betão crivado, e vibra-se cuidadosamente com um vibrador manual de pequena dimensão (Figura 81).



Figura 81 – Enchimento e vibração do balde corretor

Coloca-se de forma cuidadosa, com recurso a pás e mãos, o betão crivado dentro do perímetro do primeiro elemento da cofragem de modo a ir envolvendo os extensómetros. Após completo o primeiro elemento, procede-se à vibração do betão, de forma cuidadosa, com o vibrador manual de pequenas dimensões (Figura 82).



*Figura 82 – Enchimento e vibração do betão a colocar no primeiro elemento de cofragem para envolvimento do grupo tridimensional de extensómetros de resistência*

Em seguida coloca-se o segundo elemento de cofragem procedendo do mesmo modo a betonagem e vibração (Figura 83) e assim sucessivamente até ao último elemento da cofragem (Figura 84).



*Figura 83 – Enchimento e vibração do betão a colocar no segundo elemento de cofragem para envolvimento do grupo tridimensional de extensómetros de resistência*



*Figura 84 – Pirâmide completamente preenchida de betão*

Progride-se com a betonagem do restante bloco e aguarda-se que o betão ganhe um pouco de presa na pirâmide para que não ocorra a deformação do tronco da pirâmide. Assim que tenha adquirido a presa suficiente, retira-se a cofragem e procede-se ao envolvimento da pirâmide de betão. O envolvimento da pirâmide realiza-se de forma gradual de modo a ser envolvida pelos quatros lados (Figura 85). Procede-se à vibração do betão com recurso a vibrador manual.



*Figura 85 – Descofragem da pirâmide e envolvimento em betão*

No caso da betonagem de um grupo unidirecional ou em casos especiais de grupos planos onde não seja possível a utilização da cofragem em pirâmide, coloca-se o betão com recurso a balde dentro da rede de galinheiro. O betão é colocado e vibrado manualmente de forma cuidada em camadas (Figura 86).



*Figura 86 – Envolvimento de grupo plano de extensómetros de resistência com rede de galinheiro*

### ***Termómetro de resistência***

Na betonagem dos termómetros de resistência, a betonagem é realizada manualmente, retirando os agregados de maior dimensão, e compactada com um vibrador manual até ao seu envolvimento total.

No caso dos termómetros de água (Figura 87) é necessário proceder de forma cuidada à vibração do betão de modo a não deixar ocos entre o betão e a cofragem do termómetro. Nestes é aplicada, após a descofragem do bloco, uma grelha de proteção exterior em aço inoxidável como medida de proteção suplementar.



*Figura 87 – Betonagem de um termómetro de água*

### *Tensómetro de resistência*

Betona-se o negativo que contém a CT, em pequenas camadas, com betão crivado, compactando-o com o vibrador manual (Figura 88). Em seguida retira-se cuidadosamente o tripé e o peso acoplado. A restante betonagem é realizada com cuidado nessa zonas bem como a vibração do betão.



*Figura 88 – Betonagem de uma CT num plano horizontal*

### *Medidor de movimentos de junta*

No caso de existirem MJ, estes são betonados com recurso a betão crivado, dependendo do betão a ser utilizado no restante bloco. Este é betonado com cuidado de modo a não haver grandes deslocamentos do aparelho e efetua-se a vibração com recurso a um vibrador manual.

O espalhamento do betão nos blocos da barragem é executado por um trator de rastros (Figura 89) enquanto a dimensão do mesmo e o tipo/composição do betão do bloco o permite. Quando não é possível a utilização do trator de rastros, o espalhamento realiza-se com recurso a pás e enxadas.

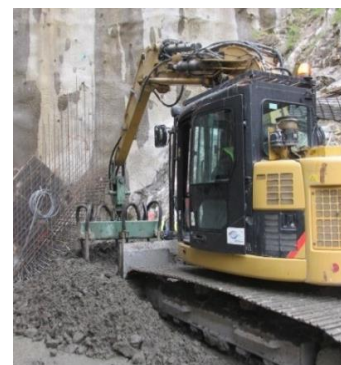


*Figura 89 – Espalhamento de betão*

A compactação do betão convencional realiza-se por vibração interna, com vibradores adequados ao diâmetro máximo do inerte e à consistência dos betões. Os vibradores poderão ser manuais (Figura 90) ou uma mesa rotativa equipada com um conjunto de vibradores, apoiada no braço de uma escavadora (Figura 91). O diâmetro dos vibradores para o betão convencional dos paramentos não será inferior a 2", ou seja a 50 milímetros.



*Figura 90 – Vibração do betão com recurso a vibradores manuais*



*Figura 91 – Mesa rotativa equipada com um conjunto de vibradores, apoiada no braço de uma escavadora*

## Capítulo 4

De modo a garantir o arrefecimento do betão, foi estabelecido um intervalo mínimo entre as sucessivas betonagens. Para camadas de 1,5 a 2 metros de altura foi definido um intervalo mínimo de 4 dias enquanto que para alturas inferiores a 1,5 metros foi definido um intervalo mínimo de 3 dias. Devido à questão da aderência e evitar comportamentos diferenciais de retração, fluência e elasticidade, não é aconselhável que o processo de presa da última camada betonada avance em demasia até à data da betonagem da camada seguinte. Assim foi definido um intervalo máximo de 15 dias entre betonagens de camadas sucessivas. Quando este é ultrapassado é necessário proceder ao tratamento da junta, sendo esta picada até ser perfeitamente visível o agregado, lavada e humidificada 24 horas antes da betonagem e numa camada de 1,5 centímetros de argamassa.

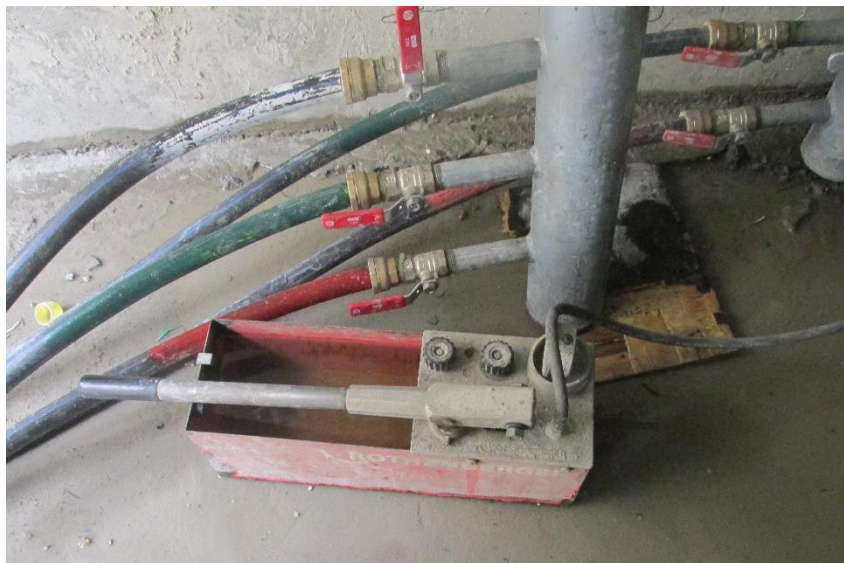
A colocação do betão, em cada betonagem, será contínua e conduzida em termos de não haver interrupções superiores a 2 horas, que serão reduzidas a 1 hora em períodos de temperatura ambiental igual ou superior a 35°C. Se por razões de força maior, for necessário interromper-se por mais tempo, ou verificar-se o início de presa do betão já aplicado, será estabelecida uma junta de trabalho. Na aplicação do betão será considerada a temperatura máxima do betão expressa no CE, de 25°C. As betonagens serão suspensas nos períodos de temperatura ambiente inferiores a -5°C, ou quando a temperatura do betão fresco no momento de colocação for inferior a +5°C no caso de betão em grandes massas e a +10°C nos outros casos; quando as temperaturas mínimas ambiente não ultrapassarem +1°C, as superfícies do betão serão convenientemente protegidas durante 5 a 10 dias, conforme o tipo de cimento utilizado, e deverá ter-se o cuidado, ao remover os dispositivos de proteção, de não sujeitar o betão a quedas bruscas de temperatura. (Barragem Foz Tua ACE, 2013)

Após a betonagem do bloco, assim que o betão tenha atingido um estado de endurecimento tal que permita a remoção apenas da argamassa superficial sem que seja prejudicada a ligação dos outros elementos entre si, procede-se à grifagem do mesmo (Figura 92).



*Figura 92 – Grifagem do bloco*

Um dos procedimentos habituais utilizados nas barragens é o arrefecimento forçado por meio da refrigeração artificial referido em 2.4.2. Torna-se necessário de modo a evitar o aparecimento de fissuras ainda em fase de endurecimento, devido à libertação intensa de calor aquando da aplicação de betão em massa. Esta situação é ainda agravada com os períodos de elevadas temperaturas que afetam a região. Assim, torna-se necessário proceder à refrigeração do betão. Existe um circuito fechado de circulação de água, pelas serpentinas, através de condutas ramificadas, vulgarmente denominadas de pianos. Aquando da betonagem as serpentinas encontram-se em carga (Figura 93) e o processo de refrigeração do betão decorre a partir do 4.º dia após a betonagem de cada camada até ao 30.º dia. Nesta fase apenas é utilizada água do rio à sua temperatura normal. Em casos particulares, tais como na injeção de juntas, abordada em 4.3.4, onde é necessário que o betão atinja a temperatura de 11°C, ou quando a refrigeração com água à temperatura normal não seja suficiente, utiliza-se água refrigerada.



*Figura 93 – Serpentina em carga*

Após ultrapassado o período em que o betão adquire a resistência necessária, inicia-se a descofragem com recurso aos meios de elevação adequados (grua ou *blondin*).

Após a descofragem, a fiscalização verifica o estado da superfície do betão verificando se existem armadura à vista, fissuras de retração ou outras anomalias. Esta verificação é registada no Boletim de verificação referido anteriormente em 4.3.2.

#### *4.3.3.3 Obturação dos orifícios provisórios de cheias*

É necessário proceder à obturação dos orifícios provisórios de cheias, referidos anteriormente em 4.3, para que a barragem desempenhe as funções para as quais foi dimensionada. Para tal é necessário tratar as superfícies dos orifícios antes de serem betonados.

Para realizar o tratamento referido, procede-se à picagem com recurso a hidro-demolição (Figura 94) de toda a superfície interior dos orifícios até deixar agregado grosso parcialmente exposto.

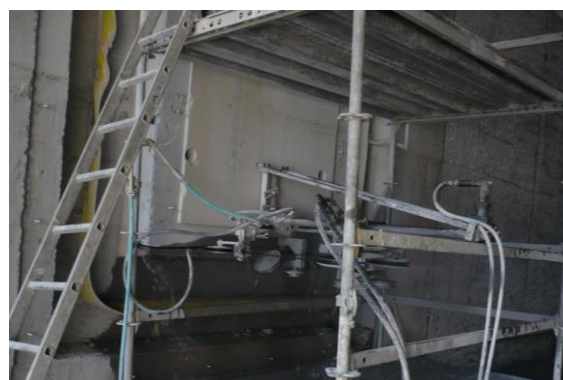


*Figura 94 – Mini-giratória com roçadora acoplada*

De modo a proceder à demolição dos tamponamentos da GV5 executam-se carotes com diâmetro de 50 milímetros no contorno da GV5 (Figura 95) e posteriormente corta-se o mesmo com recurso a um fio diamantado (Figura 96).



*Figura 95 - Execução dos carotes no rolhão*



*Figura 96 – Corte do rolhão com recurso a fio diamantado*

Na soleira é realizada a escarificação por picagem em faixas de 1 metro de largura até deixar metade da primeira camada de armaduras à vista (Figura 97).



*Figura 97 – Trabalhos no orifício provisório*

Procede-se à montagem da cofragem e armadura de acordo com o projeto e betona-se com recurso a bomba em camadas até 1 metro de altura vibrando o betão com vibradores manuais. A betonagem será finalizada a partir da GV superior através de tubos existente no corpo da barragem (Figura 98) tal como referido em 4.3, com recurso a betão autocompactável. Para finalizar é realizada uma injeção da interface de ligação com calda de cimento por recurso ao sistema de injeção existente na estrutura da barragem.



*Figura 98 – Tubagem existente na GV para finalizar a betonagem dos orifícios provisórios*

#### 4.3.4 Injeções de juntas

De modo a minorar o efeito de retração do betão e conseqüente aparecimento de fissuras, a barragem encontra-se dividida transversalmente por 17 juntas de contração em 18 blocos, tal como referido anteriormente em 3.1.1. As juntas de contração são definidas por planos verticais radiais à superfície de referência, sendo providas de caixotões (Figura 99).



*Figura 99 - Caixotões*

Na medida em que o funcionamento estrutural da abóbada exige o monolitismo dos vários blocos, torna-se necessário proceder ao enchimento das juntas de contração com caldas de cimento. Para que a injeção seja o mais eficiente possível, é necessário que o betão tenha atingido uma temperatura suficientemente baixa para maximizar, tanto quanto possível, a abertura de juntas, uma vez que a abertura das juntas pode aumentar com o arrefecimento do betão.

Como referido anteriormente em 3.1.1, na estrutura da barragem existem compartimentos estanques dotados de um conjunto de dispositivos constituídos por ranhuras de injeção, ranhuras coletoras e respetivos tubos de admissão e saída (injetores e coletores). Em cada compartimento existem dois circuitos de injeção, (Figura 100), sendo um deles o circuito de injeção primária e outro circuito de injeção secundária. Uma vez que será necessário voltar a injetar as juntas após o enchimento da albufeira, existem dois circuitos. Quando realizada a injeção primária, o circuito fica inutilizado pois ficam completos de calda de cimento, assim torna-se necessário deixar nas betonagens instalado o circuito secundário.



*Figura 100 – Ranhuras*

Existem condicionantes que é necessário ter em consideração na programação da realização da injeção de juntas, tais como:

- As campanhas de injeção terão de ser efetuadas em época fria, no período compreendido entre os meses de Novembro e Abril (inclusive);
- Os blocos terão de estar à temperatura prescrita no projeto para efeitos de injeção, 11°C;
- A injeção dos diferentes compartimentos deve ser feita preferencialmente por patamares, injetando os compartimentos à mesma cota, do fecho para as nascenças

(avançando de forma simétrica, com 2 frentes de trabalho), passando-se, seguidamente, ao patamar imediatamente superior;

- A injeção dos compartimentos de paramento deve anteceder a dos compartimentos principais.

Ao longo do decorrer do processo de injeção de juntas terá que se proceder à monitorização da estrutura por meio de observação de aparelhos criteriosamente selecionados, uma vez que o processo de injeção de juntas irá solicitar a estrutura. A análise da evolução do seu comportamento deverá ser adequadamente acompanhada de modo a não induzir estados de tensão desfavoráveis para o comportamento futuro da estrutura. Assim, o acompanhamento do comportamento estrutural deverá ser efetuado através da análise das seguintes grandezas, explicadas anteriormente em 4.1:

- Movimentos das juntas, tanto na deteção de aberturas/fechos e de deslizamentos, através das bases tridimensionais e dos medidores de junta;
- Movimentos no contacto da barragem/fundação, através dos extensómetros de fundação;
- Movimentos horizontais através dos fios-de-prumo.

#### 4.3.5 Tratamento de fundações

O tratamento do maciço de fundações, para além de garantir uma solidarização mais eficaz do contacto betão-rocha junto à base da barragem, permite efetuar a consolidação do maciço rochoso em profundidade, tal como referido em 2.4.2. Para tal, realizam-se leques de injeção afastados entre si em cerca de 5 metros ao longo do desenvolvimento da fundação da barragem, com o comprimento de furação a variar entre os 12 e 45 metros. Com injeção de calda de

## Capítulo 4

cimento sob pressão, o terreno adquire um grau de consistência/consolidação mais elevado, havendo portanto maior estanquidade à ação da água.

## 5 Considerações finais

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais do trabalho executado. É apresentada uma síntese dos conteúdos abordados, focalizando principalmente no caso do AHFT, mas abordando também outros aspetos de carácter relevante para o estudo de barragens na generalidade.

O presente trabalho abordou os diferentes tipos de barragens existentes, assim como os processos construtivos, informações técnicas e conceitos adjacentes a cada tipologia, permitindo assim ao leitor compreender as várias vertentes de uma barragem, e em particular, uma barragem em abóbada de dupla curvatura em betão convencional como é o caso do AHFT onde se realizou o estágio.

Inicialmente foi efetuada uma exposição dos principais tipos estruturais de barragens e descritas as técnicas de construção de barragens (através da utilização de BCC ou o uso de betão convencional). De seguida realizou-se a caracterização da obra o Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua, explicando cada frente de obra.

Antes de abordar o processo da construção da barragem houve a necessidade de abordar o sistema de observação e monitorização aplicado na estrutura, uma vez que é necessário integrar instrumentação no processo da construção e estes nos permitem tirar conclusões sobre o comportamento do betão. Para além disso, permitem ainda obter informações relativas à temperatura dos blocos, o que possibilita a tomada de decisões relativamente à ativação do sistema de refrigeração artificial implementado. Esse sistema de refrigeração dos betões tem como objetivo reduzir a temperatura do betão, permitindo assim a execução das injeções de juntas.

Para uma boa qualidade de construção de barragens, é fundamental o controlo da qualidade dos materiais. Sendo a barragem constituída por betão é necessário existir um elevado controlo a qualidade do mesmo, uma vez que terá influência na segurança da estrutura. Estando a composição prescrita de betão previamente definida pela EDP, é da responsabilidade do empreiteiro e da fiscalização assegurar as condições especificadas pelo DO, tanto na qualidade como na quantidade. Para tal, o estado e qualidade de todos os materiais são verificados no ato de receção, apenas sendo armazenados após validade das entidades responsáveis. Outro dos controlos efetuados consiste na realização de ensaios ao betão fresco, permitindo obter a temperatura, a massa volúmica, a consistência através do ensaio de abaixamento (SLUMP) e o teor em ar. São recolhidos provetes de amostras que posteriormente são ensaiados no laboratório, de acordo com as especificações do PIE, de modo a determinar as restantes propriedades e características de desempenho do betão. É de notar que a realização dos ensaios em laboratório apenas tem como objetivo a verificação da conformidade com os valores definidos em fase de projeto. Em relação à aplicação do betão em obra, o processo é rigoroso e acompanhado pela equipa da fiscalização. Previamente à betonagem são realizadas as verificações necessárias ao bloco e o acompanhamento na instalação de instrumentação embebida.

A construção de uma barragem de betão é um processo longo e complexo, envolvendo várias etapas e várias equipas de diferentes áreas da engenharia. É necessário existir uma coordenação entre todas as equipas, realizar um planeamento detalhado e uma gestão de recursos cuidada de modo a atingir os objetivos propostos.

Em Julho de 2015, data do fim do estágio, a barragem apresentava um volume acumulado de betão de 303253,5 m<sup>3</sup>, estando 84,7% da betonagem concluída. Durante o período do estágio a construção da barragem evoluiu 17,57 %, tendo sido aplicado um total de 62908,5 m<sup>3</sup> de betão

apenas na estrutura da barragem. No intervalo de Junho a Julho houve uma diminuição da quantidade de betão aplicado devido às temperaturas elevadas na região e que, como abordado ao longo deste trabalho, constituem um fator de risco e condicionante à correta execução dos trabalhos.

A realização deste Estágio Curricular numa empresa de renome como é o caso da FASE – Estudos e Projetos, S.A., integrando a equipa da fiscalização, e o acompanhamento de uma obra desta complexidade, foi sem dúvida uma experiência bastante enriquecedora, possibilitando uma melhor compreensão sobre a realidade do trabalho em obra e permitindo conjugar os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico, com outros adquiridos ao longo do estágio mais específicos do caso de estudo em concreto.



## Referências Bibliográficas

Alves, H.R.S.T.P., 2012. Análise da resistência ao arranque em pregagens instrumentadas – Caso de Estudo – Barragem de Ribeiradio. FEUP. 233 pp. (Dissertação de Mestrado)

Araújo, A.A.A., 2013. Análise e tratamento numérico de problemas de controlo ótimo na gestão de energia hidroelétrica. FEUP. 99 pp. (Dissertação de Mestrado)

Barragem de Foz Tua ACE, 2013. Procedimento Específico de Produção – Estruturas de Betão – Barragem.

Barragem de Foz Tua ACE, 2015. Procedimento Específico de Produção – Obturação dos orifícios provisórios da Barragem para passagem de cheias.

Batista, H.A.A., 2012. Relatório de Estágio – A. H. Foz Tua. EDP.

Camelo, A. *et al*, 2012. Principais condicionantes de projecto para uma barragem de gravidade em BCC. Encontro Nacional Betão Estrutural – BE2012, FEUP.

Cardoso, M.F.L.B., 2013. Estudo da espessura das camadas de betonagem e do ritmo de construção de uma barragem abóbada de grandes dimensões. FEUP. 107 pp. (Dissertação de Mestrado)

Carvalho, D.L.C.R., 2013. Avaliação técnico-económica de Aproveitamentos Hiroelétricos – Foz Tua. FEUP. 133 pp. (Dissertação de Mestrado)

EDP, 2002. O passado, presente e futuro dos grandes aproveitamentos hidroelétricos.

EDP, 2010. Novos projectos hidroelétricos.

EDP, 2010. Novos projectos hidroelétricos EDP – Foz Tua.

## Referências Bibliográficas

EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., 2010. Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua – Empreitada Geral de Construção – Processo de Concurso – Volume II – Caderno de Encargos.

EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., 2010. Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua – Empreitada Geral de Construção – Processo de Concurso – Volume III – Elementos de Projecto.

EDP, 2015: [www.a-nossa-energia.edp.pt](http://www.a-nossa-energia.edp.pt)

FASE – Estudos e Projectos S.A., 2015: [www.fase.pt](http://www.fase.pt)

Façanha, A.R.O., 2013. Estudo do afastamento adequado das juntas de contração de ma barragem abóbada de grandes dimensões. FEUP. 119 pp. (Dissertação de Mestrado)

Félix, N.M.C., 2010. Reflexões e análises críticas ao Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroeléctrico. FEUP. 151 pp. (Dissertação de Mestrado)

Ferreira, A.C.C.T.A., 2010. Análise hidráulica de potenciais soluções para a descarga controlada de caudais ecológicos em aproveitamentos hidroeléctricos. FEUP. 230 pp. (Dissertação de Mestrado)

Ferreira, C.M.M., 2009. Reforço de potência da Barragem de Picote – Escavação e contenção. FEUP. 137 pp. (Dissertação de Mestrado)

Gomes, A.C.T., 2009. Metodologias de análise e dimensionamento de estruturas de apoio de comportas de barragens. FEUP. 167 pp. (Dissertação de Mestrado)

Gonçalves, N.M.G., 2011. Aspectos geológico-geotécnicos da escavação na Barragem do Baixo Sabor. FEUP. 173 pp. (Dissertação de Mestrado)

INAG – Instituto da Água I.P., 2007. Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH).

Jesus, J.B.C., 2009. Barragens abóbada em betão compactado com cilindros. FEUP. 177 pp. (Dissertação de Mestrado)

Jesus, R.D., 2011. Optimização da forma estrutural de uma barragem. FEUP. 168 pp. (Dissertação de Mestrado)

Jorge, A.I.Q., 2012. Dimensionamento e conceção de vigas de rolamento dos *blondins*. FEUP. 104 pp. (Dissertação de Mestrado)

Marques, T.A.S., 2008. Estudo de um betão compactado com cilindros – Aplicado a barragens. Universidade Nova de Lisboa. 139 pp. (Dissertação de Mestrado)

Martins, T.M.G.M., 2014. Avaliação Técnico-Económica de Aproveitamentos Hidroeléctricos – Foz Tua. FEUP. 106 pp. (Dissertação de Mestrado)

Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais, 1993. Portaria n.º 846/93 - Normas de Projecto de barragens.

Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, da Agricultura, da Indústria e Energia, das Obras Públicas, Transportes e Comunicações e do Ambiente e Recursos Naturais, 1993. Portaria n.º 847/93, de 10 de Setembro - Normas de Observação e Inspeção de Barragens.

Ministérios da Defesa Nacional, da Administração Interna, do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, da Economia, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, 1998. Portaria n.º 46/98 - Normas de Construção de Barragens.

## Referências Bibliográficas

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2007. Decreto-Lei n.º 344/2007 de 15 de Outubro - Regulamento de Segurança de Barragens.

Moreira, A.R.P., 2012. Métodos de execução de uma barragem. ISEL. 119 pp. (Dissertação de Mestrado)

Moreira, R.A.C., 2009. Potencial hidroeléctrico português desaproveitado. FEUP. 307 pp. (Dissertação de Mestrado)

Mota-Engil e Tecnosol, 2013. Barragem de Foz Tua – Instrumentação Geotécnica – Instalação de Extensómetros de Varas – Procedimento Operacional.

Mota-Engil e Tecnosol, 2014. Barragem de Foz Tua – Instrumentação do Plano de Observação – Aparelhagem de Embeber no Betão – Procedimento Operacional.

Mota-Engil e Tecnosol, 2014. Barragem de Foz Tua – Instrumentação do Plano de Observação – Bases Tridimensionais – Procedimento Operacional.

Profico Ambiente, 2008. Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua – Aditamento ao Estudo do Impacte Ambiental.

Profico Ambiente, 2008. Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua – Estudo de Impacte Ambiental – Relatório Não Técnico.

Profico Ambiente, 2008. Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua – Estudo de Impacte Ambiental – Relatório Técnico – Volume I e II.

Quintela, A. *et al*, 2001. Curso de Exploração e Segurança de Barragens. Instituto Da Água. ISBN n.º 972-9412-56-1

Ramos, R.J.B., 2011. Barragens em betão compactado com cilindros (BCC) – Evolução e utilização em Portugal. Universidade Nova de Lisboa. 108 pp. (Dissertação de Mestrado)

Raposo, E.M.S., 2011. Observação de deslocamentos em obras geotécnicas. Universidade Nova de Lisboa. 117 pp. (Dissertação de Mestrado)

Silva, J.M.R.M., 2013. Injeção de juntas de contração de Barragens Abóbada. FEUP. 199 pp. (Dissertação de Mestrado)

SkyEye, 2015: [www.facebook.pt/skyeye](http://www.facebook.pt/skyeye)

Sousa, R.J.C., 2011. Controlo de qualidade na execução de fundações numa barragem – Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor - Estudo de caso. FEUP. 113 pp. (Dissertação de Mestrado)

Vallejo, A., 2014. Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua – Visita à obra pelo ISEP – 29Mai2014/5Jun2014.

Vallejo, A., 2015. Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua – Visita à obra – Alunos Licenciatura em Geologia – FCTUC – 14Abr2015.



## Anexos

A1 – PIE do betão

A2 – CUB

A3 – Pedido de Betonagem e Boletim de Verificação

A4 – Fotografias da evolução da construção da barragem



## Anexo 1

- PIE do betão



Pos.	Materiais, Equipamentos	Inspeção / Ensaio	Finalidade	Critério de aceitação	Frequência	Local de realização dos ensaios
1	Cimento	Verificação da guia de remessa (1)	Confirmar o tipo e a proveniência e registar o nº do silo de descarga	§3.1 do Cap VIII	Cada fornecimento	Obra
2		Propriedades físicas e mecânicas NP EN 197-1	Verificar a conformidade	§5.1 do Cap.I	Quinzenal	LNEC
3		Calor de Hidratação NP EN 196-8 (método da dissolução) ou NP EN 196-9 (método semi-adiabático)	Verificar a conformidade	§5.1 do Cap.I	Trimestral	LNEC
4		Propriedades químicas NP EN 197-1	Verificar a conformidade	§5.1 do Cap.I	Mensal	LNEC
5	Cinzas Volantes	Verificação da guia de remessa (1)	Confirmar o tipo e a proveniência e registar o nº do silo de descarga	§3.1 do Cap VIII	Cada fornecimento	Obra
6		Propriedades físicas e mecânicas NP EN 450-1	Verificar a conformidade	§5.3 do Cap.I	Quinzenal	LNEC
7		Propriedades químicas NP EN 450-1	Verificar a conformidade	§5.3 do Cap.I	Mensal	LNEC
8	Adjuvantes	Verificação da guia de remessa (1)	Confirmar o tipo e a proveniência	§5 do Cap.VII e §3.3 do Cap.VIII	Cada fornecimento	Obra
		Características NP EN 934-2	Verificar a conformidade	§5 do Cap.VII e §3.3 do Cap.VIII	Trimestral	LNEC
9		Características NP EN 934-5	Verificar a conformidade	§5 do Cap.VII	Trimestral	LNEC
10	Agregados (inertes) para betão (incluindo betão projectado - BP)	Inspeção Vlsual na Proveniência	Assegurar a regularidade das granulometrias	§3.2 do Cap.VIII	Diária	Obra
11		Análises Granulométricas NP EN 933-1	Verificar a conformidade	§4.1 do Cap. I e Quadros VIII-2 e VIII-3 Cap VIII	Duas vezes por semana, em todas as classes	LB
12		Teor Humidade das Areias e britas EN 1097-5	Assegurar a relação A/L	§4.1 do Cap. I e §3.2 do Cap VIII	Diária ou superior	Obra e LB
13		Resistência à fragmentação (método de ensaio de Los Angeles) NP EN 1097-2	Verificar a conformidade	§4.1 do Cap. I e §3.2.19 do Cap. VIII	1 classe por semana	LEMC
14		Massa volúmica e Absorção de água NP EN 1097-6	Verificar a conformidade e regularidade	§4.1 do Cap. I	Mensal em todas as classes	LEMC
15		Temperaturas dos agregados	Assegurar o cumprimento do especificado	§3.2.13 do Cap.VIII	Diária	Obra
16	Índice Volumétrico LNEC E-223	Verificação da conformidade	§3.2.19 do Cap. VIII	1 classe por semana	LB	
17	Água de Amassadura	Características da NP EN 1008	Verificar a conformidade	§7 Cap.I e §3.4 Cap.VIII	Trimestral	LNEC

Pos.	Materiais, Equipamentos	Inspeção / Ensaio	Finalidade	Critério de aceitação	Frequência	Local de realização dos ensaios
18	Armaduras Ordinárias	Verificação documental do fabricante e dos produtos certificados	Cumprir a legislação e normalização aplicáveis	- nº licença de uso da marca "produto certificado" - identificação da Especificação LNEC aplicável - certificado com os resultados dos ensaios do fabricante aplicáveis - nº de classificação LNEC relativa ao tipo de armaduras - marca de identificação do fabricante	No início do fornecimento	Obra
19		Verificação da guia e da documentação do fornecimento	Confirmar o tipo e a proveniência	- confirmar marcas e diâmetros das armaduras - confirmar boletim do fabricante com as características químicas do aço do fornecimento	Cada fornecimento	Obra
20		Desvios de massa	Verificação da conformidade	Os resultados dos ensaios satisfazerem os critérios estabelecidos nas normas e especificações LNEC aplicáveis	Mensal, com colheita, aleatória, em lotes de 40 a 100 t e com recolha de 3 tipos de diâmetros de cada classe - série fina ( $\Delta E \leq 10\text{mm}$ ), média ( $12\text{mm} < \Delta E \leq 20\text{mm}$ ) e grossa ( $\Delta E > 25\text{mm}$ )	LNEC
21		Geometria das nervuras				LNEC
22		Resistência à tracção simples				LNEC
23	Equipamento de britagem	Inspeção Visual e Medição	Regularidade da abertura das maxilas e respectivo desgaste - assegurar a granulometria	a definir após ensaios industriais	Semanal	Obra
24	Crivagem selecção e lavagem de agregados	Inspeção Visual e Medição	Assegurar o estado de funcionamento (desgaste dos crivos, contaminações, etc) para assegurar a granulometria	§3.2. Cap.VIII	Semanal	Obra
25	Ensilamento de agregados	Inspeção Visual	Assegurar o bom estado de funcionamento	§3.2 do Cap.VIII	Semanal	Obra
26	Ensilamento de Ligantes	Inspeção Visual	Estanqueidade dos silos e dos sistemas de alimentação para assegurar a conformidade	§3.1 do Cap. VIII	Semanal	Obra
27	Central de fabrico de betão	Inspeção Visual e Medição	Assegurar o bom estado de funcionamento	§4 do Cap.VII	Semanal	Obra
28		Calibração	Assegura a precisão do doseamento	§4.13 do Cap VIII	No início da produção e quadrimestralmente	Obra
29		Testes de rendimento e homogeneidade	Assegurar a precisão do doseamento para verificação da conformidade	§4.14 do Cap.VIII	Antes do início da produção e após grandes reparações na central	Obra, LB

Anexo III - Betão

APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DE FOZ TUA



CONTROLO DA QUALIDADE

PLANO DE INSPECÇÃO E ENSAIOS (PIE)

Pos.	Materiais, Equipamentos	Inspeção / Ensaio	Finalidade	Critério de aceitação	Frequência	Local de realização dos ensaios
30		Tolerâncias de doseamento	Assegurar a precisão do doseamento para verificação da conformidade	§4.11 do Cap.VIII	Cada amassadura	Obra
31		Amassaduras secas NP EN 933-1	Assegurar a precisão do doseamento para verificação da conformidade	§4.9 do Cap VIII	No início e anual	LB
32	Propriedades do betão fresco (incluindo BP-VIIa húmida)	Inspeção Visual ao estado de segregação, exsudação e coesão	Assegurar a adequada compacidade e homogeneidade do betão	comparação com as composições aprovadas e os testes industriais	Durante as betonagens	Obra
33		Temperatura do betão	Assegurar o cumprimento do especificado	§9.9 do Cap.VIII	Durante as betonagens e colheitas de amostras	Obra e LB
34		Massa Volúmica NP EN 12350-6	Verificar a conformidade com os valores de referência	comparação com os valores das composições aprovadas	Em colheitas de amostras	LB
35		Consistência do betão NP EN 12350-2 e §3.5 do Cap. VIII	Assegurar a conformidade	Cumprimento dos valores das composições aprovadas	Durante as betonagens e colheitas de amostras	Obra e LB
36		Relação A/L	Assegurar o cumprimento do especificado	Cumprimento dos valores das composições aprovadas	Todas as amassaduras	Obra
37		Teor em ar NP EN 12350-7	Verificar a conformidade com os valores de referência	Comparação com os valores das composições aprovadas	Em colheitas de amostras	LB
38	Betão endurecido	Resistência mecânica em compressão NP EN 12390-3	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 25m <sup>3</sup> (até 15 amostras) - cada 150m <sup>3</sup> (a partir de 15 amostras)	LB
39		Resistência mecânica em tracção por compressão NP EN 12390-6	Verificar a conformidade com os valores de referência	comparação com os valores das composições aprovadas	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
40		Módulo de Elasticidade DIN 1048-1	Verificar a conformidade com os valores de referência	comparação com os valores das composições aprovadas	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
41		Penetração da água sob pressão NP EN 12390-8	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
42		Absorção de água LNEC E 394	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
43		Coefficiente de capilaridade LNEC E 393	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
44		Permeabilidade ao oxigénio LNEC E 392	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
45		Retracção LNEC E 398	Verificar a conformidade	§10.2 do Cap.VIII § 5 do Anexo A do Cap.VIII	- cada 100m <sup>3</sup> (até 3 amostras) - cada 500m <sup>3</sup> (a partir de 3 amostras)	LEMC
46		Estudo e aprovação das Composições	Cumprir as especificações	§11.2, §11.3, §11.4 e §11.5 Cap.VII	No início dos trabalhos e sempre que se alterem os constituintes ou o equipamento	---
47		Aferição do equipamento de projecção	Cumprir as especificações	§12.3 Cap.VII	No início dos trabalhos e mensalmente	Obra
48		Espessura de camadas	Verificação da conformidade	§15.3 Cap.VII	10 medições diárias	Obra



## Anexo 2

- Cartão único de betonagem (CUB)





**Cartão único da betonagem (CUB) Nº \_\_\_\_\_**

Empreitada Geral de Construção do Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua

**1. Identificação do elemento - Preenchimento pelo ACE**

**Frente de Obra Detalhada:**      **Bloco**       **Galerias**       **Bacia de dissipação**       **Outro**  \_\_\_\_\_

**Elemento :** \_\_\_\_\_      **Previsão:** \_\_\_\_\_      **Cota Início:** \_\_\_\_\_ **Fim:** \_\_\_\_\_      **Pk Início:** \_\_\_\_\_ **Fim:** \_\_\_\_\_

**Notas de Preenchimento:**

- a. Cada sub-actividade será verificada pelo responsável da entidade executante, procedendo à validação deste modelo no respetivo campo; O Encarregado da betonagem procederá à verificação final;
- b. O cartão único estará disponível junto do elemento a betonar até à conclusão da betonagem, sendo posteriormente anexado ao registo Pedido de Betonagem/Boletim de Verificação;
- c. Sempre que uma das sub-actividades não for aplicável no elemento a betonara indicar Não aplicável (NA);
- d. O CUB é aplicável apenas aos elementos da Barragem;

**2. Verificação - Preenchimento pelas entidades responsáveis por cada Sub- actividade**

Cofragem  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Instalação de componentes embecidos Sistema de Refrigeração  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Instalação de componentes embecidos Plano de Observação (Instrumentação)  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Instalação de componentes embecidos Injecção de Juntas da Barragem  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Armaduras  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Rede de Terras  Não aplicável <input type="checkbox"/>	Outro: _____  Não aplicável <input type="checkbox"/>
Entidade: _____	Entidade: _____	Entidade: _____	Entidade: _____	Entidade: _____	Entidade: _____	Entidade: _____
Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____	Nome do Responsável pela Verificação: _____
Data:    /    /	Data:    /    /	Data:    /    /	Data:    /    /	Data:    /    /	Data:    /    /	Data:    /    /
Hora:    :	Hora:    :	Hora:    :	Hora:    :	Hora:    :	Hora:    :	Hora:    :
Responsável:	Responsável:	Responsável:	Responsável:	Responsável:	Responsável:	Responsável:
Assin. _____	Assin. _____	Assin. _____	Assin. _____	Assin. _____	Assin. _____	Assin. _____

**Anexos ( Indicar a Refª dos desenhos de referência para a verificação):**

--	--	--	--	--	--	--

**Verificação final - ACE**

Assin. Encarregado da Betonagem \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



## Anexo 3

- Pedido de Betonagem
- Boletim de Verificação





**Pedido de Betonagem / Boletim de Verificação de Betão Armado e Cofrado**

Empreitada Geral de Construção do Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Tua

BV Nº \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Frente de Obra:

Frente de Obra Detalhada:

Instruções de preenchimento:

Assinalar com "C" se está conforme e "NC" se está Não Conforme ou N/A se não aplicável; Registrar em OBS ( Observações) as situações não conformes e a acção a efectuar para correcção;

(\* Após autorização de betonagem por parte da Fiscalização, a pág.1 é enviado para a central de betão, devidamente validada. Posteriormente, o original fica arquivado na Gestão de Qualidade.

O Boletim de Recepção de Betão e o Pedido de Betonagem/Boletim de Verificação de Betão Armado e Cofrado têm a mesma numeração do pedido de betonagem, estando o primeiro arquivado no laboratório e o segundo na Gestão de Qualidade.

**1. IDENTIFICAÇÃO DA BETONAGEM**

Elemento		Classe de resistência (se aplicável)	
Fase		Consistência	
Elemento de ref. <sup>a</sup> (se aplicável)		Código de destino	
Central de betão		Cota início de betonagem	
Nº Composição		Volume (m3)	
Dosagem (ou tipo) de betão		Observações	

Recursos Previstos:	Humanos	Equipamentos:
Transporte		
Colocação		
Compactação		
Cura		

**3. Pedido de betonagem (\*)**

Empreiteiro			Autorização da Fiscalização		
Obs.	Data prevista	Rúbrica	Obs.	Data	Rúbrica



**Pedido de Betonagem/Boletim de Verificação de Betão Armado e Cofrado**

Empreitada Geral de Construção do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua

BV Nº \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Frente de Obra:

Frente de Obra Detalhada:

Instruções de preenchimento:

Assinalar com "C" se está conforme e "NC" se está Não Conforme ou N/A se não aplicável; Registrar em OBS ( Observações) as situações não conformes e a acção a efectuar para correcção;

(\*) Após autorização de betonagem por parte da Fiscalização, a pág.1 é enviado para a central de betão, devidamente validada. Posteriormente, o original fica arquivado na Gestão de Qualidade.

O Boletim de Recepção de Betão e o Pedido de Betonagem/Boletim de Verificação de Betão Armado e Cofrado têm a mesma numeração do pedido de betonagem, estando o primeiro arquivado no laboratório e o segundo na Gestão de Qualidade.

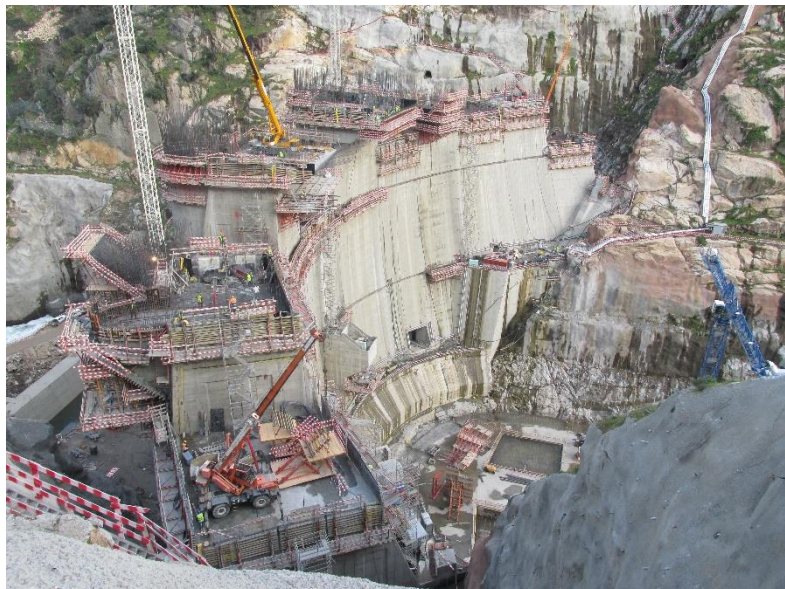
2. PREPARAÇÃO PARA A BETONAGEM			Verificação		
			C/NC	Obs.	
Fundação/junta de betonagem	Superfície limpa e sã, isenta de elementos desagregáveis, ocios, depósitos de matéria orgânica e outras partículas estranhas;				
Juntas de estanquidade	Fixação adequada por forma a impedir o seu deslocamento aquando a colocação e vibração do betão e não as danificando;				
Verificação da armadura	Nº de varões	De acordo com o PE ;			
	Diâmetro				
	Posicionamento				
	Espaçamento				
	Empalmes e amarrações				
	Recobrimento				
	Limpeza		Limpa, sem poeiras ou lama;		
Verificação da Cofragem	Estado	Limpeza e presença de óleo descofrante em toda a superfície em contacto com o betão;			
	Estabilidade	Escoramento em quantidade suficiente e por forma a garantir a estabilidade;			
	Negativos	De acordo com o PE;			
	Estanquidade	Estanque sem perdas de betão;			
	Desempeno	Desempenada de forma a evitar irregularidades significativos na peça betonada;			
	Implantação e marcação	De acordo com o PE;			
4. Betonagem			Verificação		
			DATA	C/NC	Obs.
Condições de aplicação e cura	Garantir a vibração contínua e uniforme por forma a não provocar segregação; garantir que não haja perdas de humidade;				
Hora de início:	Hora de fim: _____		Observações:		
Empreiteiro			Fiscalização		
Obs.	DATA	Rúbrica	Obs.	DATA	Rúbrica
5. Descofragem			Verificação		
			DATA	C/NC	Obs.
Superfície do betão	Sem armadura à vista, sem chochos e sem fissuras de retracção;				
Empreiteiro			Fiscalização		
Obs.	DATA	Rúbrica	Obs.	DATA	Rúbrica

## Anexo 4

- Fotografias da evolução da construção da barragem



Fevereiro de 2015



*Vista da margem direita*



*Vista de montante*



*Vista de jusante*

Março de 2015



*Vista da margem esquerda de montante*



*Vista de montante*



*Vista da margem direita*

Abril de 2015



*Vista de jusante*



*Vista de jusante*

Maio de 2015



*Vista da margem direita*



*Vista de jusante*

Junho de 2015



*Vista de jusante*

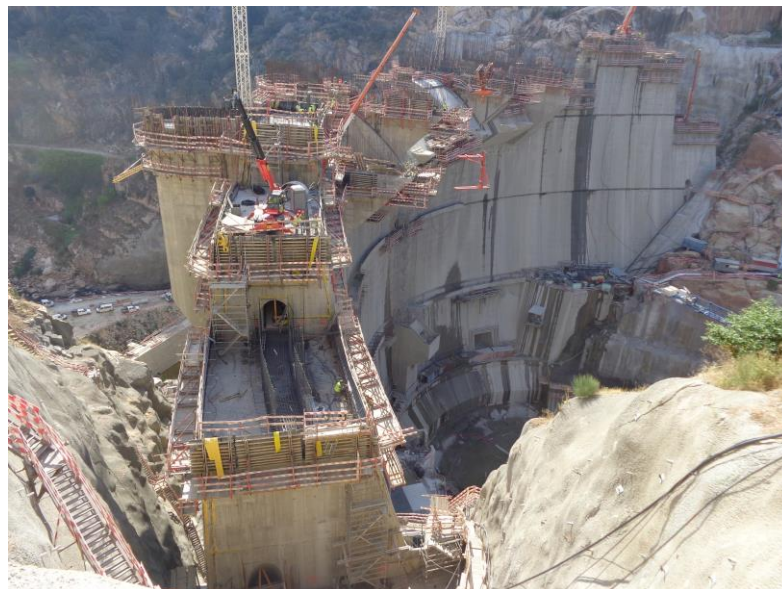


*Vista de montante*



*Vista da margem esquerda*

**Julho de 2015**



*Vista da margem direita*



*Vista de montante da margem direita*



*Vista de montante*



*Vista de montante*



*Vista de jusante*

Outubro de 2015



*Vista aérea (SkyEye, 2015)*



*Vista aérea de jusante (SkyEye, 2015)*



*Vista aérea de montante (SkyEye, 2015)*



*Vista aérea de montante, (SkyEye, 2015)*