

# RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Licenciatura em Energia e Ambiente

Amílcar Manuel Fernandes Marrocano

dezembro | 2015





**IPG**

Politécnico  
|da|Guarda

Polytechnic  
of Guarda

# APROVEITAMENTOS MINI-HÍDRICOS

Licenciatura em Energia e Ambiente

Amílcar Manuel Fernandes Marrocano

Número de Aluno: 1010806





Instituto Politécnico da Guarda

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

---

## Relatório de Estágio

ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM

**Orientador ICOVI:** Engenheiro Hugo Ricardo Carrola Fonseca Ramos

**Docente Orientador:** Professor Carlos Alberto Figueiredo Ramos

Amílcar Manuel Fernandes Marrocano

Energia e Ambiente

Dezembro de 2015



# Ficha de Identificação

## **Aluno:**

Nome: Amílcar Manuel Fernandes Marrocano

Número: 1010806

Morada: Avenida Dona Laura Monteiro Maricoto n.º 107

Localidade: Ferro - Covilhã

Telemóvel: 968 436 295

Correio eletrónico: amilcarmfmarrocano@gmail.com

## **Entidade de acolhimento do estágio:**

Denominação: ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM

Morada: Avenida Viriato n.º 194

Localidade: Tortosendo – Covilhã

## **Orientadores:**

Nome do orientador de estágio na empresa: Engenheiro Hugo Ricardo Carrola Fonseca Ramos

Nome do docente orientador: Professor Carlos Alberto Figueiredo Ramos

**Data de Realização do Estágio:** De 27/7/2015 a 27/10/2015



# Agradecimentos

Com a finalização deste relatório de estágio não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram neste percurso tão importante da minha vida pessoal e profissional.

Começo pelos meus Pais, por me proporcionarem todas as condições essenciais para eu concluir esta licenciatura e por me garantirem todos os meios necessários para a realização deste estágio e às minhas Irmãs por todo o apoio.

A todos os meus amigos e namorada, um sincero obrigado, por tudo!

Aos Professores do Instituto Politécnico da Guarda, por todo o conhecimento transmitido.

Aqui presto também o meu agradecimento ao Professor Orientador Carlos Alberto Figueiredo Ramos por toda a disponibilidade para ajudar, não apenas, nesta fase final mas também durante toda a licenciatura.

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos da empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM, que me acolheram durante o período de estágio, ao administrador Doutor Carlos Mineiro gostaria de agradecer a oportunidade que me foi concedida de realizar o estágio.

Em especial, ao meu orientador Engenheiro Hugo Ramos por todo o apoio, disponibilidade e ensinamento transmitido, abdicando do seu tempo para me “aturar”, durante o estágio e ao Arquiteto Filipe Oliveira por todo o companheirismo prestado.





## Resumo

O presente relatório de estágio enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Projeto para a conclusão do curso de Energia e Ambiente. Ao longo dos três meses de estágio foram adquiridos conhecimentos sobre o funcionamento, gestão e organização da empresa de acolhimento.

O objetivo principal do estágio é o estudo, promoção e gestão dos investimentos relativos a aproveitamentos energéticos e venda de energia elétrica, em que a sua produção é de origem renovável, bem como o apoio em outras áreas de intervenção da empresa, nomeadamente o abastecimento de água em alta e a gestão de infraestruturas municipais.

O presente relatório de estágio tem como principal incidência o estudo de aproveitamentos hidroelétricos. O estagiário realizou um estudo preliminar relativo à produção de energia hidroelétrica a partir do sistema de abastecimento de água potável do Concelho da Covilhã, associado à obra que se encontra em execução, a qual se encontra em fase de renovação e amplificação, com a construção de cerca de vinte e cinco quilómetros de conduta adutora e seis novos reservatórios.

Os aproveitamentos mini-hídricos têm como objetivo associar ao Sistema de Abastecimento de Água em Alta do Concelho da Covilhã, um conjunto de centrais mini-hídricas, de forma a ser possível aproveitar a energia associada à adução gravítica a partir do sistema da barragem Cova do Viriato, localizada nas Penhas da Saúde.

Outro dos objetivos do estágio foi o apoio ao departamento técnico da empresa. Relativamente a este ponto foram abordadas uma série de temáticas, nomeadamente a análise das pressões de serviço em todos os troços adutores em construção, de forma a serem executados os ensaios de estanquidade. Após o estudo anterior efetuou-se a análise da localização de vários locais para a implementação de válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento.

Foram ainda realizadas diversas visitas à obra para acompanhamento/supervisionamento da mesma, estando estes temas relacionados, de uma forma ou de outra, com o estudo efetuado no âmbito dos aproveitamentos mini-hídricos atrás referidos.

**Palavras-chave:** Aproveitamentos Hidroelétricos; Energia elétrica; Válvula Redutora de Pressão; Pressão de Serviço;

## Abstract

This internship report fits within the course of Project for conclusion the graduation at Energy and Environment. Along three months of internship they're acquired information about the action, management and company organization.

The main goal is promote and manage investments of energy uses and sale of electricity, where its production is of renewable origin, as well as support in other areas in the intervention company.

This internship report has as its main focus the study of hydroelectric developments. The trainee conducted a preliminary study on the production of hydroelectric power from the drinking water supply system of the Municipality of Covilhã, associated with the work that is currently running, which is currently under renovation and amplification stage, with the construction of about twenty-five kilometers of water main pipe and six new reservoirs.

The mini-hydro aim to join the Water Supply System in High of the Municipality of Covilhã, a set of mini-hydro plants, in order to be able to harness the energy associated with adduction gravity from system of Cova do Viriato, located in the Penhas da Saúde.

Another stage of the targets was the support of the technical department of the company. In this connection it was discussed a number of issues, including the analysis of the operating pressure in all sections adducts in construction, so as to be executed the leakage tests. After the previous study we performed an analysis of the location of various locations for implementation of pressure reducing valves and gate valves.

They were also carried several visits to work for monitoring/supervision of the same, and these related topics in one way or another with the study conducted under the mini-hydro above.

**Keywords:** Hydroelectric exploitations; Electrical energy; Reducing Valve Pressure; Operating pressure;

(página em branco)

# Índice

1. Descrição da empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM .....	1
1.1 Âmbito .....	1
1.2 Localização.....	2
1.3 Projetos realizados .....	2
1.4 Projetos em execução .....	3
1.5 Projetos futuros .....	4
2. Introdução à Energia Hídrica .....	5
2.1 Importância da energia .....	5
2.2 Energia hídrica .....	6
3. Elementos Base.....	7
3.1 Abastecimento de água e determinação de caudais .....	7
3.2 Estudo da evolução da população.....	8
3.3 Necessidades de água .....	9
3.4 Variações de consumo.....	11
3.5 Centrais hidroelétricas.....	12
3.5.1 Máquinas hidráulicas.....	13
3.5.2 Principais tipos de turbinas .....	14
3.5.3 Turbinas de reação .....	15
3.5.4 Turbinas de ação.....	17
3.5.5 Centrais mini-hídricas .....	21
3.6 Campos de aplicação .....	22
3.7 Curva de rendimento das turbinas.....	22
3.8 Produção de energia elétrica.....	23
3.9 Tarifa de venda de energia elétrica .....	24
3.10 Apoio técnico à empresa .....	25
3.10.1 Pressão de serviço e ensaio.....	25
3.10.2 O EPANET.....	26
3.10.3 Válvulas redutoras de pressão .....	27
3.10.4 Válvulas de seccionamento .....	27
4. Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios .....	29

4.1 Enquadramento .....	29
4.1.1 Sistema e Infraestruturas .....	29
4.1.2 A Barragem .....	30
4.1.3 Estação de Tratamento de Água .....	31
4.1.4 Adução .....	32
4.1.5 Reservatórios .....	33
4.2 Conceção e implantação.....	34
4.3 Altura de queda bruta e útil .....	35
4.4 Caudal de dimensionamento.....	36
4.4.1 Volumes de água aduzidos por reservatório.....	36
4.4.2 Caudais considerados .....	37
4.5 Produção e venda de energia elétrica.....	38
4.6 Despesas .....	38
4.6.1 Investimento inicial .....	38
4.7 Exemplo de estudo .....	39
4.7.1 Descrição do caso de estudo .....	39
4.7.2 Resultados .....	39
4.7.3 Discussão de resultados .....	40
<i>5. Pressão de serviço, válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento (Apoio técnico) .....</i>	<i>41</i>
5.1 Dimensionamento no EPANET .....	41
5.1.1 Configuração do projeto.....	41
5.1.2 Traçado da rede.....	42
5.1.3 Configurar as propriedades dos nós e tubagens.....	43
5.1.4 Configurar as propriedades do reservatório .....	44
5.1.5 Adicionar os padrões temporais.....	45
5.1.6 Executar simulação dinâmica .....	46
5.2 Estudo de pressão de serviço .....	47
5.2.1 Colocação de válvulas redutoras de pressão em EPANET.....	47
5.2.2 Colocação das válvulas de Seccionamento .....	48
<i>6. Visitas técnicas à obra e ETA Penhas da Saúde.....</i>	<i>49</i>
<i>7. Conclusão.....</i>	<i>51</i>
<i>Bibliografia .....</i>	<i>53</i>

<i>Anexo I</i> .....	55
<i>Anexo II</i> .....	63

## Índice de Figuras

Figura 1 - Sede ICOVI, EM .....	2
Figura 2 - Projeto Covilhã Solar - inversor (esquerda) e painel/coletor solar (direita) ....	2
Figura 3 - Reservatório, em construção .....	3
Figura 4 - Perspetiva do Reservatório (em execução) e futura ETA Varanda dos Carqueijais .....	4
Figura 5 - Funcionamento de uma Central Hidroelétrica.....	12
Figura 6 - Turbina Kaplan.....	16
Figura 7 - Turbina Francis. ....	17
Figura 8 - Órgãos da turbina Pelton.....	18
Figura 9 - Injetor em funcionamento numa turbina Turgo .....	19
Figura 10 - Órgãos e funcionamento da Turbina Cross-Flow .....	20
Figura 11 - Funcionamento Horizontal (a) e Funcionamento Vertical (b) .....	20
Figura 12 - Campo de aplicação de cada turbina, em função na queda útil e do caudal .....	22
Figura 13 - Barragem Cova do Viriato .....	30
Figura 14 - Localização Barragem Cova do Viriato e ETA Penhas da Saúde.....	31
Figura 15 - Estação de Tratamento de Água Penhas da Saúde .....	31
Figura 16 - Novo Sistema Adutor em Alta .....	32
Figura 17 - Conduas Adutoras (Ferro Fundido Dúctil) .....	32
Figura 18 - Reservatório em construção (2000 m <sup>3</sup> ).....	33
Figura 19 - Planta dos Reservatórios .....	34
Figura 20 - Pormenor tipo de um reservatório em funcionamento com a turbina .....	35
Figura 21 - Desenho da rede em EPANET (Zona Sul).....	42
Figura 22 - Desenho da rede em EPANET (Zona Norte) .....	42
Figura 23 - Propriedades dos Nós (EPANET) .....	43
Figura 24 - Coeficientes das fórmulas de perda de carga para condutas novas.....	43
Figura 25 - Propriedades das condutas .....	44

Figura 26 - Propriedades do Reservatórios (300 m <sup>3</sup> - esquerda; 1000m <sup>3</sup> - centro; 2000m <sup>3</sup> - direita) .....	44
Figura 27 - Padrão temporal.....	45
Figura 28 - Simulação dinâmica (Zona Sul).....	46
Figura 29 - Simulação dinâmica (Zona Norte) .....	46
Figura 30 - Propriedades em EPANET de VRP .....	47
Figura 31 - Modelo Digital do Terreno do Concelho da Covilhã .....	56
Figura 32 - Projeto de execução (exemplo).....	58
Figura 33 - Rede global .....	62
Figura 34 - Escavação e execução de fundações – Reservatórios.....	64
Figura 35 - Execução de fundações e Pré-fabricados – Reservatórios.....	64
Figura 36 - Camara de Manobras – Reservatórios .....	65
Figura 37 - Trabalho de execução de condutas adutoras .....	65
Figura 38 - Execução do Simulacro .....	66
Figura 39 - O Reservatório em execução.....	66
Figura 40 - Perfuração horizontal e escavadora.....	67
Figura 41 - Aplicação de acessórios .....	67
Figura 42 - Tratamento de água (ETA).....	68
Figura 43 - ETA (filtros de areia, bombas e descarregadores) .....	68

## Índice de Quadros

Quadro 1 - Distribuição média do consumo global pelos diferentes usos .....	7
Quadro 2 - Variações de Consumo ao longo do ano.....	11

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Curva de rendimento das turbinas em função do caudal .....	22
Gráfico 2 - Curva de rendimento - Turbina Pelton .....	37
Gráfico 3 - Pressão de serviço (exemplo) .....	59
Gráfico 4 - Pressão de serviço com as válvulas de secionamento (exemplo) .....	60



Gráfico 5 - Estudo final (Pressão de serviço, pressão de ensaio e eventual posicionamento de válvulas de seccionamento; exemplo) .....	61
--	----

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Volumes medidos à entrada dos sistemas de distribuição .....	39
Tabela 2 - Cálculo relativo às características do troço .....	39
Tabela 3 - Cálculo da potência e energia produzida anual.....	40
Tabela 4 - População do Concelho da Covilhã.....	57

## Guia de Leitura

O presente relatório de estágio tem como objetivo dar a conhecer a todos os leitores a minha intervenção na empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM, com especial incidência sobre o “Estudo preliminar de Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios”.

Na primeira parte do presente relatório é abordado o “Estudo preliminar de Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios” e é neste contexto que se desenvolve este trabalho, que se divide por várias fases:

- ✓ 1ª Fase: é realizada uma revisão bibliográfica sobre todos os temas desenvolvidos durante o estágio;
- ✓ 2ª Fase: é realizado uma pequena explicação/introdução do contexto/enquadramento do estudo;
- ✓ 3ª Fase: é realizado um exemplo prático, que desenvolve todas as metodologias para a realização do estudo preliminar das centrais mini-hídricas, focado na determinação do caudal, altura de queda útil e rendimento das turbinas e posteriormente o cálculo da produção e venda energia elétrica;

Na segunda parte do presente relatório, no âmbito do apoio técnico dado à empresa, foi realizado o estudo sobre as pressões de serviço ao longo das condutas adutoras em execução de forma a serem realizados os ensaios de estanquidade. Com a informação obtida foi igualmente possível elaborar o estudo da localização das válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento, tendo sido usado para o efeito o programa EPANET.

(página em branco)

# 1. Descrição da empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM

## 1.1 Âmbito

**Potenciar recursos preservando o Ambiente** é o lema da empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM que iniciou a sua atividade no dia 1 de Março de 2009 tendo sido constituída como empresa municipal. A empresa surge da necessidade de gerir o abastecimento de água em Alta, tem como promover e dinamizar as energias renováveis e as infraestruturas existentes no concelho da Covilhã.

A empresa propõe-se a potencializar todos os recursos naturais existentes no concelho – sejam eles hídricos, eólicos, solares, entre outros, em prol do bem-estar e progresso de todos os munícipes, garantindo a preservação da riqueza natural do concelho.

A ICOVI é a entidade responsável pelo Abastecimento de Água em Alta ao Concelho da Covilhã, sendo responsável pela captação, tratamento e adução de água até aos pontos de entrega, garantindo a qualidade e quantidade de água necessária para se efetuar o correto abastecimento de água, tanto no presente como no futuro, salvaguardando a sustentabilidade ambiental.

Na área das Energias Renováveis a ICOVI tem também como objetivo a exploração de outros recursos naturais existentes, nomeadamente a produção de energia elétrica através de fontes renováveis (eólica, hídrica e solar), sendo responsável por um conjunto de estudos e projetos no sentido de dinamizar o recurso às energias não poluentes, contribuindo assim de forma significativa para a redução da dependência dos combustíveis fósseis.

Na área do Município da Covilhã a ICOVI é também responsável pela gestão, construção e conservação de infraestruturas pertencentes ao município.

## 1.2 Localização

A empresa tem a sua sede na Avenida do Viriato n.º 194, na Freguesia do Tortosendo, no concelho da Covilhã, distrito de Castelo Branco.



Figura 1 - Sede ICOVI, EM [Fonte: ICOVI]

## 1.3 Projetos realizados

A ICOVI, EM é responsável pela implementação do Projeto Covilhã Solar, o qual consiste no fornecimento e montagem de unidades de microgeração de energia elétrica através da energia solar e também de coletores solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias. Estes sistemas foram instalados em estabelecimentos de ensino, instituições de ação social, juntas de freguesias, pavilhões e outros espaços públicos existentes o concelho da Covilhã.



Figura 2 - Projeto Covilhã Solar - inversor (esquerda) e painel/coletor solar (direita)

Foi também elaborado um estudo de caracterização e avaliação do potencial eólico do Concelho da Covilhã, com a colocação de várias torres de medição em pontos estratégicos do concelho, com o objetivo de se fazer um levantamento de potencial eólico para uma possível instalação futura de parques eólicos.

A empresa é ainda responsável pela gestão e conservação de infraestruturas como as piscinas municipais, piscina-praia, o complexo desportivo, entre outras.

## 1.4 Projetos em execução

Encontra-se atualmente em execução a 1ª fase do Projeto de Abastecimento de Água em alta ao Concelho, com candidatura aprovada no POVT - Programa Operacional de Valorização do Território, num valor global de cerca de 11 milhões de euros.

Esta primeira fase caracteriza-se pela beneficiação/remodelação da Estação de Tratamento de Água das Penhas da Saúde, execução de 6 novos reservatórios e de cerca de 25 Km condutas adutoras, incluindo a remodelação da conduta entre a ETA das Penhas da Saúde e a Camara de Perda de Carga da Varanda dos Carqueijais. Estas infraestruturas permitirão renovar e ampliar o atual sistema, com origem na Barragem Cova do Viriato cujo mau estado de conservação e capacidade muito reduzida, limita a sua autonomia. As obras estarão concluídas ainda no final deste ano.



Figura 3 - Reservatório, em construção

## 1.5 Projetos futuros

A empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM tem como um dos seus principais objetivos futuros a concretizar o Projeto de Abastecimento de Água em alta do Concelho, a 2ª fase do Projeto a qual consiste na construção da Barragem da Ribeira das Cortes, na execução de uma nova Estação de Tratamento de Água da Varanda dos Carqueijais e na respetiva conduta adutora (entre a barragem e a ETA).

Com a concretização da 2ª fase do Projeto de Abastecimento o concelho poderá passar a ser abastecido a partir das duas albufeiras (Cova do Viriato e Ribeira das Cortes), superando assim os problemas de quantidade e qualidade da água disponível, dado que os diferentes tipos de captações (através de furos, minas, nascentes e poços) apresentam variações de caudal e qualidade ao longo do ano, o que aumenta significativamente as dificuldades na gestão da água para abastecimento aos municípios.

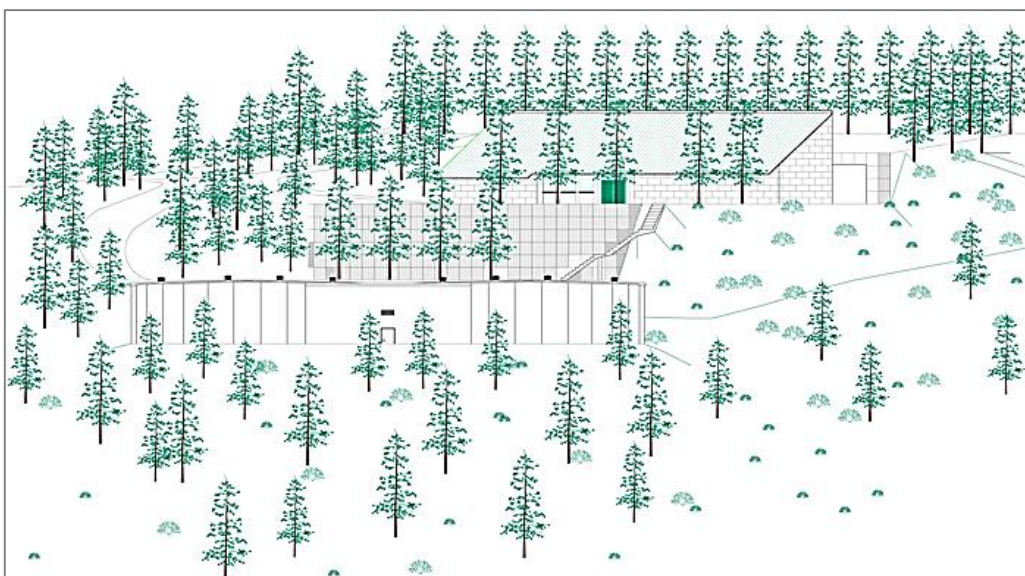


Figura 4 - Perspetiva do Reservatório (em execução) e futura ETA Varanda dos Carqueijais

Após a conclusão da execução e entrada em funcionamento dos novos reservatórios, um projeto futuro poderá passar pela concretização de possíveis Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios, tendo por base o estudo desenvolvido pelo estagiário.

## 2. Introdução à Energia Hídrica

O presente relatório visa apresentar o trabalho desenvolvido pelo estagiário, na empresa ICOVI – Infraestruturas e Concessões da Covilhã, EM. O estágio consistiu essencialmente na realização de um estudo preliminar técnico, no que diz respeito aos Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios, bem como no apoio técnico à empresa.

O “Estudo preliminar de Aproveitamentos Mini-hídricos” é desenvolvido na necessidade de uma análise, de uma forma simples e expedita, para este tipo de projetos. Caso seja um projeto de interesse económico poderá ser levado para um estudo mais aprimorado e posteriormente para projeto de execução.

### 2.1 Importância da energia

A energia é um recurso imprescindível para que possa existir vida no nosso planeta. É necessária energia para nos movermos, para comunicarmos, para assegurar a iluminação e o conforto térmico nas nossas casas, etc.

A energia apresenta-se de diversas formas na natureza (como exemplo o petróleo bruto, carvão, gás natural, nuclear, geotérmica, biomassa, hídrica, eólica, solar, ondas do mar, marés, entre outros) e é convertida em outras formas de energia mais adequadas a cada utilização. Entre todas as outras formas de energia, destacam-se os combustíveis petrolíferos refinados (gasolina, gasóleo, gás natural) e a energia elétrica.

Devido aos problemas ambientais surge a utilização de energias renováveis, que por serem consideradas “energias limpas”, contribuem para a diminuição da poluição atmosférica, aquática e dos solos. As energias renováveis incluem todas as formas de energia não poluentes, como a solar, a eólica, a hídrica, a geotérmica, das ondas e marés e da biomassa.

Como Portugal não possui reservas de combustíveis fósseis, os recursos energéticos endógenos explorados resumem-se essencialmente às energias renováveis das quais destacamos a biomassa vegetal e a energia hídrica e eólica, sendo a primeira destinada essencialmente à produção de calor e as últimas utilizadas na produção de eletricidade.



## 2.2 Energia hídrica

A energia hídrica é um tipo de energia renovável que já é utilizada há muitos anos. As civilizações antigas aproveitavam o relevo dos solos para utilizar a água na agricultura, em terrenos de regadio. Os romanos começaram a utilizar a água numa espécie de sistemas hidráulicos para a moagem dos cereais. Ao longo dos anos, esses sistemas vieram a ter uma grande utilização e no século XX a energia hídrica começou a ser utilizada para a produção de energia elétrica.

As centrais hidroelétricas visam a produção de energia elétrica, a partir da energia potencial da água que, em regime natural, se dissipa ao longo do leito. Podem funcionar a fio de água, isto é, aproveitar a energia dos caudais fluviais em regime natural, ou podem armazenar, na albufeira, os caudais que ocorrem em regime natural, para a utilização em condições mais vantajosas, isto é, durante os consumos de ponta, ou durante os períodos mais secos, alterando o regime natural de caudais afluentes ao aproveitamento.

As centrais hidroelétricas usam a energia hidráulica entre o nível a montante (albufeira) e do rio a jusante (na restituição). Essa energia faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que, por sua vez, produz eletricidade.

As centrais hídricas são o modo mais eficiente de gerar eletricidade e contribuem para a estabilidade do sistema elétrico. Atualmente, em ano médio, cerca de 30% da eletricidade consumida em Portugal tem origem hídrica.

## 3. Elementos Base

O presente capítulo consiste na revisão bibliográfica necessária para realizar o “Estudo preliminar de Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios”, evidenciando as especificações e metodologias para a resolução de todos os temas abordados.

### 3.1 Abastecimento de água e determinação de caudais

A qualidade de água nos sistemas de abastecimento é uma necessidade indispensável para a sociedade, na elaboração de estudos/projetos da área do Saneamento Básico. Seja um sistemas de abastecimento e tratamento de água ou de drenagem, é necessário realizar uma avaliação tão correta quanto possível das quantidades de água necessária e rejeitada, bem como as características da água na origem e após a utilização.

Em cada projeto relativo ao abastecimento de água o primeiro passo para o desenvolvimento do projeto é a avaliação das necessidades de água. A quantidade de água necessária ao abastecimento da população é condicionada pelos seus diferentes usos (domésticos, industriais, agrícolas, entre outros), a região e o clima, os hábitos de higiene da comunidade, turismo, condições socioeconómicas, ou seja, não se tratando de um dado estático mas que apresenta alterações com o passar do tempo.

Como não é uma tarefa simples e envolve custos elevados, a margem de erro deve ser minimizada para esse horizonte de projeto. Para esse efeito devem-se recolher dados estatísticos ou previsões que possibilitem o prognóstico das necessidades da população a servir.

A globalidade de água consumida por uma comunidade é composta por determinadas parcelas, tal como se evidencia na tabela seguinte:

Quadro 1 - Distribuição média do consumo global pelos diferentes usos

Uso	% do Total
Doméstico	44
Industrial	24
Comercial	15
Público	9
Fugas e perdas	8

[Fonte: MARQUES, José; SOUSA, Joaquim – Hidráulica Urbana: Sistema de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais]

Relativamente ao quadro anterior, a utilização doméstica representa 44% da totalidade da água fornecida em áreas urbanas. As quantidades de água utilizadas pela indústria e comércio dependem do tipo de indústria/atividade em questão. O consumo público é o termo utilizado para denominar as quantidades de água, que apesar de serem utilizadas com objetivo de satisfazer as necessidades das populações, não se encontram englobadas nos consumos domésticos. As fugas e perdas compreendem os volumes de água que se dissipam ao longo do sistema (através de juntas deficientes, roturas de condutas, ligações clandestinas, entre outros).

O intervalo de tempo de vida de projeto é denominado “horizonte de projeto”. O horizonte de projeto é definido em função de:

- a) O tempo de vida útil dos diferentes componentes;
- b) Do grau de dificuldade da execução das obras de ampliação;
- c) Da previsão de eventuais aumentos de consumos de água, tanto pela população, como pela indústria, ou agricultura;
- d) Do comportamento dos diferentes componentes do sistema nos primeiros anos de funcionamento.

## 3.2 Estudo da evolução da população

A quantidade de água a fornecer a cada reservatório depende dos caudais distribuídos a jusante desse reservatório. Para a avaliação desse caudal é fulcral saber o número de habitantes e o consumo diário de água por habitante, de cada freguesia a servir.

A evolução da população de cada freguesia pode ser obtida por vários métodos, a sua escolha deve ser efetuada pelo projetista e características da zona em estudo.

A aplicação dos métodos é baseada nos dados disponíveis ao projetista (ex. Estudos de planeamento urbanísticos, censos populacionais, inquéritos locais e recenseamentos eleitorais). Sendo a evolução temporal de uma população um fenómeno de grande complexidade, envolvendo fatores sociais e económicos, tem-se procurado aplicar a evolução populacional por vários métodos, cujo fundamento comum é baseado no historial (dados estatísticos).

Os métodos de projeção demográfica podem ser aplicados por métodos gráficos e métodos matemáticos.

Os métodos gráficos obtêm-se através de uma representação gráfica do conjunto de pontos correspondentes ao número de habitantes ao longo dos anos de recenseamento e em seguida ajusta-se uma reta aos pontos anteriormente definidos.

Os métodos matemáticos são aqueles que procuram traduzir a evolução populacional por expressões analíticas simples, sendo os mais usuais os seguintes:

- Método do crescimento aritmético;
- Método do crescimento geométrico;
- Método da curva logística.

É de realçar que Portugal, como todos os países Europeus, se encontra em fase de estabilização ou mesmo de decréscimo populacional, sendo muito acentuado esse fenómeno no interior do País.

### 3.3 Necessidades de água

A globalidade da água consumida por uma comunidade é composta por várias parcelas, em função do fim a que se destinam, podendo classificar-se em:

- Consumos Domésticos;
- Consumos Industriais e Comerciais;
- Consumos Públicos;
- Combate a Incêndios;
- Fugas e Perdas.

A necessidade de água é encarada de forma dinâmica, existem vários fatores que provocam essas alterações. Entre todos fatores podem-se salientar:

- O clima;
- A dimensão do aglomerado;
- O nível económico e cultural da população;
- A qualidade e o custo da água distribuída;
- A existência, ou não, de indústria e comércio;
- As características das construções existentes;
- O estado do sistema de abastecimento de água.

As quantidades de água para satisfazer os consumos domésticos dependem do número de habitantes e do consumo diário de cada habitante, que podem sofrer alterações ao longo do tempo. Por uma questão de simplicidade, é prática comum realizar o cálculo com a totalidade de água consumida (capitação global).

Em Portugal é frequente encontrar captações que variam entre os 80 l/hab.dia em comunidades de pequenas dimensões e os 400 l/hab.dia em grandes núcleos urbanos. Estima-se que a utilização de água seja aproximadamente 145 l/hab.dia variando a captação diária regional entre cerca de 130 litros, nos Açores, e mais de 290 litros, no Algarve.

O Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, de 23 de Agosto de 1995 (RGSPDADAR) fixa apenas as captações mínimas que deverão servir de base à elaboração de projetos de sistemas de abastecimento de água.

Os valores referem-se a consumos exclusivamente domésticos e dependem dos núcleos populacionais, os valores são os seguintes:

- a) até 1.000 habitantes a captação corresponde a 80 l/hab.dia;
- b) de 1.000 a 10.000 habitantes a captação corresponde a 100 l/hab.dia;
- c) de 10.000 a 20.000 habitantes a captação corresponde a 125 l/hab.dia;
- d) de 20.000 a 50.000 habitantes a captação corresponde a 150 l/hab.dia;
- e) a partir de 50.000 habitantes a captação corresponde a 175 l/hab.dia.

Relativamente a consumos industriais, comerciais e de serviços, as necessidades de água utilizadas dependem essencialmente do tipo de fornecimento em questão. Existem variadíssimos tipos: a indústria pecuária, indústria do leite ou derivados, unidades hoteleiras e restauração, estações de serviço e oficinas, lavandarias, tinturarias e outras unidades de indústria ou de comércio.

Para os consumos públicos, apesar de serem utilizados para satisfazer as necessidades da população, não podem ser englobados nos consumos domésticos (por exemplo em escolas, residências de estudantes, hospitais, clínicas, consultórios, recintos de espetáculos, aeroportos, mercados, centros comerciais, sanitários públicos e em piscinas), estes tipos estabelecimentos públicos por vezes atingem grandes proporções de consumo de água.

Para os volumes de água em fugas e perdas o RGSPDADAR sugere que se considere um acréscimo de no mínimo 10% do volume de água que entra em novos sistemas de distribuição.

Para a determinação do caudal médio diário ( $Q_{\text{médio}}$ ), de um dado aglomerado, é utilizada a seguinte equação:

$$Q_{\text{médio}} = \text{Habitantes} \times \text{Captação} \quad [l/dia] \quad (1)$$

### 3.4 Variações de consumo

O consumo de água não é uma grandeza constante variando não somente durante o dia mas durante a semana (variação nos fins de semana – acréscimo de 30%) e ao longo do ano (estações do ano). Em climas como o de Portugal, considera-se que o consumo máximo mensal eleva-se 30% acima do médio, nos meses de Julho e Agosto.

O quadro seguinte representa as variações do consumo referente a cada mês, sendo visível que o fator de variação de consumo é tanto maior quanto mais nos aproximamos da época de Verão, em resultado das maiores necessidades de água e derivadas do aumento da temperatura. Pelas razões contrárias, no Inverno e meses mais frios este consumo é menor.

A média da variação do consumo ao longo do ano é 1, como se poderá ver no Quadro 2.

Quadro 2 - Variações de Consumo ao longo do ano

<b>Variações de Consumo ao longo do ano</b>	
Janeiro	0,70
Fevereiro	0,70
Março	0,80
Abril	0,90
Maio	1,10
Junho	1,25
Julho	1,30
Agosto	1,30
Setembro	1,25
Outubro	1,15
Novembro	0,85
Dezembro	0,70

[Fonte: MARQUES, José; SOUSA, Joaquim – Hidráulica Urbana: Sistema de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais]

### 3.5 Centrais hidroelétricas

Uma central hidroelétrica consiste numa infraestrutura cujo objetivo é a produção de energia elétrica através da transformação de energia hidráulica. Esta é basicamente composta por um gerador ou fonte de energia, alternador, conjunto de motor e estação transformadora.

As centrais hidroelétricas, em geral, localizam-se nos leitos dos rios ou em zonas onde as águas desaguam em superfícies líquidas naturais ou artificiais.

Nas centrais hidroelétricas ocorrem várias transformações de energia. Quando as comportas da barragem abrem, a energia potencial gravítica da água armazenada na albufeira é transformada em energia cinética. Já na central, a energia cinética da água é transferida para as pás das turbinas, fazendo-as mover e estas, por sua vez, acionam os ímanes dos geradores elétricos. Estes transformam energia mecânica em energia elétrica que, posteriormente, é transportada para os diferentes locais, através das linhas de transporte (como demonstrado na figura seguinte).

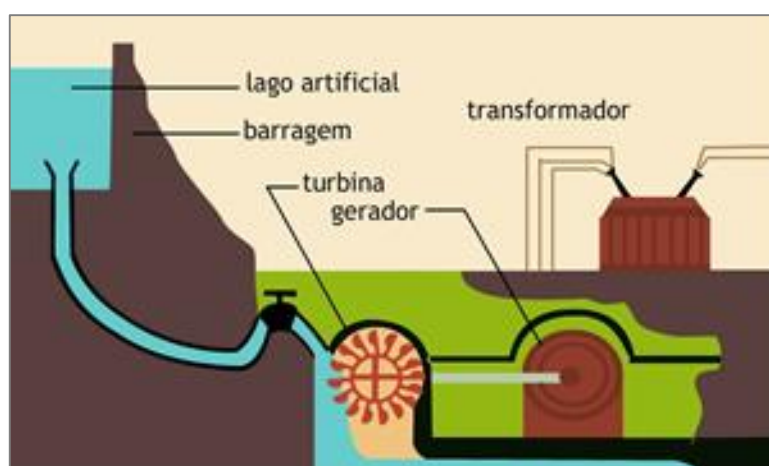


Figura 5 - Funcionamento de uma Central Hidroelétrica [Fonte: Infoescola]

A tecnologia das centrais hidroelétricas encontra-se, atualmente, bem desenvolvida, pois possibilita a produção de energia elétrica a partir de energia hidráulica, de modo fácil, económico e pouco poluente, ainda que antes de ser decidido o local para a implantação de um aproveitamento hidroelétrico, deve ser feito um estudo completo e rigoroso do impacto ambiental (caso seja necessário).

A primeira central hidroelétrica construída em Portugal, em 1922 foi a Central de Lindoso (Minho).

Em Portugal, sendo que a produção bruta de energia elétrica é obtida a partir das várias fontes energéticas, a energia hídrica contribui com cerca de 30% dos 65% provenientes de energia renovável.

### 3.5.1 Máquinas hidráulicas

As máquinas hidráulicas são aparelhos colocados em sistemas hidráulicos promovendo a troca de energia mecânica entre o fluido (geralmente água) e o rotor. Podem também ser classificadas do ponto de vista mecânico como turbomáquinas hidráulicas.

As turbinas recebem energia hidráulica (o fluido exerce trabalho sobre o veio do rotor), proveniente de uma certa altura disponível (coluna de água), transforma-se em energia mecânica e através do gerador em energia elétrica.

A potência da turbina é sempre inferior à potência fornecida pelo escoamento devido às perdas na transformação da energia na turbina.

As bombas funcionam no sentido inverso, através da energia mecânica geram energia hidráulica utilizando-se assim para o transporte/elevação de fluidos a diferentes cotas e distâncias.

Os trajetos do fluido no rotor podem ser considerados:

- Radiais: se as linhas de corrente estiverem contidas predominantemente em planos perpendiculares ao eixo de rotação;
- Axiais: se as linhas de corrente estiverem contidas predominantemente, em direções paralelas ao eixo;
- Mistas: se o escoamento for parcialmente radial e axial, tangenciais, se o escoamento fizer um plano perpendicular ao eixo de rotação e for predominantemente na direção tangencial.

O escoamento das turbomáquinas pode ser classificado como:

- Aberto: quando o escoamento não é limitado por paredes;
- Fechado: quando o rotor está constituído numa caixa cujas paredes limitam o escoamento.

O número dos elementos do rotor pode ser classificado como:

- Unicelular: quando o rotor seja constituído por um conjunto de pás principais;
- Multicelular: quando o rotor é constituído por mais do que conjunto de pás principais.



Os parâmetros que caracterizam o funcionamento de uma turbomáquina são agrupados em três conjuntos: as variáveis de controlo, as propriedades do fluido e características geométricas.

As variáveis de controlo são aquelas que se podem influenciar diretamente, tais como o caudal através de válvulas e a velocidade de rotação. Neste tipo de máquinas o fluido é sempre considerado incompressível, pelo que a variação do peso específico do fluido durante o escoamento é desprezável e o coeficiente de viscosidade também é mantido constante. A alteração das propriedades do fluido no escoamento modificaria as características de funcionamento das turbomáquinas. Cada turbomáquina possui determinadas características geométricas de projeto, pelo que influencia as respetivas condições de funcionamento. A geometria da turbomáquina só pode ser descrita quando se utiliza um elevado número de parâmetros geométricos (diâmetro do rotor, ângulos das pás, relações entre comprimentos, entre outros).

### 3.5.2 Principais tipos de turbinas

As turbinas são divididas em dois grupos consoante o seu princípio de operação, turbinas de **ação** e turbinas de **reação**.

Os rotores das turbinas de reação encontram-se totalmente imersos em água e colocados dentro de uma caixa protetora de pressão. As pás do rotor apresentam um sistema geométrico adequado, para que as diferenças de pressão entre elas imponham forças que promovam a rotação do rotor.

As turbinas de reação mais importantes são as turbinas Kaplan e Francis e podem ainda classificar-se consoante a direção do movimento do fluido relativamente à roda, como radiais, axiais ou mistas.

As turbinas de ação operam a céu aberto, movidas através da presença de um ou mais injetores. Os três principais tipos de turbinas de ação são as turbinas Pelton, Turgo e Cross-flow.

### 3.5.3 Turbinas de reação

As turbinas de reação e de ação apresentam alguns elementos em comum, tais como a câmara de entrada, o distribuidor, a roda móvel ou rotor e o difusor.

Neste tipo de turbinas, a água circula entre as pás variando a velocidade e a pressão. Esta pressão por não ser constante (menor à saída do que à entrada) obriga à variação da secção transversal aproveitando a energia presente na água (uma parte na forma de energia cinética e o resto na forma de energia de pressão). As turbinas de reação orientam a entrada da água para a roda, distribuindo-a uniformemente em toda a periferia permitindo também regular o caudal.

As turbinas de reação são constituídas normalmente, por uma evoluta ou espiral. Este órgão está localizado a montante do distribuidor alimentando-o de água. O difusor apresenta uma secção progressivamente crescente e tem a finalidade de promover a recuperação parcial da energia cinética à saída do rotor.

O distribuidor das turbinas de reação é constituído por lâminas de secção pisciforme, denominadas diretrizes. As diretrizes são articuladas em torno de eixos e são geralmente, atuadas pelo anel de regulação. Consoante a abertura for maior ou menor entre diretrizes, maior ou menor será o caudal admitido, respetivamente. O fabrico das diretrizes é mais sofisticado devido ao facto da qualidade das lâminas ser elevada, pelo que a despesa extra associada é compensada pela elevada eficiência e pelas altas velocidades de rotação, obtidas em aproveitamentos de pequena escala, quando comparadas com turbinas de ação.

As turbinas de reação ao conseguirem uma elevada velocidade de rotação representam uma vantagem, pois permite o acoplamento direto ao gerador e não necessitam de sistemas reguladores de velocidade. Como desvantagem surge associado o fenómeno de cavitação a este tipo de turbinas.

#### *Turbina Kaplan*

Em 1913, Victor Kaplan criou uma turbina que posteriormente foi denominada por turbina Kaplan. As turbinas Kaplan estão associadas a caudais elevados e quedas reduzidas e apresentam eficiências que podem alcançar os 94%.

São constituídas por uma câmara de entrada que pode ser aberta ou fechada, por um distribuidor e normalmente por uma roda com 6 pás. Caso as pás forem fixas a turbina é do tipo Hélice e se as pás forem móveis com a presença de um regulador a turbina é do tipo Kaplan. As turbinas Kaplan são reguladas quer através da ação do distribuidor quer com o auxílio da variação do ângulo de ataque das pás do rotor, conferindo-lhes uma grande capacidade de regulação.

Pode admitir-se que a cada posição da pá corresponde uma turbina hélice, pelo que uma turbina Kaplan mantém rendimentos aliciantes para regimes de funcionamento diferentes.

As turbinas Kaplan e Hélice têm normalmente o eixo vertical, mas podem existir turbinas deste tipo com eixo horizontal, as quais se designam por turbinas Bolbo.

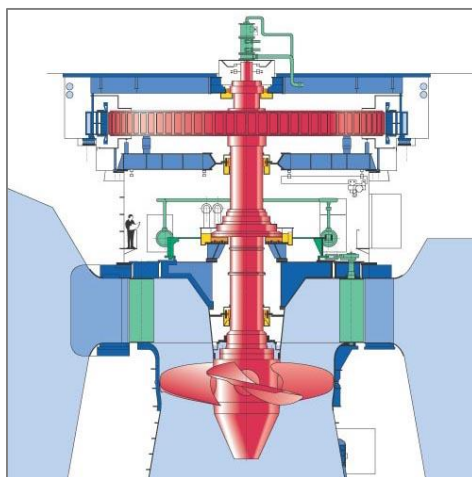


Figura 6 - Turbina Kaplan [Fonte: Voith-Siemens].

### *Turbina Francis*

Em 1849 James B. Francis criou a turbina Francis, sendo hoje o tipo de turbinas mais utilizados a nível mundial. As turbinas Francis estão associadas a caudais médios e quedas médias e apresentam eficiências que podem alcançar os 90%.

A forma e as dimensões das rodas variam com a queda de altura útil. Para grandes quedas, o diâmetro de entrada da roda é bastante superior ao diâmetro de saída, sendo reduzida a componente axial da velocidade de água. Há medida que a altura de queda diminui, a componente axial vai aumentando, diminuindo o diâmetro de entrada em relação ao de saída.

Esta turbina é caracterizada por ter uma roda formada por uma coroa de alhetas fixas, constituindo uma série de canais hidráulicos que recebem a água radialmente e a orientam para a saída do rotor numa direção axial. É constituída por uma câmara espiral ou evoluta (podendo ser aberta ou fechada com uma forma de espiral) com a finalidade de garantir a uniformidade do escoamento à entrada do rotor em toda a sua periferia. É constituída por um distribuidor composto por uma roda de alhetas fixas ou móveis que regulam o caudal e o tubo de saída da água. O distribuidor permite, para além do controle da entrada de água, regular a potência mantendo a velocidade constante.

O rotor de uma turbina Francis é constituído por pás encurvadas que alteram a direção da trajetória, resultando a atuação de uma força sobre o rotor.

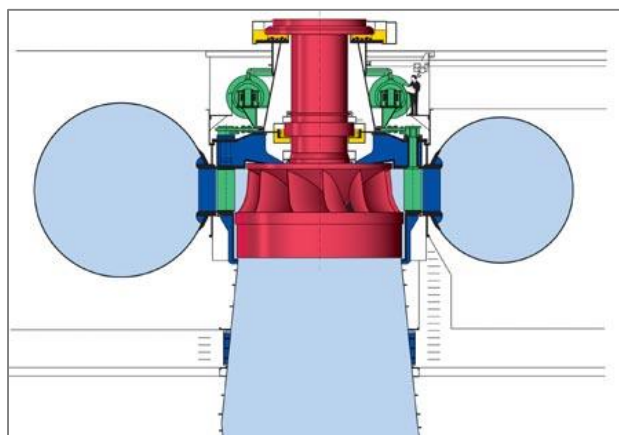


Figura 7 - Turbina Francis [Fonte: Voith-Siemens].

#### 3.5.4 Turbinas de ação

As turbinas de ação, em comparação com as turbinas de reação, são mais tolerantes a areias e outras partículas existentes na água. A sua estrutura permite uma maior facilidade de fabrico e melhor acesso em caso de manutenção. Encontram-se, simultaneamente, menos sujeitas ao fenómeno de cavitação embora, com elevadas quedas de altura, torna-se difícil evitar o fenómeno.

Estas turbinas designam-se turbinas de ação porque utilizam somente a velocidade do fluxo de água para provocar o movimento de rotação. Uma das grandes desvantagens das turbinas de ação é o facto de serem desadequadas para pequenas quedas.

As turbinas de ação compreendem essencialmente a roda e os injetores, cuja função é transformar a energia de pressão do escoamento em energia cinética e permitir a saída de jatos orientados para a roda, onde nesta encontram-se as pás em forma de concha.

O injetor, através de uma válvula de agulha permite regular o caudal que atua sobre a roda, e deste modo regula a potência fornecida pela turbina.

### *Turbina Pelton*

Foi concebida em 1879, por Lester Pelton. As turbinas Pelton estão associadas a caudais reduzidos e quedas elevadas e apresentam eficiências que podem alcançar os 90%.

A sua constituição física consiste numa roda circular que na sua periferia possui um conjunto de pás em forma de concha dupla, sobre os quais incide, tangencialmente, um ou mais jatos de água por um ou mais injetores. O objetivo principal baseia-se em deflectir o escoamento em praticamente 180°. Na periferia da roda, as pás possuem um entalhe circular que se destina a evitar a interferência das pás com o jato enquanto não atinjam ângulos relativos convenientes.

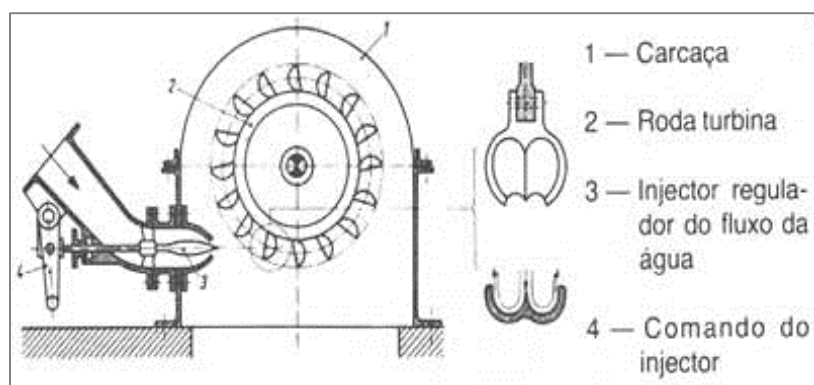


Figura 8 - Órgãos da turbina Pelton [Fonte: eduvisilva.com.sapo.pt]

O movimento da agulha do injetor é comandado por um regulador de velocidade. O injetor é constituído por um deflector que, na presença de altas velocidades indesejáveis de rotação, permite desviar o jato da roda, tornando, assim possível que o injetor feche lentamente. O número de injetores está em função da orientação do eixo.

O injetor possui uma agulha cónica no seu interior que permite a regulação do caudal e condiciona também a forma do jato, obrigando-o a ter um diâmetro uniforme no percurso entre a saída do injetor e as pás.

### *Turbina de Turgo*

A turbina Turgo foi patenteada em 1919, pela empresa norte americana Gilkes, sendo apresentada como uma variante da turbina Pelton para pequenas aplicações.

Muito semelhante à turbina Pelton, é mais eficiente e permite lidar com variações de caudal superiores. Neste, o jato e as pás têm inclinações (normalmente de 20°) fazendo com que a água ao embater na concha saia no sentido contrário com a mesma inclinação. Deste modo existe a possibilidade de simultaneamente, lidar com grandes variações de caudal e gerar a mesma energia mecânica conseguida por uma turbina Pelton com o dobro do diâmetro.

Neste tipo de turbinas as pás não são fixas ao plano de rotação, estando antes colocadas ligeiramente inclinadas para a parte superior, de modo a que o jato incida perpendicularmente.



Figura 9 - Injetor em funcionamento numa turbina Turgo [Fonte: renewablesfirst.co.uk]

Aparecendo como alternativa à turbina Pelton, trouxe como principal vantagem a sua maior simplicidade de construção e conseqüentemente menor custo, aliando a esse facto, a admissão de um caudal superior.

Quanto à sua construção, os baldes são normalmente soldados ao centro de rotação, mas de forma a aumentar a rigidez da turbina, é soldado na maioria das vezes uma guia exterior em torno de todas as pás.

### *Turbina Cross-Flow*

Embora não possa ser considerada de impulsão pura devido à pressão no interior do rotor ser ligeiramente superior à atmosférica, é incluída nesta secção por ser onde melhor se enquadra. Além de Cross-flow pode também ser designada igualmente por Banki-Mitchell, Ossberger ou Fluxo Cruzado.

Esta turbina tem uma curva de eficiência muito constante, característica das turbinas de ação ou impulsão.

Uma outra vantagem inerente a este tipo de turbinas incide no seu fabrico. Uma vez que não apresentam procedimentos complicados. Esta turbina tem um custo inferior, relativamente às turbinas convencionais. Após largos anos este tipo de turbinas passou ao esquecimento, reaparecendo de novo com o entusiasmo crescente em torno das mini-hídricas.

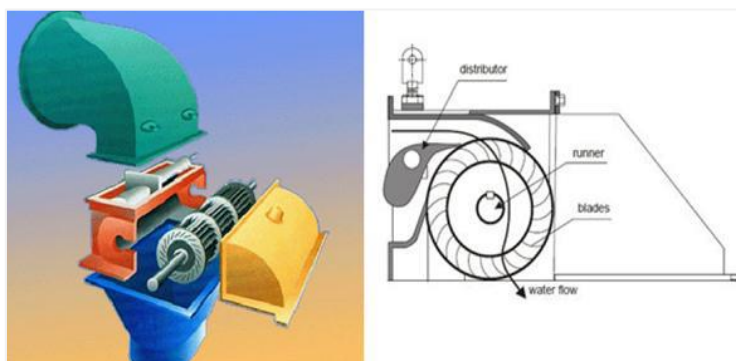


Figura 10 - Órgãos e funcionamento da Turbina Cross-Flow [Fonte: renewablesfirst.co.uk]

Quanto ao injetor, este é diferente do que se encontra na turbina Pelton, sendo de secção retangular. O jato proveniente do injetor descarrega a água a toda a largura do rotor, a um ângulo de, aproximadamente 16 graus com a tangente.

A turbina funciona normalmente com um de dois tipos de injeção, horizontal ou vertical, sendo na injeção horizontal a entrada do fluxo de água dá-se lateralmente e na injeção vertical admite uma injeção pela parte superior da turbina.

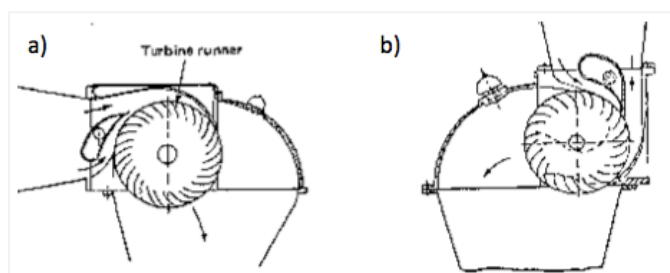


Figura 11 - Funcionamento Horizontal (a) e Funcionamento Vertical (b) [Fonte: renewablesfirst.co.uk]

### 3.5.5 Centrais mini-hídricas

A designação de central mini-hídrica generalizou-se em Portugal para designar os aproveitamentos hidroelétricos de potência inferior a 10MW. As centrais mini-hídricas podem ser classificadas da seguinte forma:

- Em função da potência instalada

<b>Designação</b>	<b>P<sub>instalada</sub> (MW)</b>
Pequena Central Hidroelétrica	<10
Mini Central Hidroelétrica	<2
Micro Central Hidroelétrica	<0,5

- Em função da Queda Bruta de água

<b>Designação</b>	<b>H<sub>bruta</sub> (m)</b>
Queda baixa	2-20
Queda média	20-150
Queda alta	>150

- Em função do Caudal

<b>Designação</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>
Grande Caudal	> 100
Médio Caudal	10 -100
Pequeno Caudal	< 10



### 3.6 Campos de aplicação

A seleção das turbinas deve ser feita em função da altura de queda útil e caudal de funcionamento para cada uma das centrais mini-hídricas.

Na escolha da turbina a sugestão por parte do fornecedor do equipamento poderá ser fulcral.

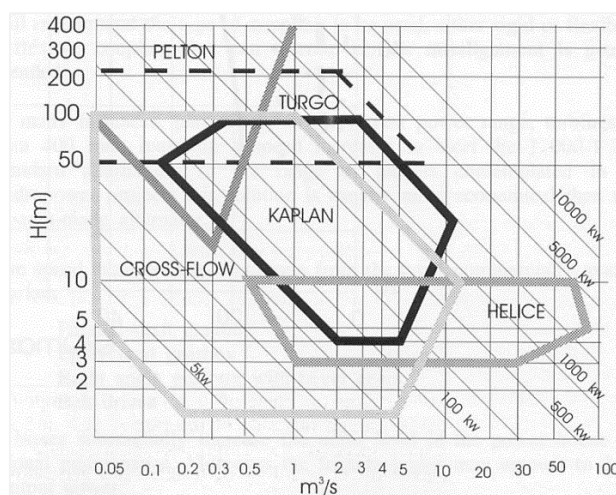


Figura 12 - Campo de aplicação de cada turbina, em função na queda útil e do caudal [Fonte: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía]

### 3.7 Curva de rendimento das turbinas

O rendimento das turbinas altera-se em função do caudal que é turbinado em um dado instante. A capacidade da turbina se adaptar ao caudal instantâneo, é um critério muito importante na seleção da turbina, uma turbina se seja sensível à variação de caudal para que foi dimensionada pode comprometer a produção de energia, mas pode ser uma turbina mais económica.

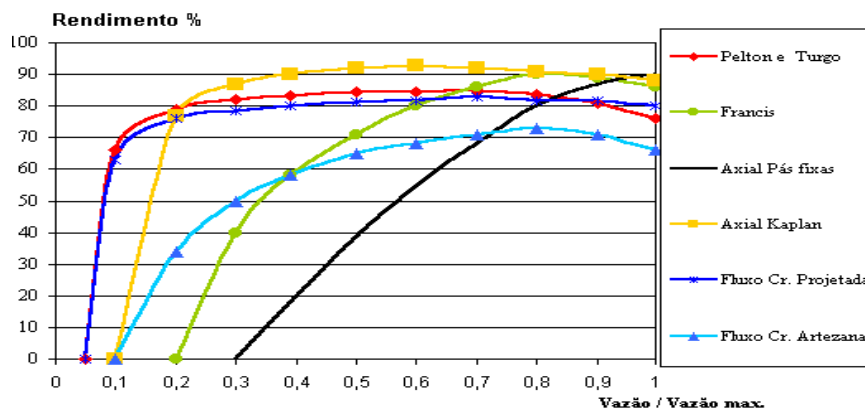


Gráfico 1 - Curva de rendimento das turbinas em função do caudal [HARVEY, Adam; 1998]

### 3.8 Produção de energia elétrica

Para a conversão em energia elétrica a energia cinética da água é transformada em energia cinética de rotação da turbina hidráulica, e esta energia mecânica da turbina finalmente em energia elétrica. A cada processo estará associado um rendimento na ordem dos 80% a 90%, dependendo da tecnologia empregue.

A potência hidráulica do sistema pode ser dada por:

$$P_{hidráulica} = \rho_{água} \times Q \times H \times g \quad [W] \quad (2)$$

Em hidráulica, a potência nominal pode-se expressar em função das características do sistema, de acordo com a seguinte expressão:

$$P_{nominal} = \frac{\eta * \rho_{água} * Q * H_u * g}{1000} \quad [kW] \quad (3)$$

Onde:

**P** - Potência do aproveitamento [kW]

**Q** – Caudal instantâneo [m<sup>3</sup>/s]

**g** – aceleração da gravidade (9,81 m.s<sup>-1</sup>)

**η** - Rendimento total do conjunto do turbogerador  $\eta = \eta_t \cdot \eta_g$  [0-1];

**η<sub>t</sub>** – Rendimento da Turbina [0-1];

**η<sub>g</sub>** – Rendimento do Gerador [0-1];

**ρ** – Peso volúmico da água [kg/m<sup>3</sup>];

**H** – Altura de Queda [m];

**H<sub>u</sub>** – Altura de Queda útil [m];

### 3.9 Tarifa de venda de energia elétrica

De acordo com o Decreto-lei n.º 153/2014, de 20 de Outubro, e a Portaria n.º 15/2015, de 23 de janeiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, vendida na sua totalidade à rede elétrica de serviço público (RESP), por intermédio de instalações de pequena potência, a partir de recursos renováveis, adiante designadas por «Unidades de Pequena Produção» (UPP), cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 250 kW, destinada à venda total de energia à rede.

A tarifa de referência aplicável nesta data, nos termos previstos no decreto-lei é de 95€/MWh. Em que pode ser acrescido o valor de 10€/MWh e 5€/MWh, quando o produtor opte pelo enquadramento da respetiva unidade de pequena produção nas categorias II e III.

Na categoria II insere-se o produtor que, para além da UPP, pretenda instalar no local de consumo associado à UPP uma tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos, ou seja proprietário ou locatário de um veículo elétrico.

A categoria III insere o produtor, para além da instalação de uma UPP, pretenda instalar no local de consumo associado àquela coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m<sup>2</sup> de área útil de coletor ou de caldeira a biomassa com uma produção anual de energia térmica equivalente.

Devido ao tipo de energia de produção (hídrica) é aplicada uma percentagem de redução de 40%.

## 3.10 Apoio técnico à empresa

O presente capítulo consiste na revisão bibliográfica necessária para realizar o estudo relativo às pressões de serviço, pressão de ensaio e a modelação no programa EPANET evidenciando as especificações para a resolução de todos os temas, realizados no âmbito do apoio técnico à empresa.

### 3.10.1 Pressão de serviço e ensaio

#### *Pressão de Serviço*

A pressão de serviço é a pressão disponível em um determinado ponto de um sistema adutor, quando este se encontra em funcionamento. A pressão ao longo da rede sofre flutuações, resultado da variação do caudal na conduta, isto é provocado pelas perdas de carga no troço. O conceito de perda de carga corresponde à energia dissipada, não recuperável, ao longo de um escoamento.

#### *Pressão de Ensaio*

A pressão de ensaio diz respeito à realização dos testes de estanquidade e estabilidade das condutas antes da sua entrada em serviço. O seu objetivo é levar as condutas “ao limite” para que a sua segurança seja garantida durante todo o seu funcionamento. Os ensaios consistem no enchimento da tubagem com elevação gradual da sua pressão interna através de uma bomba e na medição da água necessária para os diferentes ajustes de pressão. Estes ensaios são realizados por secções individualizadas das condutas ou por conjuntos de secções.

O valor da pressão de ensaio é estabelecido a partir da pressão normal de serviço (PNS) ou da pressão máximo de serviço (PMS).

Entende-se por pressão normal de serviço a pressão máxima em regime permanente (no caso de um escoamento gravítico será a carga estática no ponto mais desfavorável da conduta – ponto mais baixo).

De acordo com o Artigo 111.º do Decreto-Lei n.º 13/95, de 23 de Agosto, relativo ao Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, a pressão de ensaio deverá ser até uma vez e meia a pressão normal de serviço da zona/secção em que a conduta está inserida, com um mínimo de 900 kPa.

### 3.10.2 O EPANET

#### *O programa EPANET:*

O EPANET foi desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)*, Estados Unidos da América, que o distribui gratuitamente em conjunto com vários materiais de apoio. É um simulador amplamente testado e credível, que beneficia há mais de uma década de uma alargada comunidade de utilizadores em todo o mundo, a qual contribui em muito para o seu aperfeiçoamento. O código computacional e uma biblioteca de programação estão igualmente disponíveis gratuitamente. Ao traduzir e adaptar o programa e os seus materiais de apoio para língua portuguesa, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil associa-se ao propósito da USEPA, procurando desta forma promover entre os utilizadores lusófonos, nomeadamente os profissionais da indústria da água, os consultores, os docentes e os estudantes de engenharia e outras disciplinas técnicas, a divulgação da simulação de sistemas de abastecimento de água.

#### *Capacidades e Aplicações do Programa:*

O *software* tem um ambiente gráfico integrado para editar os dados descritivos da rede e dos cenários a modelar, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água, calibrar o modelo e visualizar os resultados em vários formatos. Os resultados incluem a possibilidade de examinar mapas da rede e resultados de acordo com códigos de cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais, perfis de condutas, isolinhas, frequências e outros, e ainda produzir relatórios específicos (energia, calibração e reação). Foi desenvolvido com o objetivo de apoiar os distribuidores de água na manutenção de níveis de serviço adequados.

Pode igualmente ser utilizado na análise de planos de desenvolvimento estratégicos, como seja a alteração de origens de água num sistema composto por múltiplas origens, modificação do funcionamento operacional de grupos elevatórios e reservatórios para minimização de custos energéticos e tempos de percurso, seleção de pontos de rechloragem, avaliação do custo-benefício de programas de limpeza e substituição de tubagens, planeamento de campanhas de amostragem ou estudos de decaimento do desinfetante e formação de subprodutos da desinfecção.

### 3.10.3 Válvulas redutoras de pressão

As Válvulas Redutoras de Pressão são estruturas dissipadoras, sendo utilizadas nos sistemas hidráulicos, visando a uniformização e controle de pressões. As VRP's promovem perdas de carga localizadas, através da dissipação de energia hidráulica presente através da redução dos valores de pressão a jusante.

O princípio geral do funcionamento de uma VRP baseia-se na ativação do dispositivo de obturação sempre que a pressão a jusante se encontre demasiadamente elevada. Desse modo aumenta a perda de carga presente no sistema repondo o valor de pressão requerido. Porém, se se verificar que a pressão a jusante se encontra demasiadamente baixa, a válvula abre, diminuindo a perda de carga e aumentando a pressão para o valor requerido. Estas válvulas podem ser controladas mecânica ou eletronicamente permitindo uma gestão mais eficiente dos níveis de serviço pretendidos.

### 3.10.4 Válvulas de seccionamento

As válvulas de seccionamento têm como finalidade permitir a divisão em troços de uma conduta adutora em pressão que possam ser isolados entre si, por forma a evitar-se o esvaziamento de grandes extensões de tubagem, minimizando as perdas de água quando se torna necessário levar a cabo operações de inspeção e de limpeza periódicas e de reparação em caso de avaria (principalmente roturas). O comprimento dos troços referidos depende do perfil longitudinal das condutas, devendo-se situar, normalmente, entre os 2 e 4 km.

Para reduzir o comprimento dos troços a isolar, quando é necessário proceder ao esvaziamento da conduta, as válvulas de seccionamento podem ser também colocadas em pontos baixos (próximo da válvula de descarga ou purga). Nestes casos, as operações de manobra são mais difíceis, uma vez que a diferença de pressão a montante e a jusante, quando se pretende proceder à abertura da válvula, é elevada. Por vezes, para atenuar esta dificuldade é usual manter uma tubagem de pequeno diâmetro em circuito de *by-pass*.

(página em branco)

## 4. Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios

### 4.1 Enquadramento

O estudo preliminar elaborado na empresa ICOVI designado por “Aproveitamentos Mini-hídricos em Reservatórios” visa a elaboração de um projeto relativo à produção de energia elétrica a partir do sistema de abastecimento do Concelho da Covilhã.

O abastecimento de água à população e as características orográficas da Serra da Estrela (como se pode ver na figura 31, nos Anexos I) podem resultar em aproveitamentos mini-hídricos, a quais envolvem um conjunto de reservatórios, as condutas/troços entre os reservatórios e as centrais mini-hídricas.

Ao longo das redes de abastecimento de água em Portugal existe uma grande dissipação de energia, quer pela utilização de válvulas redutoras de pressão, quer a montante dos reservatórios. As válvulas redutoras de pressão promovem uma diminuição de pressão nas redes de abastecimento para valores requeridos. As turbinas podem simultaneamente garantir a pressão adequada e produzir energia. Em locais estratégicos como a montante dos reservatórios existem outros pontos de dissipação de energia.

Os novos reservatórios e as condutas adutoras situam-se entre os 700 e 1200 metros e dados estes desníveis, a energia da água terá de ser dissipada por válvulas redutoras de pressão e com a realização do estudo poderá aproveitar-se a energia hidráulica, através de centrais mini-hídricas, para energia elétrica.

Explorar o potencial hidroelétrico, na rede de abastecimento de água potável, consiste na colocação de uma turbina diretamente nas condutas adutoras, não comprometendo a quantidade e qualidade do abastecimento de água à população. Este tipo de obras devem ser objeto de uma proteção sanitária bastante cuidada devido ao facto de a água ser destinada ao abastecimento público.

Foi considerado um horizonte de projeto de 30 anos.

#### 4.1.1 Sistema e Infraestruturas

A empresa ICOVI é responsável pela captação, tratamento, controlo de qualidade, transporte e armazenamento, fica a cargo da empresa Águas da Covilhã, EM (empresa gestora em “baixa”), o processo de distribuição à população.



O funcionamento do sistema de adução em alta segue uma sequência de processos:

- **Captação superficial:** É a recolha da água no seu meio hídrico superficial, com adução gravítica até à ETA;
- **Tratamento:** Correção das características físicas, químicas e bacteriológicas da água, por forma a torná-la adequada para o consumo humano;
- **Adução:** Transporte de água desde a zona de captação e tratamento até aos pontos de entrega, posteriormente feita a distribuição em baixa.
- **Armazenamento:** Armazenar a água por forma a assegurar a continuidade no abastecimento, sendo este processo é assegurado pelos reservatórios.

#### 4.1.2 A Barragem

A **Barragem Cova do Viriato** localiza-se no concelho da Covilhã. É uma barragem em betão-gravidade com uma capacidade total de 1,5 hm<sup>3</sup> e 1,35 hm<sup>3</sup> de volume útil.



Figura 13 - Barragem Cova do Viriato [Fonte: Panoramio | Google Maps]

Atualmente, a água bruta é captada na barragem Cova do Viriato (única captação superficial existente no concelho da Covilhã) e com a conclusão da 2ª fase do Projeto de Abastecimento de Água em alta do Concelho, que inclui a construção de uma nova barragem, uma ETA e a respetiva adução, passará a haver uma disponibilidade de armazenamento em albufeira suficiente para uma resposta às necessidades atuais (o que não acontece) e futuras.

O sistema de abastecimento de água no Inverno é maioritariamente alimentado pelas inúmeras origens subterrâneas existentes (aproximadamente 145 captações). Estas captações abastecem os reservatórios principais da rede de distribuição (dispondo de tratamento por cloragem). No período de Verão, os caudais de origem subterrânea são menores e insuficientes para satisfazer os consumos da população e o Sistema de Adução a partir da Barragem constitui a principal origem de água de abastecimento. Neste período há igualmente necessidade de recorrer a bombagem a partir do rio Zêzere (cuja qualidade de água é muito deficiente) para dar resposta à necessidade de água do município da Covilhã.

A atual barragem apenas cobre 33% das necessidades de consumo do concelho, com esta necessidade está em elaboração o projeto da **Barragem Cortes do Meio**.

#### 4.1.3 Estação de Tratamento de Água

A ETA Penhas da Saúde, localizada nas Penhas da Saúde, encontra-se a cerca de 550 metros da Barragem Cova do Viriato.



Figura 14 - Localização Barragem Cova do Viriato e ETA Penhas da Saúde [Fonte: Google Earth]

Dada a excelente qualidade da água os tratamentos são bastantes simples, sendo feito um primeiro tratamento através de filtração, desinfecção e correção de pH.



Figura 15 - Estação de Tratamento de Água Penhas da Saúde

A garantia de qualidade da água é dada pelo cumprimento minucioso face às características dadas pelo conjunto de valores paramétricos microbiológicos e físico-químicos, fixados no anexo I, parte I, II e III, do Decreto-Lei 306/2007.

#### 4.1.4 Adução

O sistema adutor, sobre a responsabilidade da empresa ICOVI (abastecimento em alta), representa o escoamento de água nas condutas adutoras e é feito sob pressão, por ação da gravidade, representado na figura 18 e 33 (no anexo I).

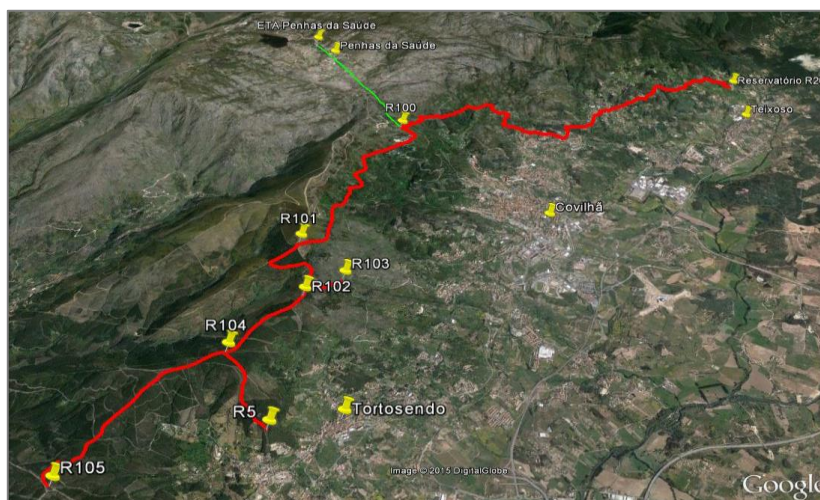


Figura 16 - Novo Sistema Adutor em Alta [Fonte: Google Earth 3D]

As novas condutas adutoras, numa extensão de 25 km, de tubos de ferro fundido dúctil, apresentam as seguintes vantagens: grande resistência ao choque, resistência a pressões elevadas, quer internas quer externas, fabricando-se correntemente para pressões de serviço de 40 Kgf/cm<sup>2</sup> (≈400 metros coluna de água), grande longevidade (várias dezenas de anos) e boa resistência à corrosão.



Figura 17 - Condutas Adutoras (Ferro Fundido Dúctil)



#### 4.1.5 Reservatórios

Os reservatórios estão integrados no sistema de abastecimento de água, encontram-se numa fase final de construção e são considerados reservatórios de regularização de transporte (ou intermédios, ainda que possam ser utilizados como pontos de entrega) e consoante a sua implantação, são designados de apoiados e de média capacidade (1000 e 2000 m<sup>3</sup>).

Os reservatórios de regularização de transporte no sistema adutor têm por objetivo servir de “volantes de regularização” aos diferentes regimes de funcionamento de todo sistema.



Figura 18 - Reservatório em construção (2000 m<sup>3</sup>)

## 4.2 Conceção e implantação

Na exploração do aproveitamento e para efeito do presente relatório, consideram-se os seguintes critérios gerais:

- O fornecimento de água para o abastecimento é considerado prioritário em relação à produção de energia;
- A produção de energia hidroelétrica é realizada apenas com os caudais dedicados ao abastecimento de água do concelho.

No estudo de aproveitamento hidroelétrico nos reservatórios são considerados, para a produção de energia elétrica 9 locais distintos.

As instalações tipo dos reservatórios são constituídas por duas células de armazenamento de água, uma camara de manobras e no piso superior encontra-se o grupo turbina-gerador e todos os outros equipamentos necessários à produção elétrica.

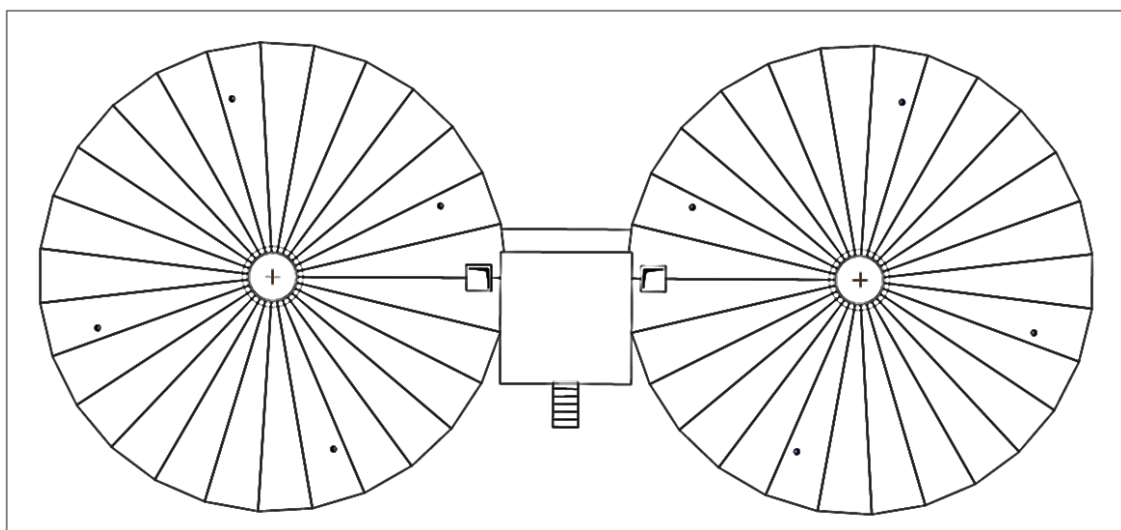


Figura 19 - Planta dos Reservatórios

A camara de manobras e a camara de energia situam-se entre as duas células. Após a água atravessar a turbina esta é encaminhada para a tubagem em baixo da turbina e as condutas conduzem a água para as células de armazenamento situadas lateralmente.

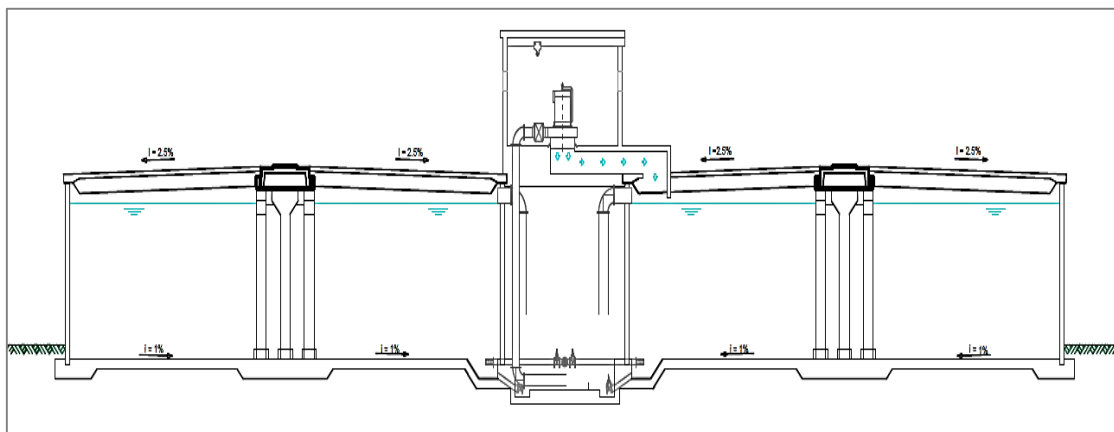


Figura 20 - Pormenor tipo de um reservatório em funcionamento com a turbina

Os reservatórios dispõem de um sistema “*bypass*” à conduta da turbina, permitindo deste modo a possibilidade de reverter o circuito hidráulico para a sua configuração original, fica sempre garantido o abastecimento da população caso haja uma anomalia na turbina. Neste caso é necessária a utilização de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP’s) como forma de uniformização/controlo de pressões, dando origem a uma perda de carga localizada (dissipação de energia hidráulica).

Adicionalmente, existe um dispositivo de gestão remota e controlo permanente dos parâmetros de abastecimento e produção elétrica (telegestão).

### 4.3 Altura de queda bruta e útil

A altura de queda bruta é definida pela diferença de cotas entre o reservatório cheio a montante e a cota a que se encontra a turbina, que fará a descarga para o reservatório a jusante.

A altura de queda útil é obrigatoriamente menor que a altura de queda bruta, pois existem as perdas de carga contínuas ao longo do troço adutor e perdas de carga localizadas. As perdas de carga localizadas foram desprezadas para efeitos de dimensionamento.

Com a informação retirada do projeto de execução retira-se a diferença de cotas entre os reservatórios e o comprimento do troço das condutas. O valor das perdas de carga contínuas é calculado através das fórmulas seguintes:

- Fórmula monómia do Ferro Fundido Novo ( $k=0,25$  mm):

$$J = \left[ \frac{Q}{35 \times D^{2,625}} \right]^{1/0,535} \quad [\text{m/m}] \quad (4)$$

- Perda de carga contínua:

$$\Delta H^- = J \times L \quad [\text{m}] \quad (5)$$

- Queda de altura útil:

$$H_{\text{útil}} = \Delta H - \Delta H^- \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Onde:

**J** – Perda de Carga [m/m]

**Q** – Caudal [m<sup>3</sup>/s]

**D** – Diâmetro interno da conduta [m]

**L** – Comprimento do troço [m]

**$\Delta H^-$**  – Perda de carga contínua [m]

**$\Delta H$**  – Diferença de Cotas entre reservatórios [m]

**$H_{\text{útil}}$**  – Queda de altura útil [m]

## 4.4 Caudal de dimensionamento

O caudal que cada turbina recebe é sempre influenciado (a jusante) pelos consumos da população, indústrias, comércio, consumos públicos, combate a incêndios e a fugas e perdas.

### 4.4.1 Volumes de água aduzidos por reservatório

Na fase inicial foi realizado um estudo para se verificar em termos teóricos as necessidades de água por cada freguesia abastecida pelo reservatório em questão. Foi realizado um estudo de evolução da população de todo o concelho, a partir dos dados dos Censos (tabela 4 dos anexos), para o ano 2015 a 2045 (30 anos de horizonte de projeto), sendo expectável um decréscimo da população ao longo do tempo.

Atendendo à pouca fiabilidade do cálculo teórico das necessidades de água foi solicitado à empresa gestora em “baixa”, os valores dos volumes de água anual à

entrada do sistema de distribuição (através de caudalímetro colocado na conduta) de cada freguesia, do ano de 2014. Através desses mesmos dados foi possível calcular os caudais médios anuais, para cada freguesia, e conseqüentemente para cada reservatório a montante.

#### 4.4.2 Caudais considerados

Existem diversas alternativas relativamente ao caudal de equipamento das centrais mini-hídricas, dado um intervalo de tempo tão largo e atendendo a que este tipo de aproveitamentos beneficiam da regularização dos reservatórios consoante os consumos de água da população. O regime de funcionamento diário considerado para o turbinamento é preferencialmente de 24 horas.

A turbina ficará dimensionada para que o caudal máximo de turbinamento seja 1,7 vezes superior ao caudal médio obtido, ou seja, a turbina ficará projetada a menos 30% do seu máximo caudal de turbinamento. Desta forma, caso ocorra um aumento considerável de consumo da população a turbina fica preparada para turbinar esses caudais e quando os consumos são inferiores a turbina poderá funcionar com esses caudais, mantendo um rendimento satisfatório (como se verifica no gráfico seguinte).

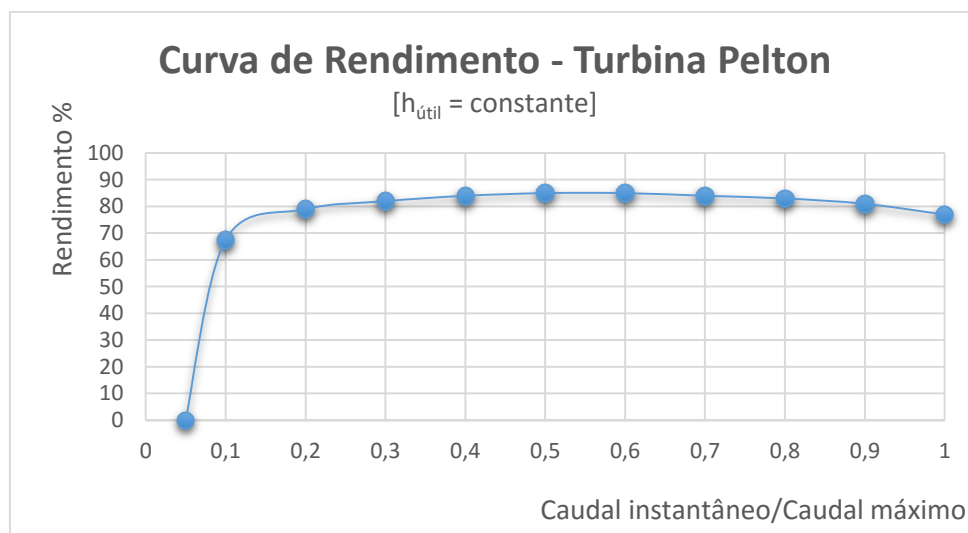


Gráfico 2 - Curva de rendimento - Turbina Pelton

Após o cálculo da altura de queda útil, no capítulo 4.3, verifica-se, de acordo com a figura 14, que a melhor opção é a utilização da turbina **Pelton**.



## 4.5 Produção e venda de energia elétrica

Considerando a equação (3), com a informação dos caudais médios anuais turbinados, a altura de queda útil e o rendimento da turbina para cada reservatório é possível calcular a produção de energia elétrica.

As receitas provêm unicamente da venda de energia elétrica, de acordo com o capítulo 3.9, verificando-se que para uma tarifa normal o preço de venda é de 57€/MWh.

## 4.6 Despesas

### 4.6.1 Investimento inicial

As despesas relativas a este tipo de aproveitamentos hidroelétricos em reservatórios, já construídos, podem ser distribuídos em várias parcelas:

- Construção Civil;
- Equipamento (turbina, gerador, equipamento elétrico e de automação);
- Custos de ligação à rede elétrica nacional.

O custo da turbina e gerador e os seus constituintes será obtido por consulta a fabricantes deste tipo de equipamentos, para os vários cenários de caudal de dimensionamento e queda útil possíveis.

No custo dos equipamentos elétricos inclui-se os transformadores, baterias, quadro de comando (potência e contagem), automação do sistema, equipamentos de proteção do sistema e equipamentos auxiliares.

Para todas as centrais é necessária a construção de uma rede de ligação à rede elétrica nacional.

## 4.7 Exemplo de estudo

### 4.7.1 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo baseia-se em **dados fictícios** (volumes, características da conduta e cota dos reservatórios). Este apresenta as principais características das metodologias do estudo realizado durante a realização do estágio.

O presente Reservatório **RX** abastece a jusante a freguesia A, B, C, D e E, encontra-se a uma cota de 880 metros e o Reservatório **RY** (a montante) encontra-se a uma cota de 1050 metros.

A conduta adutora é de Ferro Fundido Dúctil com 350mm de diâmetro interno e numa extensão de 4500 metros.

Tabela 1 - Volumes medidos à entrada dos sistemas de distribuição

Localidades	Volume anual (m <sup>3</sup> )
A	1.217.560,00
B	168.076,00
C	40.076,00
D	1.003.800,00
E	724.112,00

Considera-se que a turbina no Reservatório **RX**, na camara de energia (ou superior), se encontra a 5,50 metros de altura em relação ao solo e o Reservatório **RY** contém as células cheias, com 4 metros de altura.

### 4.7.2 Resultados

Após realizar os vários cálculos associados à determinação da energia média produzida anualmente, foi considerado uma eficiência de 80% do conjunto turbina-gerador.

Tabela 2 - Cálculo relativo às características do troço

Troço	L [m]	Diâmetro interno [m]	Q médio anual [m <sup>3</sup> /s]	Q Dimen. [m <sup>3</sup> /s] *	Perda de Carga Continua - FFD [m/Km]	Altura [m]	Altura útil [m]
<b>RY-RX</b>	<b>4500</b>	<b>0,35</b>	<b>0,1</b>	<b>0,143</b>	<b>3,03</b>	<b>158,5</b>	<b>144,85</b>

\* Com base na secção 4.4.2 Caudais considerados

Tabela 3 - Cálculo da potência e energia produzida anual

<b>Local de Produção</b>	<b>Caudal de Dimensionamento</b> [m <sup>3</sup> /s]	<b>Altura de queda útil</b> [m]	<b>Potência nominal</b> [KW]	<b>Energia Produzida Anual</b> [MW/ano]	<b>Receita Anual [€]</b>
<b>RX</b>	<b>0,143</b>	<b>144,85</b>	<b>162,39</b>	<b>1422,57</b>	<b>81 086,69 €</b>

Para o estudo, executado durante o estágio, este processo/metodologia foi realizado para todos os troços e locais de produção.

#### 4.7.3 Discussão de resultados

Através da aplicação de todas as metodologias descritas, em todo o relatório. O caudal de dimensionamento é o mais adequado dado que abrange todos os caudais (mínimos e máximos), conforme a variação da necessidade de água ao longo de todo o ano (compreendido no quadro 2).

O rendimento atribuído, conjunto turbina-gerador, pode-se considerar o mais adequado, dado que é um estudo preliminar e o regime que poderá variar é o caudal anual. A receita anual é aproximada pode-se considerar correta para efeitos de estudo de viabilidade económica.

O tempo de retorno do investimento, deste tipo de tecnologia, varia entre 5 e 7 anos. Dependendo de vários fatores como a escolha da turbina, a tecnologia dos transformadores, o comprimento da linha de média tensão a instalar, entre outros, que condicionam o tempo de retorno deste tipo de investimentos.

## 5. Pressão de serviço, válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento (Apoio técnico)

No âmbito do apoio técnico à empresa, foi solicitado ao estagiário que realizasse um estudo relativo às pressões de serviço em todos os troços do projeto. Após este estudo foi verificada a necessidade da colocação de Válvulas Redutoras de Pressão e Válvulas de Seccionamento.

A base de estudo passou pela colocação de todos os troços no programa EPANET e executar a simulação dinâmica de toda a rede. Os dados relativos aos troços são retirados do projeto de execução (exemplo - figura 32).

### 5.1 Dimensionamento no EPANET

Para o dimensionamento em EPANET realizaram-se várias etapas:

- Configuração do Projeto;
- Traçado da Rede;
- Configurar as propriedades dos nós e tubagens;
- Configurar as propriedades do Reservatório;
- Adicionar os Padrões Temporais;
- Executar simulação Dinâmica.

#### 5.1.1 Configuração do projeto

Configurou-se, na janela Hidráulica, em litros por segundo (l/s), o comprimento das condutas em metros (m), diâmetro das condutas em milímetros (mm) e a pressão em metros (mca). Para o cálculo da perda de carga contínua foi definida a Formula de Hazen-Williams (H-W).

### 5.1.2 Traçado da rede

Para se desenhar a rede utilizam-se os botões na barra de *Ferramentas do Mapa*. Começou-se por adicionar no mapa da rede todos os nós, desenharam-se de seguida as condutas, colocando-as em união com os nós/reservatórios. Os nós desenhados correspondem aos nós do projeto de execução, fulcrais para toda a rede (pontos mais altos e mais baixos). A imagem de fundo é colocada para uma questão de orientação.

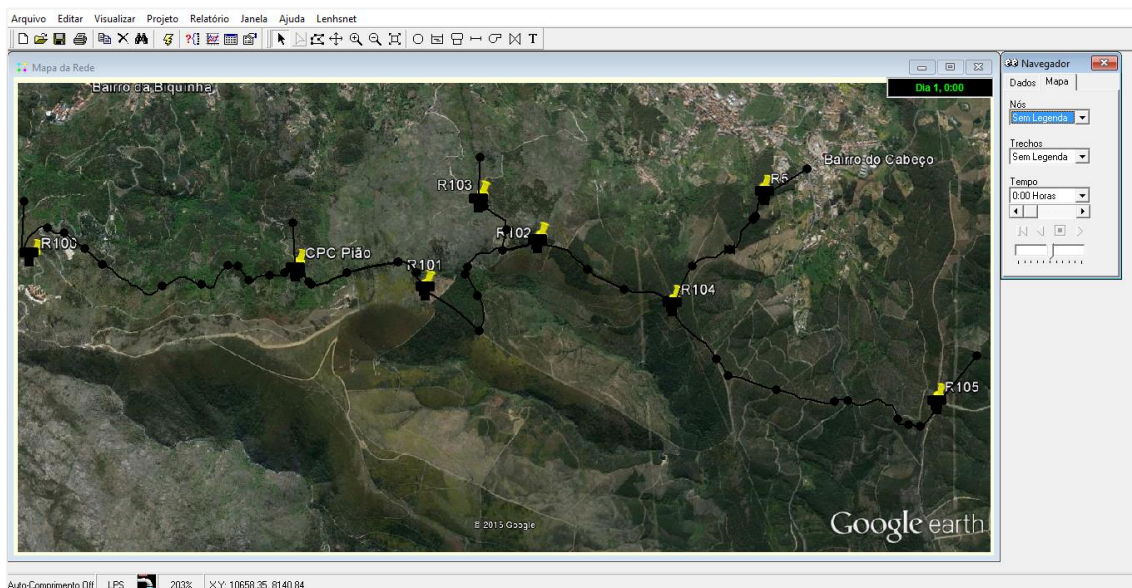


Figura 21 - Desenho da rede em EPANET (Zona Sul)

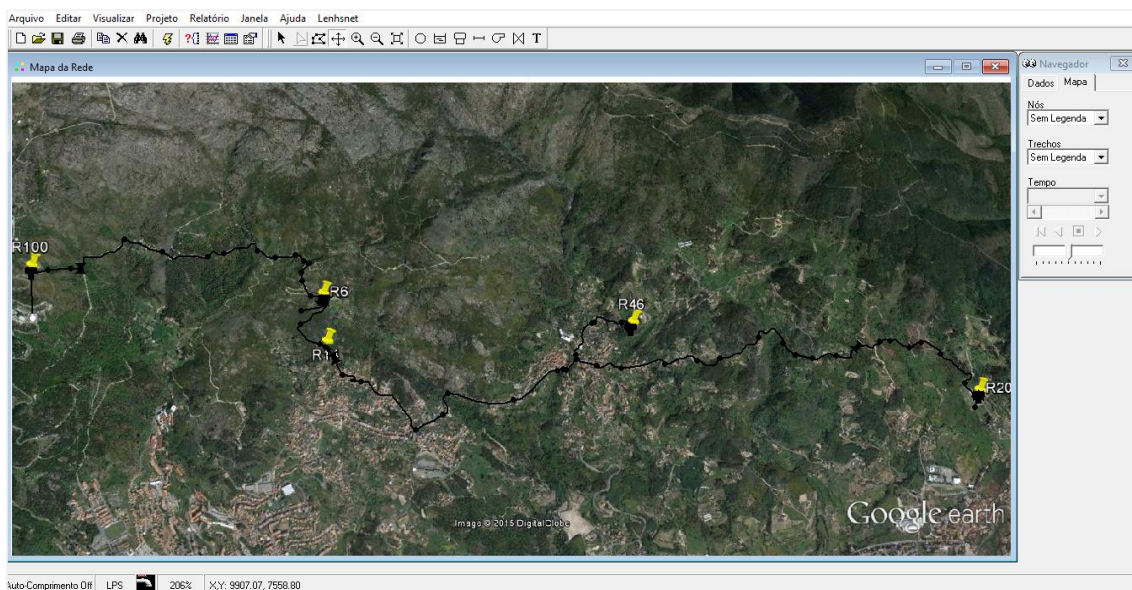


Figura 22 - Desenho da rede em EPANET (Zona Norte)

### 5.1.3 Configurar as propriedades dos nós e tubagens

No editor de propriedades:

- No caso dos nós, define-se o Identificador de Nó (corresponde ao nó no projeto de execução), a cota (corresponde à cota de fundo de vala no projeto de execução). A descrição é opcional (corresponde ao acessório de projeto).

Propriedade	Valor
*Identificador do Nó	8.114
Coordenada X	6094.16
Coordenada Y	7115.14
Descrição	Descarga de Fundo
Zona	
*Cota	721.43
Consumo-Base	0
Padrão de Consumo	
Categorias de Consumo	1
Coef. do Emissor	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Consumo Corrente	#N/A
Carga Hidráulica Total	#N/A
Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A

Figura 23 - Propriedades dos Nós (EPANET)

- No caso das Tubagens, define-se o Identificador da Tubagem, o comprimento, o diâmetro e a rugosidade.

Para a rugosidade, dado que todas as tubagens são de Ferro Fundido Dúctil (FFD), de acordo com a figura seguinte, é considerado o fator C de 130.

Material	<i>C, Hazen-Williams</i> (adimensional)	<i>ε, Darcy-Weisbach</i> (mm)	<i>n, Manning</i> (adimensional)
ferro fundido	130 – 140	0.25	0.012 - 0.015
Betão ou com revestimento de betão	120 – 140	0.3 - 3	0.012 - 0.017
Ferro galvanizado	120	0.15	0.015 - 0.017
Plástico	140 – 150	0.0015	0.011 - 0.015
Aço	140 – 150	0.03	0.015 - 0.017
grés	110	0.3	0.013 - 0.015

Figura 24 - Coeficientes das fórmulas de perda de carga para condutas novas [Fonte: Manual de utilizador EPANET]

Propriedade	Valor
*Identificador do Trecho	13
*Nó Inicial	8.114
*Nó Final	8.124
Descrição	
Zona	
*Comprimento	369.76
*Diâmetro	250
*Rugosidade	130
Coef. Perda de Carga Singular	0
Estado Inicial	Open
Coef. Reação no Escoamento	
Coef. Reação na Parede	
Vazão	#N/A
Velocidade	#N/A
Perda de Carga	#N/A
Fator de Resistência	#N/A
Taxa de Reação	#N/A
Qualidade	#N/A
Estado	#N/A

Figura 25 - Propriedades das condutas

#### 5.1.4 Configurar as propriedades do reservatório

No cenário proposto no presente estudo consideram-se 2 células por cada Reservatório de Nível Variável, de 1000 m<sup>3</sup>, 2000 m<sup>3</sup> e 300 m<sup>3</sup>, define-se a cota, o diâmetro, a altura de água para que corresponda à realidade.

Propriedade	Valor	Propriedade	Valor	Propriedade	Valor
*Identificador do RNV	R6	*Identificador do RNV	R104	*Identificador do RNV	R103
Coordenada X	3118.44	Coordenada X	7808.94	Coordenada X	5618.75
Coordenada Y	7792.46	Coordenada Y	9553.54	Coordenada Y	10616.91
Descrição	Reservatório R6	Descrição	Reservatório R104	Descrição	Reservatório R103
Zona		Zona		Zona	
*Cota	955	*Cota	853	*Cota	910
*Altura de Água Inicial	3	*Altura de Água Inicial	3.5	*Altura de Água Inicial	4
*Altura de Água Mínima	0	*Altura de Água Mínima	0	*Altura de Água Mínima	0.1
*Altura de Água Máxima	3	*Altura de Água Máxima	3.5	*Altura de Água Máxima	4
*Diâmetro	11.28	*Diâmetro	19.09	*Diâmetro	24.25
Volume Mínimo		Volume Mínimo		Volume Mínimo	0
Curva de Volume		Curva de Volume		Curva de Volume	
Modelo de Mistura	Mixed	Modelo de Mistura	Mixed	Modelo de Mistura	Mixed
Fração de Mistura		Fração de Mistura		Fração de Mistura	
Coef. Reação		Coef. Reação		Coef. Reação	
Qualidade Inicial		Qualidade Inicial		Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade		Origem de Qualidade		Origem de Qualidade	
Balanco de Vazão	#N/A	Balanco de Vazão	#N/A	Balanco de Vazão	#N/A
Nível de Água	#N/A	Nível de Água	#N/A	Nível de Água	#N/A
Pressão	#N/A	Pressão	#N/A	Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A	Qualidade	#N/A	Qualidade	#N/A

Figura 26 - Propriedades do Reservatórios (300 m<sup>3</sup> - esquerda; 1000m<sup>3</sup> - centro; 2000m<sup>3</sup> - direita)

### 5.1.5 Adicionar os padrões temporais

Os padrões temporais estão definidos por hora, sendo assim, adicionando-se o fator de consumo a cada hora para o dado padrão temporal.

Dado o facto de serem reservatórios intermédios, ou de “volante”, e funcionarem com caudais médios anuais, apenas existe um padrão temporal, o qual corresponde ao valor  $f=1$ .

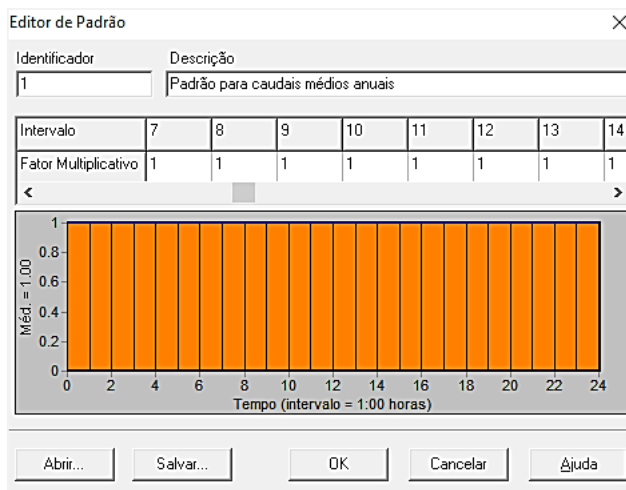


Figura 27 - Padrão temporal



### 5.1.6 Executar simulação dinâmica

Quando se executa a simulação Dinâmica, o programa (EPANET) dimensiona toda a rede de abastecimento. A partir desta simulação retira-se a informação que é necessária para o estudo relativo às pressões de serviço e posteriormente de ensaio.

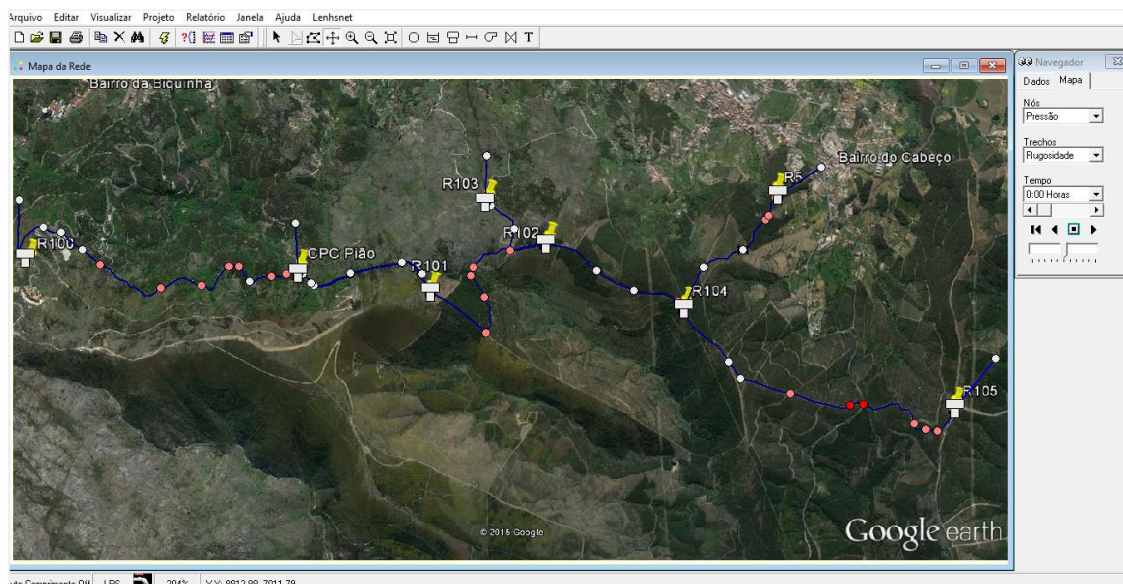


Figura 28 - Simulação dinâmica (Zona Sul)

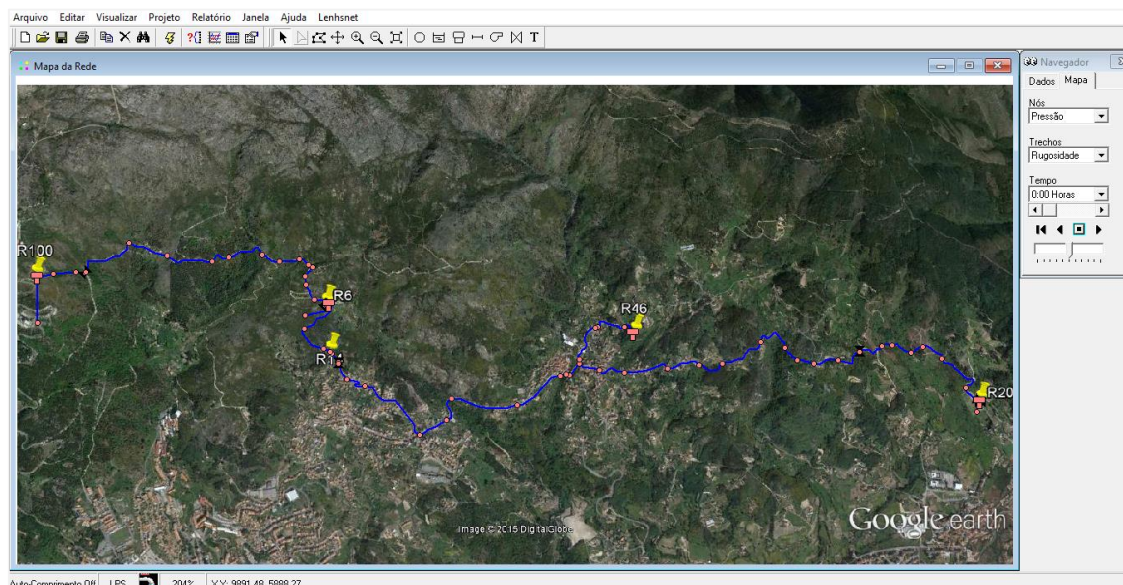


Figura 29 - Simulação dinâmica (Zona Norte)

## 5.2 Estudo de pressão de serviço

Após a simulação de toda a rede, através de gráficos foi representada a pressão de serviço (em mca) em função da distância (em metros), compreendido no gráfico 3 (na secção - anexos I). O gráfico está dividido por secções de pressão nominal (PN10, PN16 e PN25).

Os acessórios, a aplicar na conduta (ventosas, descargas de fundo, válvulas de seccionamento, entre outras), são concebidos para 3 níveis de pressão nominal (PN10, PN16 e PN25). Para que garanta a segurança do sistema estes podem ser aplicados conforme esses níveis de retenção de pressão, isto para uma otimização do troço.

Dado que as condutas têm de garantir a pressão de ensaio é necessária a colocação de acessórios que consigam suportar pressões superiores a 250 mca, devido à inexistência desses acessórios é necessária a colocação de VRP's (nos troços em que esta situação ocorre).

### 5.2.1 Colocação de válvulas redutoras de pressão em EPANET

Para as válvulas redutoras de pressão, neste estudo, é considerado que o funcionamento das VRP é de 50%, ou seja, reduzem a pressão a jusante correspondente a metade da pressão a montante (em um caso excepcional é considerado que funcione a 75%), quando o escoamento se encontra estático.

Com a colocação das VRP's consegue-se aliviar a pressão de serviço na conduta e todos os acessórios a jusante associados.

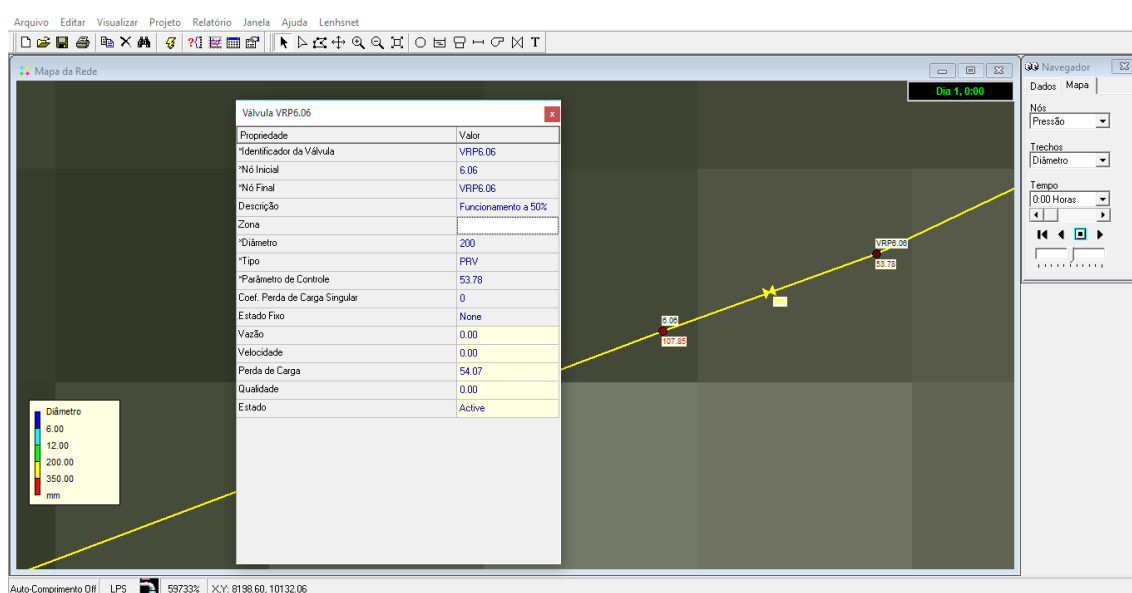


Figura 30 - Propriedades em EPANET de VRP

### 5.2.2 Colocação das válvulas de Seccionamento

De acordo com a revisão bibliográfica sobre as válvulas de seccionamento, secção 3.10.4, as válvulas de seccionamento são colocadas a montante e a jusante das VRP's (para o desmonte das VRP's em caso de avaria), em distâncias no máximo de 4 Km e preferencialmente perto de linhas de água (montante e jusante de descargas de fundo).

No gráfico 4 a colocação das válvulas de seccionamento estão representadas em linhas verticais (a roxo). Entre as Válvulas de Seccionamento são considerados troços de ensaio e a pressão de ensaio da conduta (linha azul), em que consiste na multiplicação da pressão de serviço, no ponto mais baixo da secção, pelo fator de 1,5 (gráfico 5).

O estudo final (gráfico 5) representa o troço com a pressão de ensaio influenciado pelas Válvulas Redutoras de Pressão e o posicionamento em projeto das Válvulas de Seccionamento.

Esta metodologia é usada em todos os troços do projeto.

## 6. Visitas técnicas à obra e ETA Penhas da Saúde

As visitas à obra consistiram no acompanhamento “*in situ*” do estado das obras e dos empreendimentos relacionados com a empresa. Neste caso o estagiário visitou a obra que se encontra em execução e a Estação de Tratamento de Água Penhas da Saúde. Para a visita à obra foram usados Equipamentos de Proteção Individual (EPI) como botas, capacete e colete fluorescente.

As visitas técnicas são de extrema relevância para este tipo de estudos/projetos, pois é possível verificar em contexto real a dinâmica e a prática resultante dos processos teóricos, sendo também integrante com todos os profissionais na área.

Numa das visitas à obra foi realizada um simulacro da queda de um homem dentro de uma célula e da respetiva operação de salvamento pela GNR e Bombeiros.

Nos anexo II, encontram-se uma série de fotografias relativos às visitas efetuadas.

(página em branco)

## 7. Conclusão

A realização deste estágio foi crucial para a minha formação, não só a nível profissional como também pessoal. Entre muitas outras coisas, este estágio serviu para colocar em prática todos os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da licenciatura, assim como novos conhecimentos essenciais para o futuro. Ao longo dos três meses de estágio, foi importante viver o dia-a-dia numa empresa fulcral ao desenvolvimento do Concelho da Covilhã.

O desenvolvimento mais aprofundado do estudo económico não foi tratado devido à falta de informação associado aos custos de investimento, neste tipo de empreendimentos, os serviços de consultadoria necessários seriam bastantes dispendiosos e dado esse facto essa vertente não foi tratada. Sendo assim no “Estudo preliminar de aproveitamentos mini-hídricos em Reservatórios” apenas consta um estudo técnico que poderá ser bastante útil para uma fase posterior ao estudo preliminar e com dados mais desenvolvidos e corretos.

Quanto ao apoio técnico à empresa, com base em todo o projeto de execução, foi possível trabalhar e compreender como se elabora um projeto de execução de uma obra de grande dimensão. O projeto efetuado em EPANET poderá ser sempre utilizado para outro tipo de simulações ou estudos, quanto ao estudo sobre a pressão de serviço e ensaio, colocação de válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento, nos troços de conduta adutora, foi utilizado para aplicação na obra em questão. As perdas de carga localizadas nos troços adutores não foram abordados devido à falta de informação associada aos vários tipos de curvas, ventosas, válvulas de seccionamento e descargas de fundo.

Em todo o período de estágio o que mais dificultou o trabalho foi o acesso a informação exterior à empresa, fulcral para o desenvolvimento de todo o estudo. As visitas técnicas são bastante importantes para a compreensão e enquadramento de todo o trabalho que é desenvolvido na empresa.

Atualmente e futuramente, este tipo de empreendimento é bastante importante, dada a grande procura de energia elétrica. As fontes de energia renovável são importantes, desde que viáveis, pois poderão reduzir a produção de energia elétrica proveniente da queima de combustíveis fósseis, quando entregues à rede elétrica nacional. A aposta neste tipo de tecnologias não constituem uma moda, mas antes uma aposta estratégica e essencial ao desenvolvimento sustentável das vertentes económicas, sociais e ambientais do país.

(página em branco)

## Bibliografia

BOBROWICZ, Wladyslaw – Small Hydro Power: Investor Guide, Autumn, 2006.

DECRETO REGULAMENTAR n.º23/95 de 23 de Agosto. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Águas e de Drenagem de Águas, 1995.

DECRETO-LEI n.º 13/2014, D.R, 1.ª Série. N.º 131 (14-09-20), 5298-5311.

MARQUES, José; SOUSA, Joaquim – Hidráulica Urbana: Sistema de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais. 3.ª Edição, Coimbra 2011.

PORTARIA n.º 15/2015, D.R, 1.ª Série. N.º 16 (15-01-23), 531-532.

QUINTELA, A. C. – Hidráulica, 10ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2007.

Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal: Caracterização geral do setor, Volume n.º1 (2013), Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2014.

SALVINO, Heber – Manual do usuário Epanet 2.0 Brasil, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Setembro de 2000.

SILVA, José – Microturbinas em redes de abastecimento da água, Universidade de Aveiro, 2011, Tese de Mestrado.

SOUSA, Eduardo – Saneamento Ambiental I: Sistemas de Adução, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Lisboa, Setembro de 2001.

### **Páginas Web:**

[www.icovi.pt](http://www.icovi.pt)

[www.cm-covilha.pt](http://www.cm-covilha.pt)

[www.aguasdacovilha.pt](http://www.aguasdacovilha.pt)

[www.ine.pt](http://www.ine.pt)

[www.ersar.pt](http://www.ersar.pt)

[www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt)

[www.aquaporservicos.pt](http://www.aquaporservicos.pt)

[www.spheraa.com](http://www.spheraa.com)

[www.retscreen.net/pt/home.php](http://www.retscreen.net/pt/home.php)

[www.apren.pt](http://www.apren.pt)



(página em branco)

## Anexo I

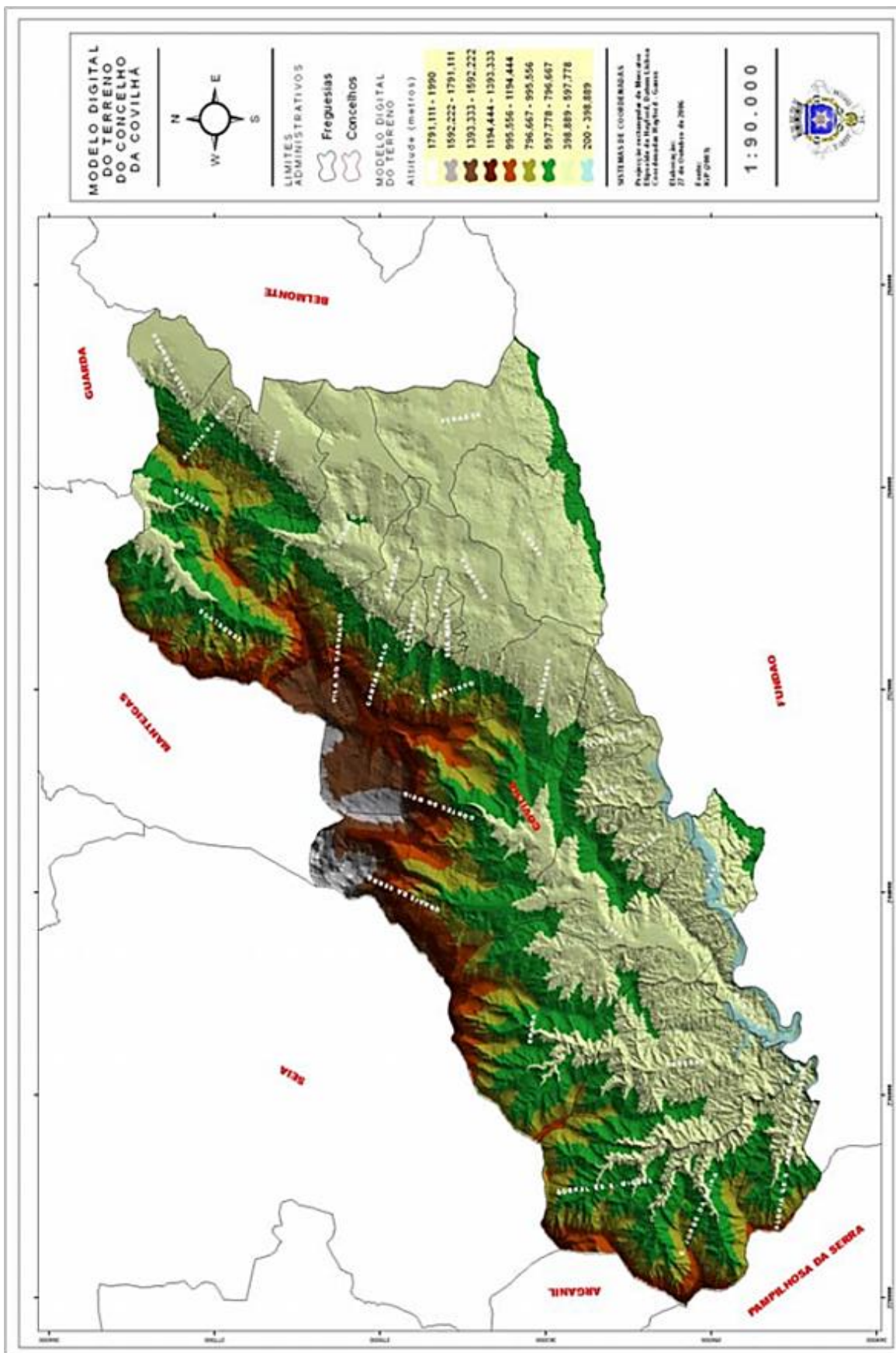


Figura 31 - Modelo Digital do Terreno do Concelho da Covilhã

Tabela 4 - População do Concelho da Covilhã [Fonte: Instituto Nacional de Estatística]

LOCALIDADE	População Residente				
	1970	1981	1991	2001	2011
Vila do Carvalho	3751	5582	3723	2090	1741
Aldeia de São Francisco de Assis	1890	1886	1396	670	632
Aldeia do Souto	407	347	298	265	240
Barco	1321	1261	753	576	473
Boidobra	1414	1477	1880	2859	3246
Casegas	1146	910	780	696	425
Covilhã (Conceição)	11308	10565	7465	7563	7175
Cortes do Meio	1314	1066	809	969	884
Dominguizo	1027	1102	1154	1182	1119
Erada	1220	1111	964	845	709
Ferro	1498	1881	1646	1814	1700
Orjais	1071	1028	980	859	806
Ourondo	470	504	495	416	372
Paul	1755	1565	1728	1812	1624
Peraboa	1212	1176	1147	1072	953
Peso	1401	735	753	780	737
Covilhã (Santa Maria)	4615	4011	3053	2446	3220
São Jorge da Beira	1718	1572	1062	682	633
Covilhã (São Martinho)	5996	5222	5165	4745	4165
Covilhã (São Pedro)	3687	3254	2133	2649	2225
Sarzedo	390	297	214	175	130
Sobral de São Miguel	1197	943	744	686	418
Teixoso	3751	4076	3742	4413	4360
Tortosendo	4571	5147	4654	5359	5624
Unhais da Serra	1739	1826	1539	1385	1398
Vale Formoso	573	708	707	640	574
Verdelhos	1572	930	833	836	664
Vales do Rio	*	833	930	839	674
Coutada	*	*	497	476	406
Cantar-Galo	*	*	2755	2492	2233
Canhoso	*	*	*	1735	2237
<b>Concelho da Covilhã</b>	<b>62014</b>	<b>61015</b>	<b>53999</b>	<b>54026</b>	<b>51797</b>

\* Não existem dados populacionais





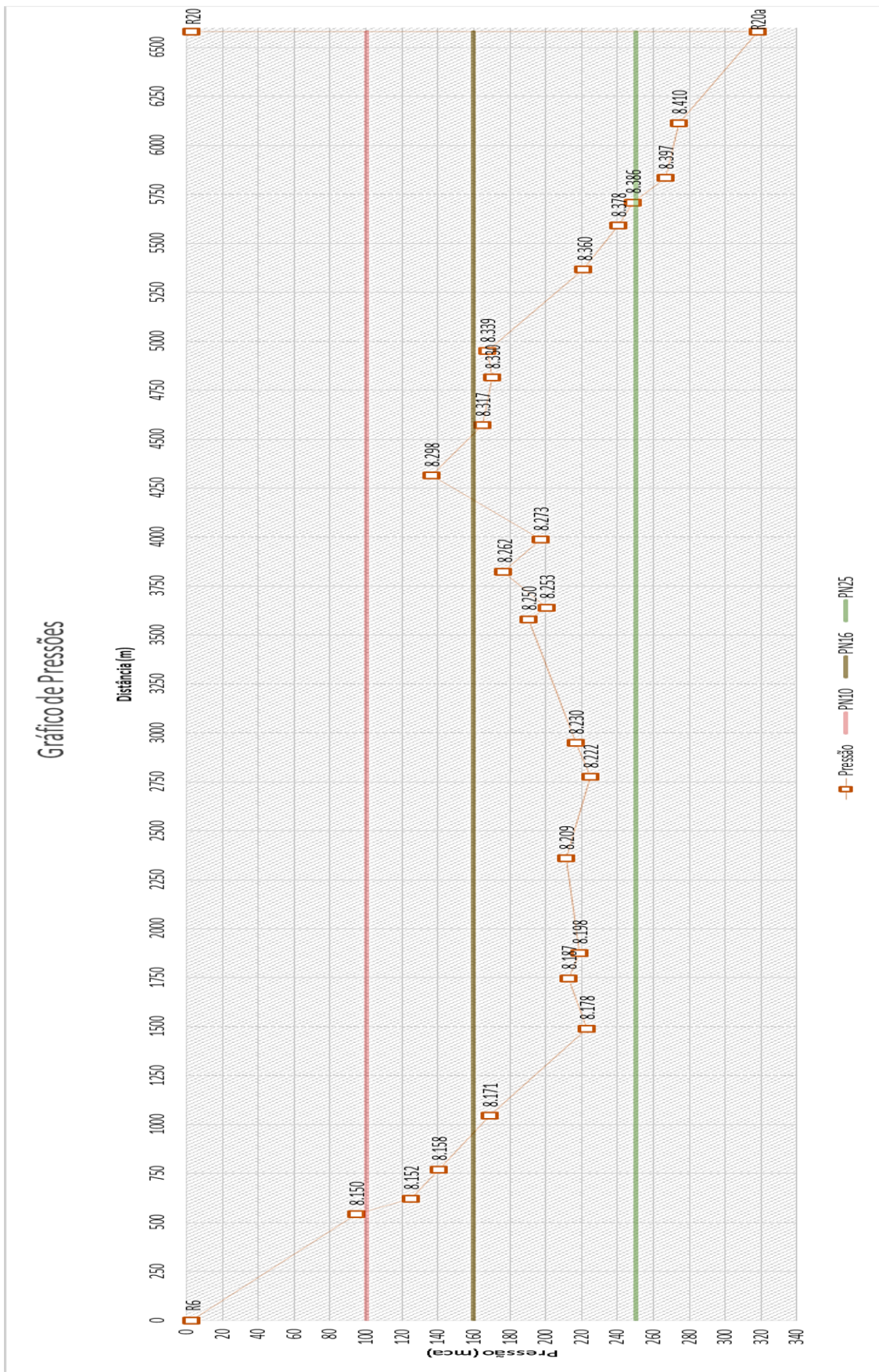


Gráfico 3 - Pressão de serviço (exemplo)

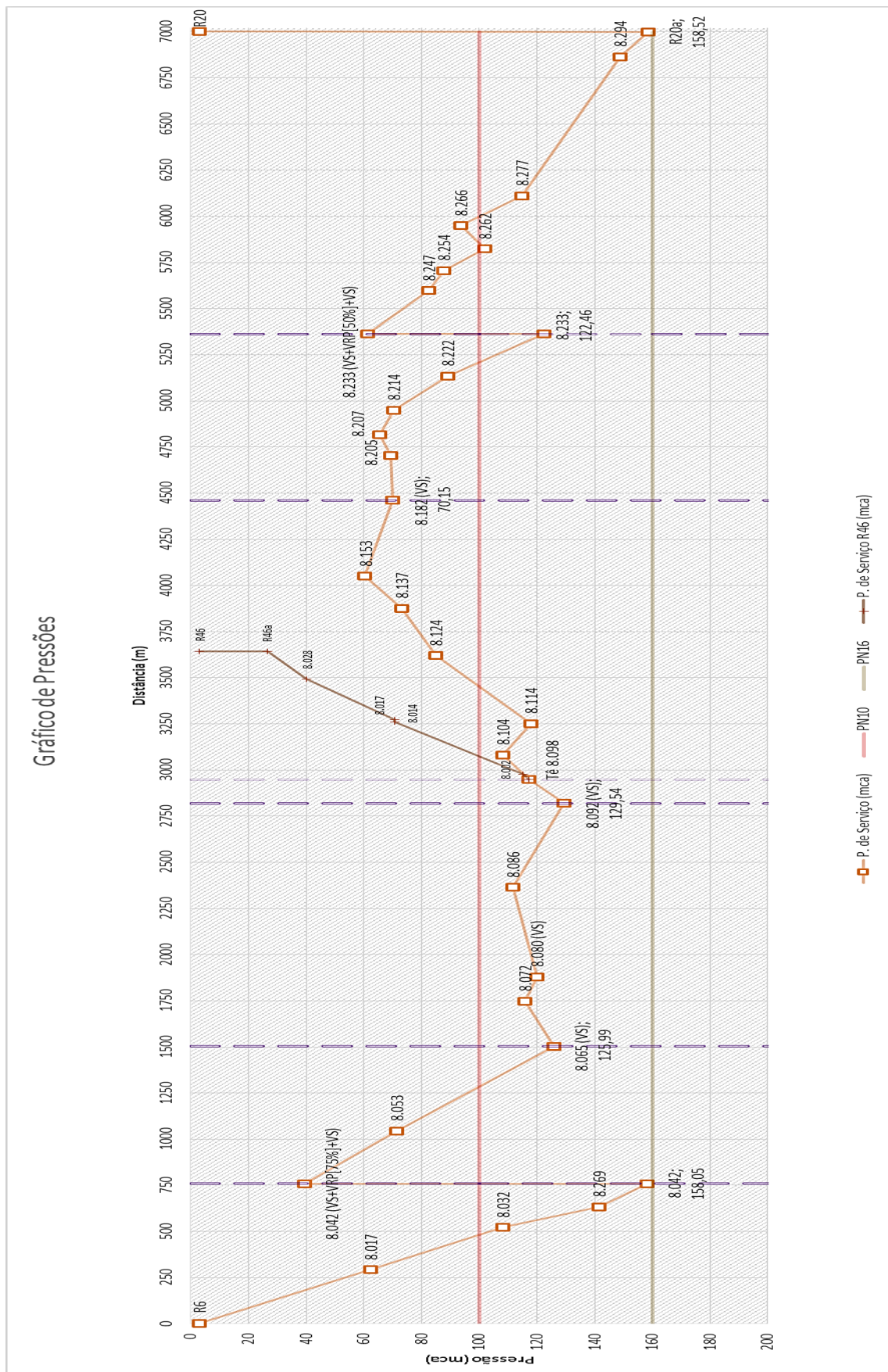


Gráfico 4 - Pressão de serviço com as válvulas de seccionamento (exemplo)



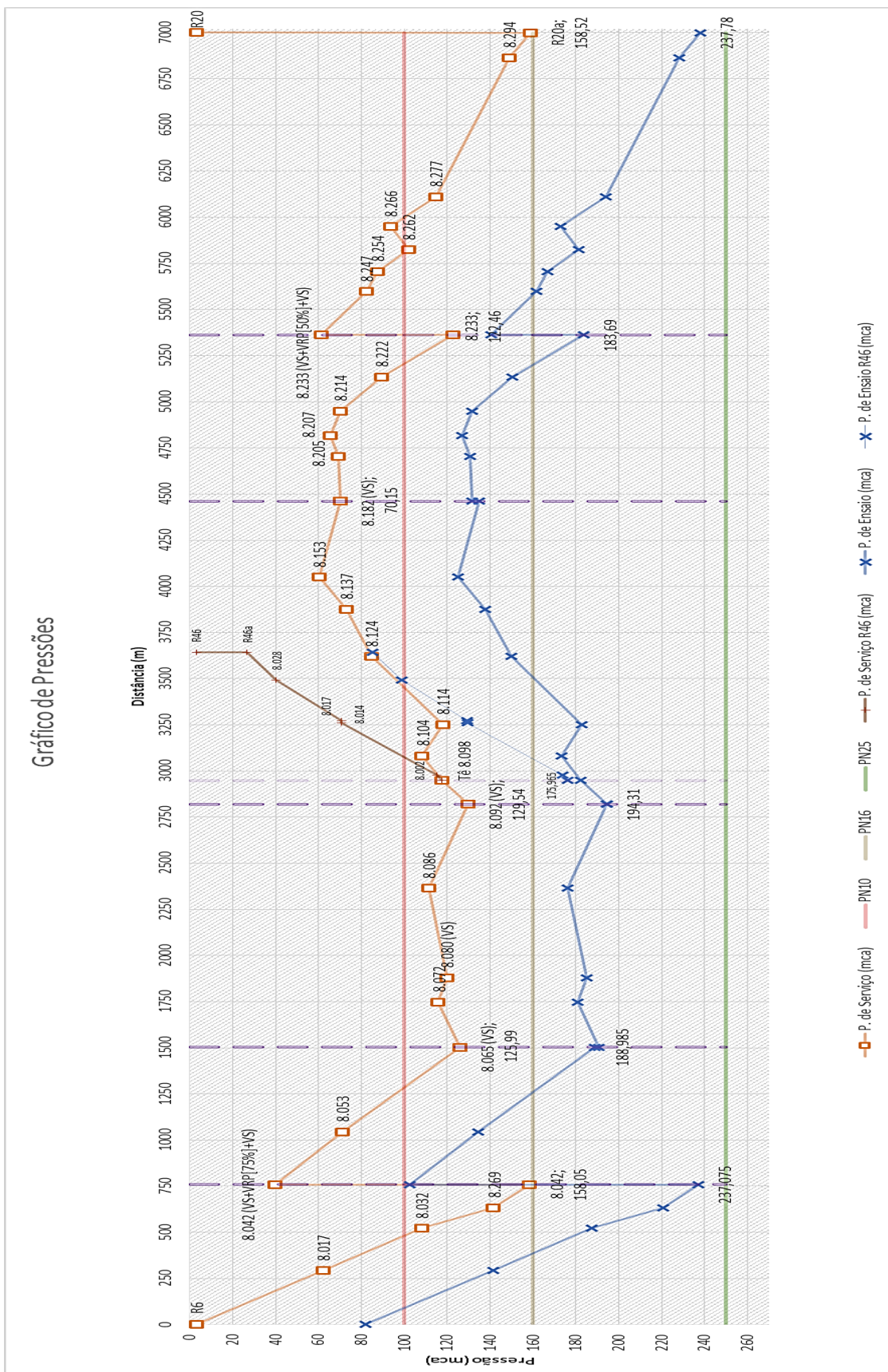


Gráfico 5 - Estudo final (Pressão de serviço, pressão de ensaio e eventual posicionamento de válvulas de sectionamento; exemplo)



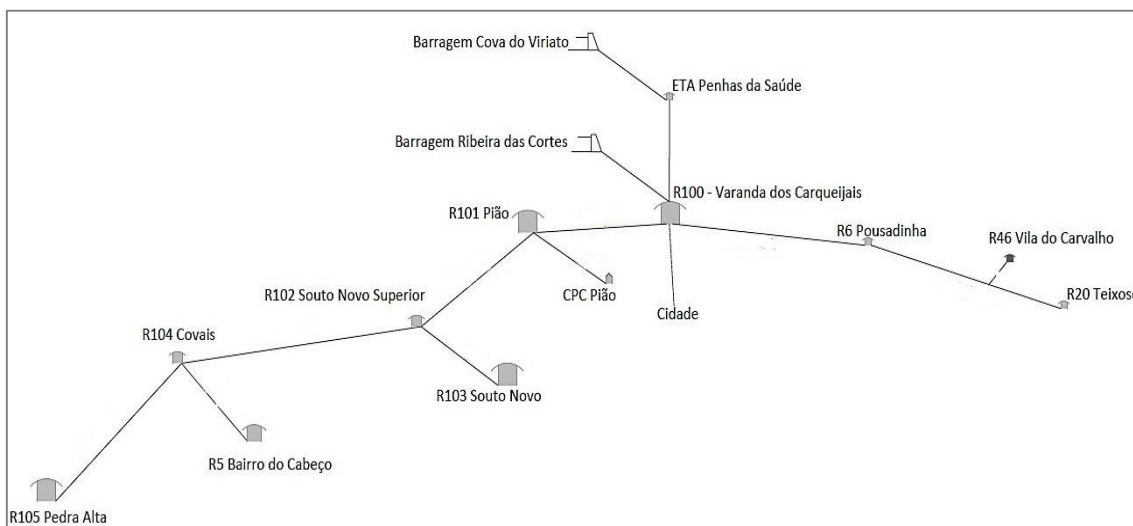


Figura 33 - Rede global

## **Anexo II**

(Conjunto de fotografias relativas às visitas técnicas efetuadas)

- **Visitas à Obra em Execução**



Figura 34 - Escavação e execução de fundações – Reservatórios



Figura 35 - Execução de fundações e Pré-fabricados – Reservatórios





Figura 36 - Camara de Manobras – Reservatórios



Figura 37 - Trabalho de execução de condutas adutoras





Figura 38 - Execução do Simulacro



Figura 39 - O Reservatório em execução





Figura 40 - Perfuração horizontal e escavadora



Figura 41 - Aplicação de acessórios



- **Visita à Estação de Tratamento de Água Penhas da Saúde**



Figura 42 - Tratamento de água (ETA)



Figura 43 - ETA (filtros de areia, bombas e descarregadores)

**FIM**