



# Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

## Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de  
Sistemas Térmicos

Autor

**Tiago Elias Hanna Gouveia**

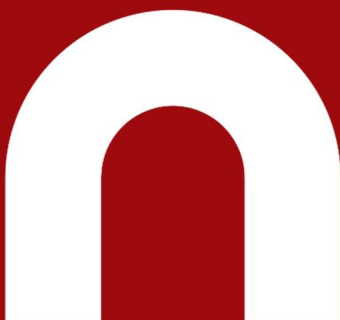
Orientador

**Prof. Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira**

Supervisor na empresa H2Tec

**Eng. Pedro Manuel de Sousa Hermeiro**

Coimbra, novembro e 2025



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR



## **RESUMO**

O presente relatório, desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado na empresa H2Tec, de novembro de 2024 a julho de 2025, expõe um estudo técnico e económico sobre a viabilidade da implementação de turbinas hidráulicas em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), com o propósito de otimizar o aproveitamento do caudal e da altura de queda disponíveis para a geração de energia eléctrica renovável. O projeto em questão incidiu sobre duas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de diferentes dimensões, nomeadamente as localizadas em Cacia e Miranda do Corvo. Nesse sentido, foram avaliadas as condições hidráulicas, os tipos de turbinas mais adequados e os desafios da sua integração nas infraestruturas existentes. Foram tidos em consideração diversos outros fatores, designadamente os caudais sazonais, o impacto ambiental, os custos de instalação e o retorno do investimento. Com base em dados reais de funcionamento e de consumo de energia, foram propostas soluções técnicas adaptadas a cada caso, utilizando turbinas Kaplan e Turgo. Os resultados obtidos reforçam a viabilidade e o interesse estratégico da implementação de sistemas de produção hidroeléctrica em ETAR, contribuindo para a autossuficiência energética e para a sustentabilidade do setor.

**Palavras-Chave:** ETAR; turbinas; eficiência; sustentabilidade; energias alternativas

## **ABSTRACT**

This report, supported by an internship performed at H2Tec company, between November of 2024 and July of 2025, presents a technical and economic study on the feasibility of implementing hydraulic turbines in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) with the aim of optimizing the use of available flow and head for the generation of renewable electricity. The project in question focused on two Wastewater Treatment Plants (WWTP) of different sizes, namely those located in Cacia and Miranda do Corvo. To this end, the hydraulic conditions, the most suitable types of turbines and the challenges of integrating them into existing infrastructures were assessed. Various other factors were taken into account, including seasonal flows, environmental impact, installation costs and return on investment. Based on real operating and energy consumption data, technical solutions adapted to each case were proposed, using Kaplan and Turgo turbines. The results obtained reinforce the feasibility and strategic interest of implementing hydroelectric production systems in wastewater treatment plants, contributing to energy self-sufficiency and the sustainability of the sector.

**Keywords:** WWTP; turbines; efficiency; sustainability; alternative energy

## **ÍNDICES DE TEXTO**

Resumo.....	1
Abstract .....	ii
Índices de Texto.....	iii
Índices de Figuras.....	vi
Índices de Quadros .....	viii
Lista de abreviaturas.....	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos .....	1
2. Tipos de Turbinas .....	3
2.1. Turbinas de Ação ou de Impulso .....	3
2.1.1. Turbina Pelton .....	3
2.2. Turbina Banki-Mitchell (Crossflow) .....	4
2.3. Turbinas de Reação .....	5
2.3.1. Turbina Francis .....	5
2.3.2. Turbina Kaplan e Hélice.....	6
2.4. Comparação das diferentes turbinas .....	8
2.5. Parafuso de Arquimedes.....	9
2.5.1. Funcionamento .....	9
3. Caracterização das ETARs.....	11
3.1. Processos de Remoção de Resíduos .....	11

3.1.1.	Tratamento da fase Líquida.....	12
3.1.2.	Tratamento da fase Sólida .....	12
3.1.3.	Tratamento da fase Gasosa .....	13
3.2.	Locais adequados para o estudo .....	14
3.3.	ETARs em estudo .....	14
3.3.1.	Cacia .....	15
3.3.2.	Miranda do Corvo .....	16
4.	Seleção e dimensionamento das Turbinas .....	17
4.1.	CrITÉrios de Seleção .....	17
5.	Estudo do mercado.....	20
5.1.	Sydney .....	20
5.2.	Ontario.....	20
5.3.	Toruń .....	21
6.	Implementação do Projeto de Cacia.....	23
6.1.	Saída da ETAR .....	23
6.2.	Turbina .....	25
6.3.	Acessórios de montagem.....	26
6.4.	Montagem de conjunto e Obra no local.....	26
6.5.	Retorno de Investimento.....	27
7.	Implementação do Projeto de Miranda do Corvo.....	34
7.1.	Incertezas e obstáculos da ETAR.....	34
7.1.1.	Saída da estação.....	34
7.1.2.	Local de desagramento.....	36

7.1.3.	Caixa visita turbina .....	42
7.2.	Solução Proposta.....	43
7.3.	Turbina .....	43
7.4.	PLC (Programmable Logic Controller) .....	45
7.5.	Válvula Reguladora.....	46
7.6.	Acessórios de tubagem .....	47
7.6.1.	Descarga de Superfície.....	48
7.6.2.	Ligação de turbina .....	49
7.7.	Instalação Elétrica .....	49
7.8.	Caixa Visita.....	50
7.9.	Retorno de Investimento.....	51
8.	Outros métodos de produção de energia em ETARs.....	59
8.1.	Comparação dos métodos.....	59
9.	Conclusões .....	62
	Bibliografia .....	63
	Anexos.....	64
	Anexo A – Tabela e diagrama de rendimento e eficiência fornecido por Gugler .....	65
	Anexo B – Informação Técnica da Válvula Guilhotina fornecido por Techsysflui.....	66
	Anexo C – Dados de ETAR de Miranda do Corvo com cálculos efetuados .....	67

## ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 2.1 - Turbina Pelton .....	4
Figura 2.2 - Esquemas de turbinas Crossflow: a) Sketch de modelo de turbina; b) Diagrama de turbina com percurso de caudal .....	5
Figura 2.3 - Turbina Francis .....	6
Figura 2.4 - Formatos de pás dependendo de potencial híbrido .....	7
Figura 2.5 - Esquema experimental da turbina Kaplan.....	7
Figura 2.6 - Campo de aplicação das turbinas Francis, Kaplan e Pelton.....	8
Figura 2.7 - Descrição de parafuso de Arquimedes por Vitruvius .....	9
Figura 2.8 - Exemplo de ilustração geométrica de parafuso de Arquimedes com três entradas.....	9
Figura 2.9 - Representação básica de funcionamento de parafuso de Arquimedes como turbina.....	10
Figura 3.1 - Diagrama de uma ETAR .....	11
Figura 3.2 - ETAR de Cacia .....	15
Figura 3.3 - ETAR de Miranda do Corvo .....	16
Figura 4.1 - Caudal anual á saída de ETAR de Miranda do Corvo 2023 [m <sup>3</sup> /dia] .....	17
Figura 4.2 - Caudal anual á saída de ETAR Portucel 2023 [m <sup>3</sup> /dia] .....	18
Figura 4.3 - Plantas da ETAR de Cacia: a) Planta com reservatório; b) Planta de corte D-D .....	19
Figura 5.1 - Variabilidade da produção diária calculada de eletricidade na central hidroelétrica da estação de tratamento de águas residuais de Toruń em 2018 e 2023. ....	21
Figura 6.1 - Descarregador de saída de ETAR de Portucel: a) Vista lateral; b) Vista de topo .....	23

Figura 6.2 – Desenhos em corte de descarregador de saída: a) Desenho sem modificações; b) Desenho com modificações para acoplar turbina Crossflow.....	24
Figura 6.3 - Desenhos de descarregador de saída: a) Desenho em corte; b) Desenho completo .....	24
Figura 6.4 – Desenho em corte de descarregador com turbina a montante.....	25
Figura 6.5 – Desenho da Turbina da empresa Gugler.....	26
Figura 6.6 - Conjunto turbina e acessórios.....	27
Figura 7.1 - Tubagem de saída .....	34
Figura 7.2 - Conjunto depósito e válvula reguladora de caudal.....	35
Figura 7.3 - Conjunto <i>bypass</i> turbina e acessórios .....	36
Figura 7.4 - Conjunto turbina e acessórios.....	36
Figura 7.5 - Disposição de furos e referentes cálculos.....	37
Figura 7.6 - Turbina GD-LZ-12-3KW .....	44
Figura 7.7 - Válvula Guilhotina com corpo de ferro e placa de montagem ISO para conexão .....	46
Figura 7.8 - Tubo de descarga de superfície.....	48
Figura 7.9 - Cone Excêntrico .....	49
Figura 7.10 - Curva.....	49
Figura 7.11 – Conjunto turbina e acessórios.....	51
Figura 8.1 - Distribuição dos consumos elétricos na ETAR do Ave.....	60
Figura 8.2 - Distribuição da energia produzida pelos diferentes métodos em relação ao consumo na ETAR do Ave .....	60

## ÍNDICES DE TABELAS

Tabela 6.1 – Tabulação da Eficiência e Potência produzida .....	27
Tabela 6.2 – Valores de caudal para cada dia: a) dia de Verão; b) dia de Inverno .....	28
Tabela 6.3 – Cálculo da energia para diferentes horas do dia de Verão .....	30
Tabela 6.4 – Cálculo da energia para diferentes horas do dia de Inverno.....	31
Tabela 6.5 – Orçamento ETAR Cacia .....	33
Tabela 7.1 - Características Chapa Furada.....	38
Tabela 7.2 - Parâmetros da turbina GD-LZ-12-3KW .....	44
Tabela 7.3 – Parâmetros de gerador SF 1.5-4 .....	45
Tabela 7.4 - Parâmetros da válvula.....	47
Tabela 7.5 - Parâmetros do cabo HO7RN-F 2X1,5 .....	50
Tabela 7.6 – Dados de ETAR de Miranda do Corvo com cálculos efetuados..	52
Tabela 7.7 - Lista de trabalho a realizar na ETAR de Miranda do Corvo.....	55
Tabela 7.8 – Orçamento ETAR Miranda do Corvo .....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
a.C	Antes de Cristo
DN	Dimensão Nominal
PN	Pressão Nominal
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight</i> (Custo, Seguro e Frete)
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável)
HMI	<i>Human Machine Interface</i> (Interface Humano Máquina)
AWG	<i>American Wire Gauge</i> (Medida americana de calibre de fios)



## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento**

A crescente procura por energia e alternativas sustentáveis têm impulsionado a exploração de fontes de energia renovável em diversos contextos. Neste domínio, as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) surgem como locais com um elevado potencial para geração de energia. A instalação de turbinas em ETAR, aproveitando o caudal e a queda de água na fase final de tratamento, representa uma oportunidade promissora para a produção de eletricidade de forma a reduzir os custos energéticos de uma ETAR, reduzindo, ao mesmo tempo, a dependência de combustíveis fósseis e os custos operacionais dessas instalações.

O presente estudo técnico-económico foca-se na análise da viabilidade de instalação de turbinas hidráulicas em ETAR para produção de energia, explorando aspetos técnicos, como o tipo de turbinas e suas especificações, e aspetos económicos, como custos de implementação, manutenção e retorno sobre o investimento.

### **1.2. Objetivos**

O desenvolvimento e a motivação deste projeto identificam-se com a necessidade de integrar soluções inovadoras e sustentáveis no setor do tratamento de águas residuais em Portugal. O aumento da procura de eficiência energética, associado à pressão para reduzir as emissões de carbono e otimizar a sustentabilidade ambiental, gera uma oportunidade estratégica para a implementação de turbinas hidráulicas em ETARs.

Este projeto visa explorar o potencial de aproveitamento energético dos fluxos hídricos disponíveis em ETARs, utilizando turbinas hidráulicas para a produção de energia elétrica. Esta abordagem não apenas promove a autossuficiência energética das instalações, mas também posiciona Portugal na vanguarda da inovação tecnológica na área da gestão de águas.

Do ponto de vista científico, pretende-se que o projeto contribua para a ampliação do conhecimento sobre a viabilidade técnica e económica da aplicação de turbinas em cenários específicos de ETARs, com foco em baixos caudais e alturas de queda típicas deste tipo de infraestrutura.

Tecnologicamente, o projeto tem por objetivo desenvolver uma solução adaptável e replicável, que possa ser implementada em outras ETARs nacionais ou mesmo internacionais.

Este projeto reflete o compromisso das Águas de Portugal em atingir a neutralidade energética.

## **2. Tipos de Turbinas**

No processo de seleção de uma turbina para utilização em centrais mini-hídricas, com o objetivo de garantir um desempenho eficiente, é essencial considerar três parâmetros fundamentais: o caudal, a altura de queda, isto é a diferença de altura entre o nível da água no reservatório e o nível da água na saída da turbina, e a potência.

As turbinas hidráulicas podem ser divididas em duas categorias, consoante o seu modo de operação: turbinas de ação ou turbinas de reação.

### **2.1. Turbinas de Ação ou de Impulso**

As turbinas de ação apresentam-se, tipicamente, com elevadas alturas de queda e caudais reduzidos.

As vantagens associadas a este modelo de turbinas incluem uma maior tolerância a areias e outras partículas presentes na água, uma estrutura que facilita o seu fabrico e um acesso mais fácil para a manutenção. Adicionalmente, este modelo é menos suscetível ao fenómeno de cavitação.

A desvantagem reside no facto de não serem apropriadas para aproveitamentos de menor altura de queda.

#### **2.1.1. Turbina Pelton**

Criada por Lester A. Pelton, em 1880, considerada a turbina de impulso mais avançada. Gera energia utilizando o momento criado por jatos de água provenientes de um ou mais injetores, que incidem em conchas distribuídas em redor de um rotor (Figura 2.1).

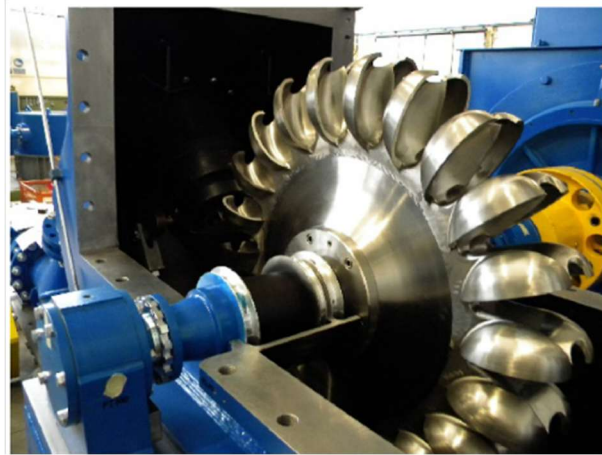


Figura 2.1 - Turbina Pelton

### Zeco Hydropower

Atualmente, apresenta uma eficiência de cerca de 92%, valor que tem vindo a ser otimizado, e encontra-se instalada em centrais hidroelétricas superiores a 50 MW, nomeadamente na Europa.

As turbinas Pelton podem ser de eixo horizontal ou vertical. Com a configuração de eixo horizontal não é possível a instalação de mais de dois injetores, enquanto a configuração de eixo vertical permite a instalação até seis injetores.

Estas turbinas são vantajosas na facilidade de troca de peças e na facilidade de reduzir as sobrepressões nas tubagens.

## 2.2. Turbina Banki-Mitchell (Crossflow)

A turbina *Crossflow* apresenta um funcionamento semelhante a outras turbinas em que as lâminas são montadas num disco suportado por um eixo, sendo o conjunto habitualmente designado por rotor ou roda. Nas *Crossflow* o rotor consiste de lâminas circulares maiores e na direção transversal são soldados dois ou mais discos circulares, o eixo é depois conectado a um gerador que produz eletricidade.

O caudal de água é guiado até às lâminas da turbina por uma palheta guia de entrada (Figura 2.2 a)), garantindo que a água as atinja no ângulo adequado para maximizar a eficiência e fluindo dessa forma sobre as lâminas criando binário (*1<sup>st</sup> stage*). Depois de atingir as lâminas, o caudal de água move-se através da turbina e atinge-as mais uma vez ao sair, produzindo ainda mais binário (*2<sup>nd</sup> stage*). O primeiro impacto que a água tem com as lâminas produz mais força do que o segundo golpe (Figura 2.2 b)).

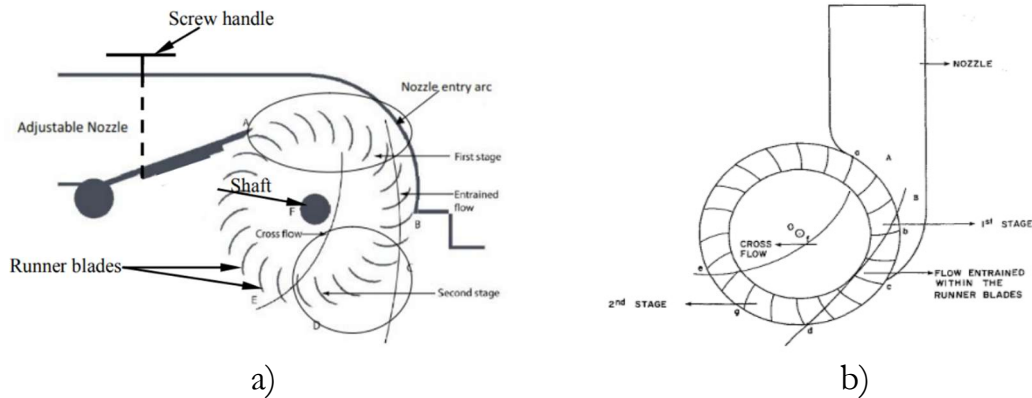


Figura 2.2 - Esquemas de turbinas Crossflow: a) Sketch de modelo de turbina; b) Diagrama de turbina com percurso de caudal

*International Journal of Energy and Environment* (Kaunda et al, 2014)

As turbinas *Crossflow* apresentam um design barato e de fácil reparação, com uma eficiência de 85%, aproximadamente.

## 2.3. Turbinas de Reação

Turbinas de reação partem do princípio de funcionamento em que a água circula entre as pás de modo a variar a velocidade e a pressão. Possuem uma velocidade específica superior às da turbina Pelton, mas estão mais sujeitas ao fenómeno da cavitação.

Distinguem-se dois grupos:

- Turbinas Radiais: do tipo Francis, adequadas para operações com condições intermédias de queda e caudal.
- Turbinas Axiais: do tipo Kaplan e Hélice, adequadas para operações com baixa altura de queda e caudais elevados.

### 2.3.1. Turbina Francis

A turbina Francis é um dos tipos de turbinas hidráulicas mais utilizados em centrais hidroelétricas. Desenvolvida por James B. Francis no século XIX, e projetada para operar em condições de média a alta altura de queda e com caudais variáveis, tornando-a versátil e eficiente em diferentes aplicações.

A água flui por um sistema de pás curvas, que convertem a energia hidráulica em energia mecânica ao girar o rotor (Figura 2.3). As turbinas Francis podem ser instaladas em configurações horizontais ou verticais, dependendo das características do projeto em questão.

São amplamente reconhecidas pela sua durabilidade e alta eficiência (até 95%) em operações contínuas e possuem a capacidade de ajustar o fluxo por meio de pás-guia móveis também permite otimizar o desempenho de acordo com as condições hidráulicas específicas.



Figura 2.3 - Turbina Francis

Barragem das Três Gargantas, Yangtze River, China

### **2.3.2. Turbina Kaplan e Hélice**

Em resposta à utilização de turbinas para a produção de energia hidráulica em leitos de rios com caudais variáveis, a única solução existente na altura era a turbina Francis. No entanto, esta não se revelou adequada para tal utilização, devido ao formato das pás da turbina. Viktor Kaplan introduziu uma modificação neste formato demonstrado na Figura 2.4.

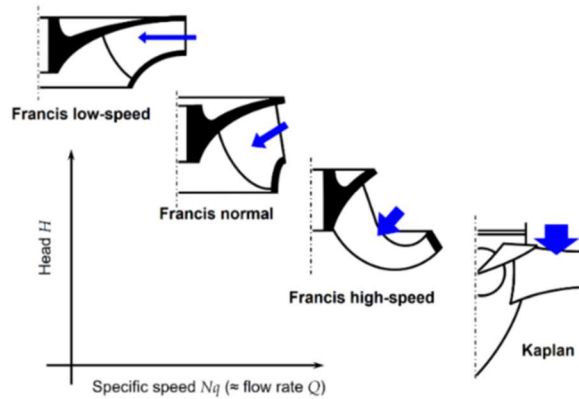


Figura 2.4 - Formatos de pás dependendo de potencial híbrido

*A Brief History of the Kaplan Turbine Invention* (Polák, 2021)

A turbina Kaplan é, por conseguinte, utilizada em locais com caudais elevados e alturas de queda mais baixas (exemplo caudal de 100 m<sup>3</sup>/s e uma altura de queda de 10 metros). Estas estruturas são constituídas por uma câmara de entrada, que pode estar aberta ou fechada, por um distribuidor e por uma roda com entre quatro e cinco pás em forma de hélice (Figura 2.5).

Quando as pás se encontram fixas, a turbina é classificada como sendo do tipo Hélice.

Se as pás forem móveis, será possível variar o ângulo de ataque através do regulador de turbina, passando a turbina a ser classificada como Kaplan.

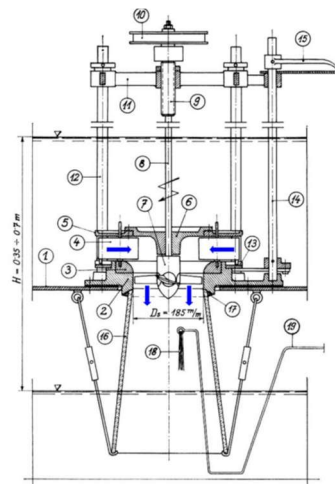


Figura 2.5 - Esquema experimental da turbina Kaplan

*A Brief History of the Kaplan Turbine Invention* (Polák, 2021)

Uma vantagem aproveitada por alguns fornecedores é o facto de esta turbina funcionar completamente submersa, atendendo ao facto de entre dois depósitos que o primeiro possua um volume superior ao segundo, de forma a termos um fluxo contínuo de efluente que possa passar pela turbina.

## 2.4. Comparação das diferentes turbinas

A Figura 2.6 apresenta uma comparação entre diferentes turbinas, tendo em consideração a altura de queda e o caudal. Deste modo, é possível verificar que as turbinas Kaplan são mais indicadas para alturas de queda baixas (1 a 30 metros) e caudais elevados, sendo ideais para situações como grandes rios ou estações de tratamento de águas residuais (ETAR) com elevada descarga contínua. As turbinas Francis apresentam um desempenho otimizado em condições intermédias, com alturas de queda compreendidas entre 6 e 300 metros e caudais que oscilam entre 0,1 e 50 m<sup>3</sup>/s. As turbinas Pelton estão indicadas para quedas de água elevadas (acima de 100 metros) e caudais baixos, entre 0.02 e 10 m<sup>3</sup>/s.

As linhas diagonais representam a potência gerada (em kW), permitindo estimar a produção energética consoante as condições hidráulicas.

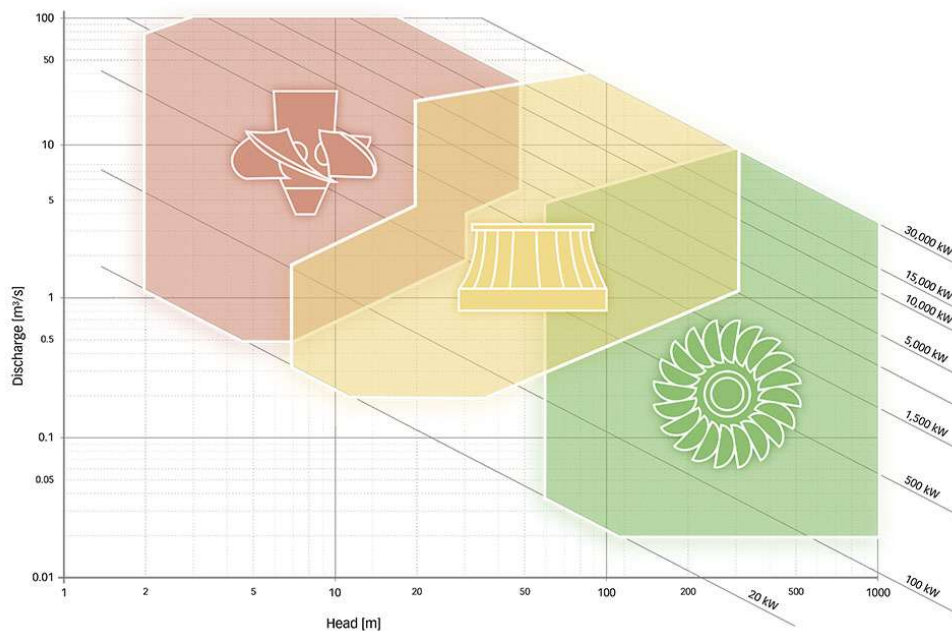


Figura 2.6 - Campo de aplicação das turbinas Francis, Kaplan e Pelton  
Andritz.

## 2.5. Parafuso de Arquimedes

Criado no século III a.C. pelo físico grego Arquimedes, tinha como função o bombeamento de água para irrigação e outras aplicações relativamente à drenagem. A Figura 2.7 representa o dispositivo descrito pelo engenheiro romano Vitruvius.

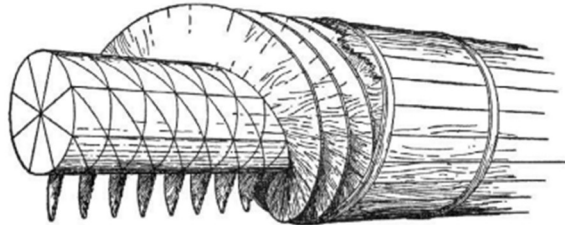


Figura 2.7 - Descrição de parafuso de Arquimedes por Vitruvius

*Geração de energia com o uso do parafuso de Arquimedes* (Laercio Schuh, 2019)

Foi apenas em 1991 que este parafuso foi convertido para a produção de energia através da inversão do sentido do fluxo. A primeira geração de energia foi obtida no rio Eger, na cidade de Aufhausen, Alemanha, com uma capacidade de geração de aproximadamente 4 kW.

### 2.5.1. Funcionamento

Com uma geometria idêntica a de um parafuso convencional (Figura 2.8), ambas as extremidades são fixadas com elementos rotativos de forma a obter uma rotação livre. O parafuso é posicionado no interior de uma calha cilíndrica ou um tubo, havendo uma ligeira folga entre as lâminas e as paredes do tubo de forma a evitar perda de carga pela fuga de água.

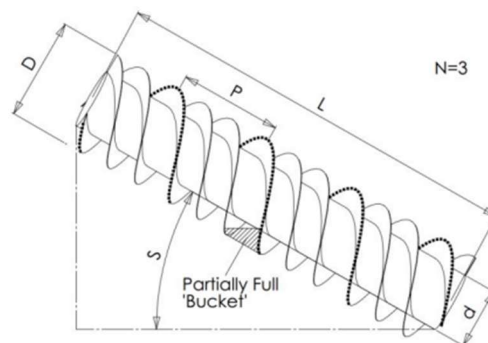


Figura 2.8 - Exemplo de ilustração geométrica de parafuso de Arquimedes com três entradas

*Geração de energia com o uso do parafuso de Arquimedes* (Laercio Schuh, 2019)

Quando exerce o movimento rotativo com o auxílio de uma bomba, o parafuso retém a água numa área denominada de balde, transportando dessa forma a água de um reservatório inferior para um superior.

Para operar como turbina é necessário inverter o sentido, isto é, a água é transportada de um reservatório superior para um reservatório inferior. Com a inclinação correta, a água por meio da força gravítica atua no parafuso forçando este a girar. O eixo encontra-se então acoplado a um conversor de energia cinética para energia elétrica (Figura 2.9).

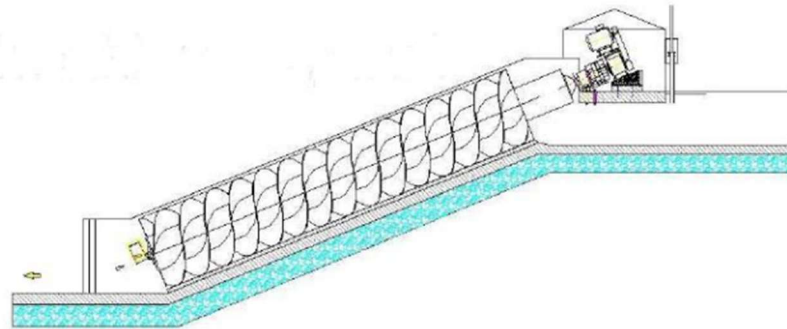


Figura 2.9 - Representação básica de funcionamento de parafuso de Arquimedes como turbina

*Geração de energia com o uso do parafuso de Arquimedes (Laercio Schuh, 2019)*

O parafuso de Arquimedes serve assim como uma alternativa à produção de energia em mini-hídricas com aplicação em quedas entre os 5 e 15 m e sem a necessidade de depósito de acumulação, ou seja, sem necessidade de um equipamento destinado ao armazenamento de água.

### 3. Caracterização das ETARs

As estações de tratamento de águas residuais são infraestruturas projetadas para a reciclagem de água produzida em contextos industriais e urbanos, abrangendo um conjunto de operações que incluem a remoção de contaminantes de diferentes dimensões, desde os de grande porte até aos de micro dimensão.

#### 3.1. Processos de Remoção de Resíduos

As águas provenientes de processos indústrias e de dejetos urbanos apresentam dois tipos de poluentes, em suspensão e dissolvidos na água, e gasosos. De forma a lidar com todos estes poluentes, as ETARs possuem três fases de tratamentos distintas:

Tratamento da fase Líquida: Tratamento da água residual de forma a cumprir os requisitos das legislações em vigor.

Tratamento da fase Sólida: Tratamento adequado dos sólidos removidos da água na fase líquida, esta fase também é designada por tratamento de lamas.

Tratamento da fase Gasosa: Desodorização dos odores provenientes dos diferentes processos da ETAR.

Na Figura 3.1 é representado um diagrama do funcionamento geral típico de uma ETAR com as suas etapas e processos.

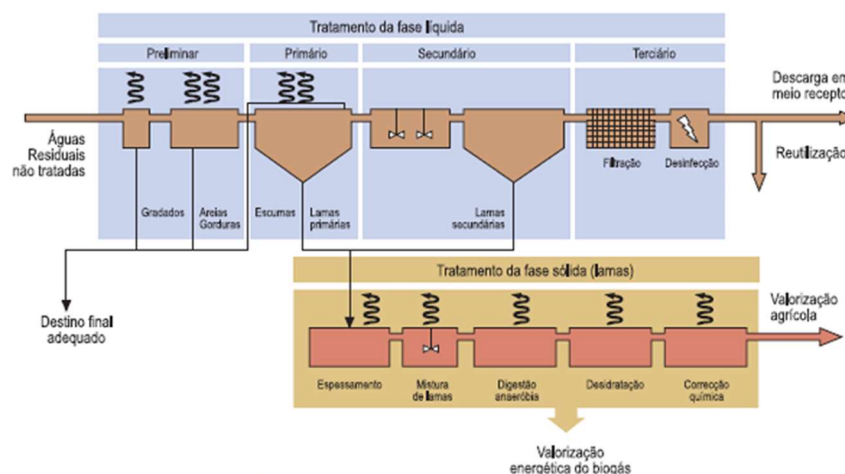


Figura 3.1- Diagrama de uma ETAR

*Estudo Energético Comparativo da ETAR do Ave (Cátia Brandão, 2018)*

### **3.1.1. Tratamento da fase Líquida**

Tratamento da fase líquida é composto por quatro etapas distintas: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

#### Pré-Tratamento

Conjunto de processos físicos que têm como objetivo remover materiais grosseiros, areias e gorduras presentes nas águas residuais, com o intuito de proteger os elementos e processos de tratamento que se encontram a jusante.

Alguns dos tratamentos realizados são a gradagem, para a retenção de sólidos de maiores dimensões com auxílio de grelhas, tamisagem, que completa a gradagem com o uso de uma malha mais fina para a retenção de sólidos de menores dimensões, desarenamento, para remoção das areias presentes nas águas e desengorduramento responsável por remover óleos e gorduras com recurso à injeção de um fluxo de ar ascendente para favorecer a flutuação destes dejetos.

- Tratamento Primário

Este tratamento pretende remover material orgânico e inorgânico dissolvidos e remoção de sólidos em suspensão.

Tratamentos realizados nesta fase são a sedimentação que tem por meio o uso da gravidade para separar e concentrar os sólidos sedimentáveis presentes nas águas.

- Tratamento Secundário

Responsável pela remoção da matéria orgânica biodegradável solúvel, suspensa e coloidal, que permanece nas águas após o tratamento primário.

Assegurada por processos biológicos que podem ser aeróbios (na presença de oxigénio), anaeróbios (sem oxigénio).

#### Tratamento Terciário

Última fase de tratamento que consiste na desinfecção e remoção de nutrientes. Tem como objetivo principal o aumento do grau de purificação do efluente de modo a alcançar as normas exigidas para o descarregamento para o meio recetor.

Existem diversas técnicas para alcançar o grau de purificação exigido como a cloragem, lâmpadas ultravioleta (UV), microtamisador, ou a combinação destes processos.

### **3.1.2. Tratamento da fase Sólida**

Esta fase consiste no tratamento de poluentes resultantes do pré-tratamento.

Os resíduos sólidos são sujeitos a um processo de compactação, com o objetivo de reduzir o seu volume de água. Posteriormente, são enviados para as instalações das entidades gestoras de resíduos sólidos.

As areias são submetidas a um processo de lavagem, com o objetivo de remoção de partículas orgânicas, sendo posteriormente encaminhadas para o aterro.

As gorduras são submetidas a um tratamento mais específico.

A lamas obtidas apresentam um elevado teor de humidade, matéria orgânica e nutrientes, pelo que devem ser submetidas a um tratamento prévio antes de serem enviadas para o seu destino final. Estas podem ser divididas em três categorias principais:

- Espessamento

Responsável por reduzir o teor de água nas lamas e os principais processos incluem o espessamento gravítico, espessamento por flotação e o espessamento mecânico.

- Estabilização

Elimina os organismos patogénicos, reduz o potencial de putrefação e controla odores.

- Desidratação

Como o próprio nome indica, tem como objetivo retirar o máximo de carga de água possível.

### **3.1.3. Tratamento da fase Gasosa**

Controla a emissão de gases ou vapores libertados pelos diferentes processos e fases da ETAR através da aspiração/insuflação de ar e depois encaminhado para uma central de desodorização antes da sua libertação para a atmosfera. O processo de aspiração de ar pode ser efetuado por meio de difusores que introduzem ar no fundo de tanques de arejamento. Estes difusores podem ser de bolha fina, para uma maior eficiência de transferência de oxigénio, ou de bolha grossa, que permitem uma melhor mistura, mas com uma menor eficiência de oxigénio. Outra possibilidade é recorrer a ejetores ou venturi, que, através do próprio escoamento da água, permitem a aspiração de ar.

### 3.2. Locais adequados para o estudo

Para a criação de uma mini central hídrica, é necessário ter em conta dois fatores, o caudal da água de passagem e a altura de queda de água. Quando maior o valor dos dois fatores, maior será a produção de energia, como pode ser evidenciado pela expressão 3.1.

$$P_{turbina} = \eta * \rho * g * H * Q \quad (3.1)$$

onde:

- $P_{turbina}$ : Potência da turbina [kW]
- $\eta$ : Redimento da turbina, adm
- $\rho$ : Massa volúmica da água [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$ : Aceleração Gravítica [m/s<sup>2</sup>]
- $H$ : Altura de queda de água [m]
- $Q$ : Caudal de água [m<sup>3</sup>/s]

Analisando uma ETAR existem diversos locais adequados para a instalação de uma turbina para a produção de energia, mas também será necessário ter em conta o preço de manutenção, instalação e degradação da turbina.

Após a análise das ETARs e de outros estudos atuais do mercado nesta área, foi optado como local ideal de instalação à saída da ETAR, ou seja, no processo de retorno da água tratada para o meio ambiente, pois este oferece facilidade de instalação, menores custos de manutenção e menor desgaste da turbina a longo prazo.

### 3.3. ETARs em estudo

No decorrer do estudo, foram selecionadas duas ETARs de diferentes dimensões. A primeira trata das águas industrial resultantes do seu processo de fabrico interno, aproveitando a descarga da sua ETAR particular (ETAR Portucel), na ETAR pública de Cacia, processando diariamente milhares de litros de água, enquanto a segunda é uma instalação de menor porte, com um caudal consideravelmente inferior, podendo, em certos períodos, ser quase inexistente.

A escolha dessas ETARs foi motivada não apenas pelas condições favoráveis para a instalação de uma turbina, mas também pela oportunidade de analisar a

viabilidade da implementação em contextos opostos, abrangendo desde grandes volumes de tratamento até cenários com caudais reduzidos.

### **3.3.1. Cacia**

A ETAR de Cacia, localizada em Aveiro, Portugal, desempenha um papel fundamental no tratamento de águas residuais provenientes de vários municípios, incluindo Águeda, Albergaria-a-Velha, Estarreja, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar e Santa Maria da Feira. Esta instalação, inaugurada em 2003, teve um investimento de aproximadamente 12 milhões de euros, sendo projetada para uma população de, aproximadamente, 272 mil habitantes-equivalentes (unidade de medida usada para calcular a carga poluidora de esgoto, especialmente em sistemas de tratamento de água) e processar até 48700 m<sup>3</sup> de águas residuais por dia.

O sistema de tratamento baseia-se em processos biológicos com lamas ativadas em regime de arejamento prolongado, visando a remoção de matéria orgânica e outros contaminantes. Uma das particularidades desta ETAR consiste na produção de biogás como subproduto do tratamento de lamas, com utilização numa central de cogeração com capacidade de 640 kW, contribuindo para a sustentabilidade energética da instalação.

Além disso, os efluentes tratados são devolvidos ao meio ambiente de forma controlada garantindo conformidade com as normas ambientais e promovendo a sustentabilidade.



Figura 3.2 - ETAR de Cacia

Águas do Centro Litoral

### **3.3.2. Miranda do Corvo**

A ETAR de Miranda do Corvo é uma instalação de tratamento de águas residuais localizada no distrito de Coimbra, projetada para atender às necessidades de saneamento do próprio município, possui uma menor dimensão, destinada ao tratamento eficiente de efluentes domésticos e industriais, garantindo a preservação ambiental e a proteção dos recursos hídricos locais.

A ETAR utiliza processos biológicos e mecânicos para remover poluentes, assegurando que a água tratada atenda aos padrões de qualidade antes de ser devolvida ao meio ambiente. Devido ao seu porte mais reduzido, a ETAR de Miranda do Corvo apresenta desafios específicos em termos de aproveitamento energético, como caudais mais baixos e condições hidráulicas limitadas.



Figura 3.3 - ETAR de Miranda do Corvo

Águas do Centro Litoral

## 4. Seleção e dimensionamento das Turbinas

### 4.1. Critérios de Seleção

Como mencionado anteriormente, os principais parâmetros na seleção da turbina são caudal e altura de queda.

O valor do caudal em ETARs varia constantemente, devido às estações do ano e devido a períodos de manutenção ou obras na estação de tratamento.

Através dos dados fornecidos pela Águas do Centro Litoral temos a quantia total de água diária, em  $m^3$ , à saída das ETARs de Miranda do Corvo (Figura 4.1) e de Portucel (Figura 4.2), isto é, na observação dos gráficos teremos no eixo das ordenadas a quantidade de água cotada pelo caudalímetro em  $m^3$  e no eixo das abcissas teremos os dias com início no dia 1/1/2023 e com término no dia 12/1/2023 (de salientar que o registo é diário, embora na legenda não apareçam todos os dias):

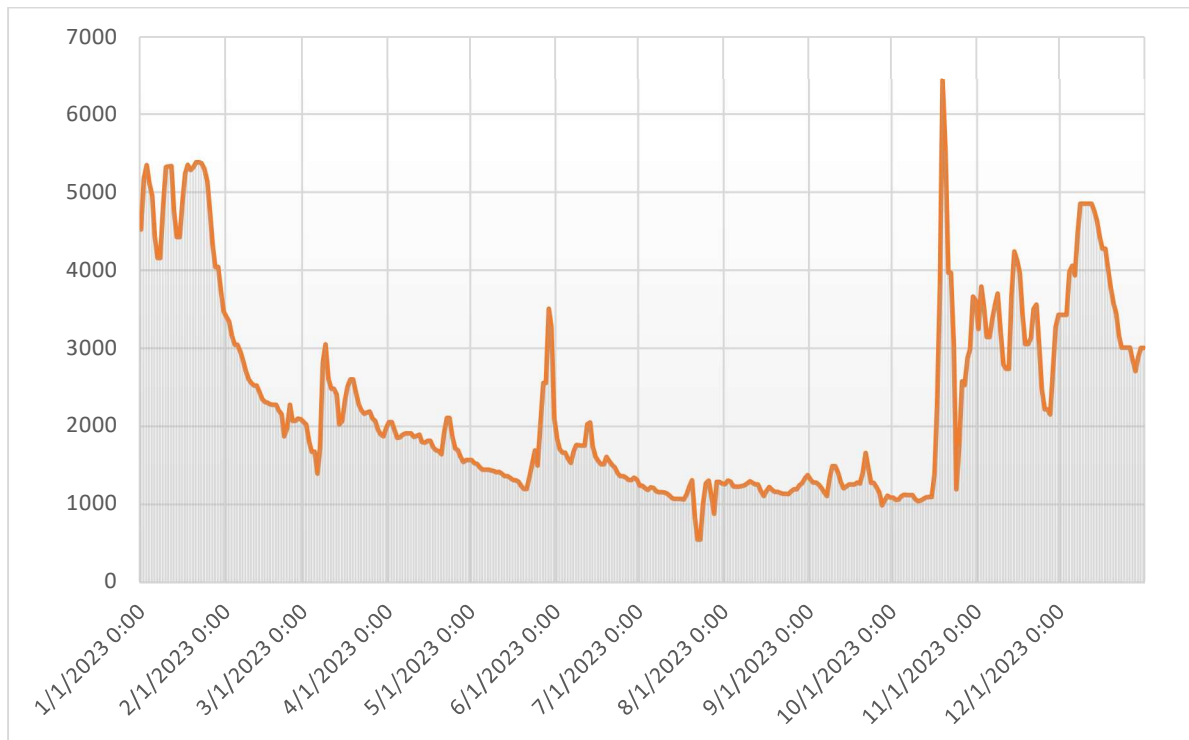


Figura 4.1 - Caudal anual à saída de ETAR de Miranda do Corvo 2023 [ $m^3$ /dia]

Águas do Centro Litoral

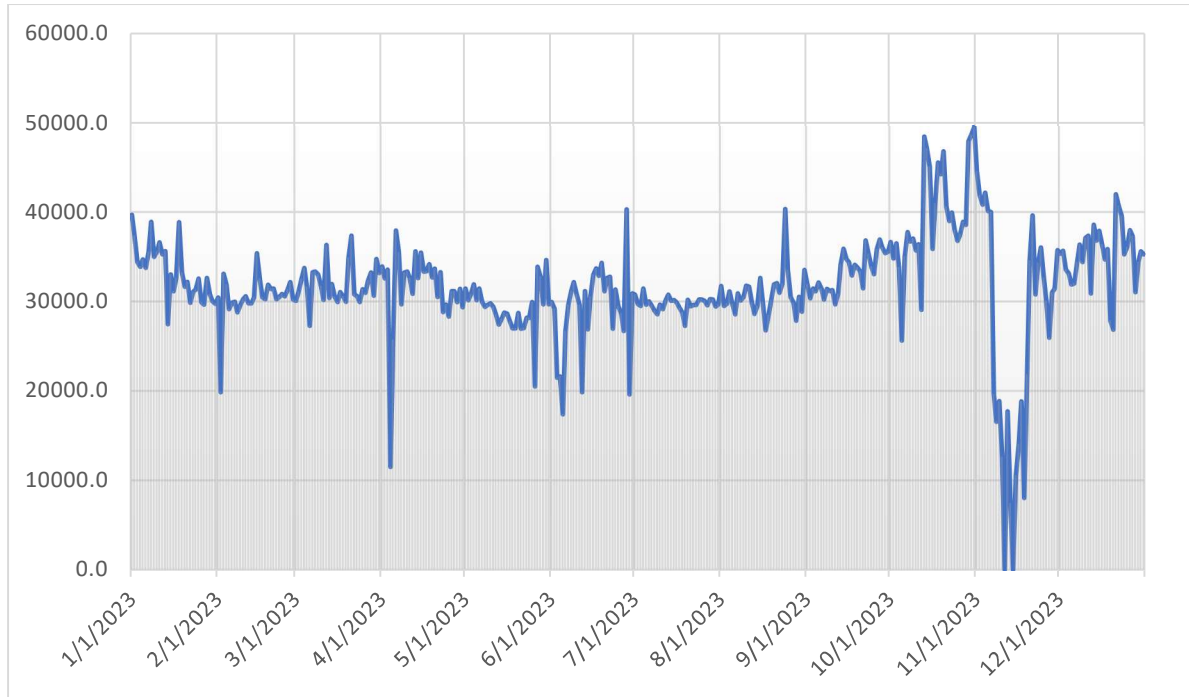


Figura 4.2 - Caudal anual à saída de ETAR Portucel 2023 [m<sup>3</sup>/dia]

### Águas do Centro Litoral

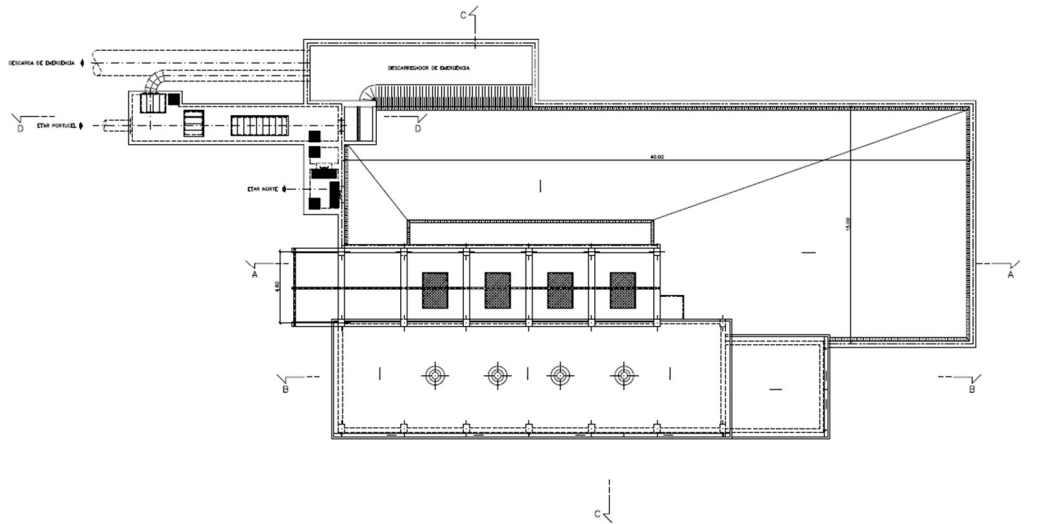
Após uma primeira observação das Figuras 4.1 e 4.2, foi detetada uma discrepância na leitura dos mesmos. Esta discrepância é visível na Figura 4.1, onde se verifica um pico acima do valor considerado normal, e na Figura 4.2, onde os valores estão próximos de zero. A discrepância pode igualmente ser justificada pelos pontos mais baixos, os quais estão associados a paragens de manutenção. Durante os períodos de seca, o caudal apresenta valores baixos, contudo, aumenta significativamente durante as épocas de precipitação intensa.

Os valores do segundo gráfico são mais constantes que os do primeiro, com um valor médio diário próximo dos 30000 m<sup>3</sup>, sendo possível a criação de um sistema mini-hídrico com uma potência mais constante.

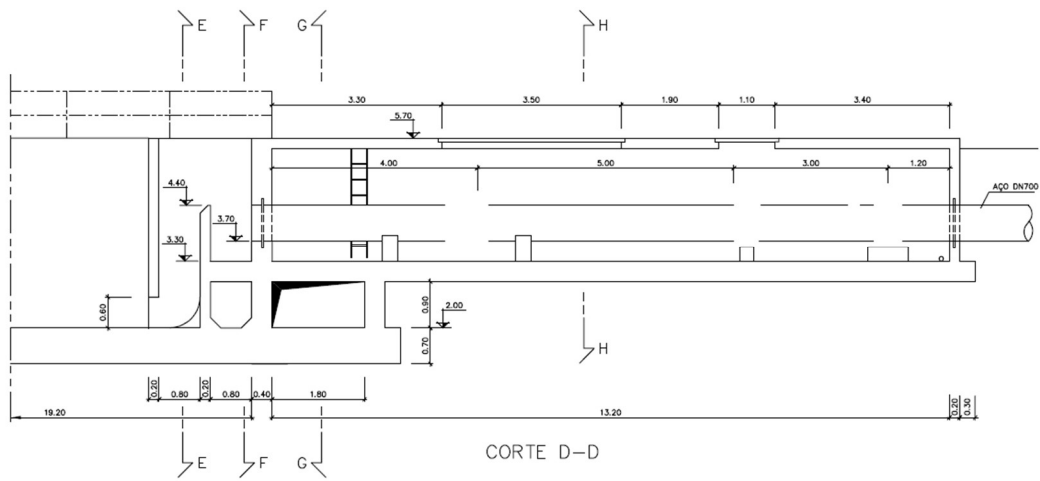
Dado que a estação de Cacia é responsável pelo tratamento de um volume mais elevado de águas residuais, os valores de caudal registados serão superiores aos registados na ETAR de Miranda do Corvo.

Na ETAR de Miranda do Corvo, a tubagem final possui aproximadamente 40 metros de comprimento, com uma altura de queda de 10 metros desde a saída até ao rio onde o efluente é descarregado.

Já na ETAR de Cacia, a abordagem será ligeiramente diferente. A turbina será projetada para ser instalada num tramo de 5 metros de tubagem antes da saída (Figura 4.3 b)), de forma a tirar partido da queda posterior de 2 metros que ocorre entre a saída da ETAR e o tramo final de tubagem.



a)



b)

Figura 4.3 - Plantas da ETAR de Cacia: a) Planta com reservatório; b) Planta de corte D-D

Águas do Centro Litoral

## 5. Estudo do mercado

Atualmente existem projetos fora de Portugal que utilizam este princípio para a produção de energia.

Esses projetos destacam que a integração de turbinas em ETARs não apenas contribui para a sustentabilidade energética, mas também otimiza o uso de infraestruturas já existentes. O sucesso desses projetos demonstra o potencial da energia renovável no setor de saneamento, especialmente em locais com quedas de água significativas ou caudais contínuos.

### 5.1. Sydney

No norte da Austrália, à entrada do porto de Sydney, está localizada a ETAR *North Head Water Resource Recovery Facility* responsável pelo tratamento de águas residuais de cerca de um milhão de habitantes, tratando deste modo de cerca de 300 milhões de litros de caudal de água por dia com descarga direta para o oceano. A central, para além de valores enormes de caudais, possui uma altura de queda de 60 m.

Em abril foi instalada uma turbina de 4,5 MW no local da queda de 60 m que, em junção com uma unidade de cogeração de metano, gera cerca de 40% do consumo elétrico da estação.

### 5.2. Ontario

No Canada, na província de Ontario, está localizada a mais recente ETAR canadiana, *Mid Halton Wastewater Treatment Plant*, que beneficia da produção de energia elétrica a partir das águas residuais.

Em 2020, a ETAR sofreu uma expansão de modo a acomodar um valor superior de caudal de água a ser tratada, passando assim a tratar entre 75 milhões a 125 milhões de litros por dia para 400 milhões de litros por dia. Nessa expansão foi também instalada uma central micro-hidroelétrica com uma turbina de potência de 700kW.

No decurso do projeto da central, foram observadas complicações, dado que, em virtude do espaço reduzido, não era viável instalar um depósito de água. Consequentemente, a central teria de adaptar-se a alterações repentinas no caudal, que poderiam ocorrer. A turbina foi instalada num eixo a uma profundidade de 30 metros e com um diâmetro de 10 metros.

A ETAR conseguiu reduzir a quantidade energia que a região compra e a quantidade de energia gasta pela estação com uma produção média de 3000kWh de energia por dia (dado de *Mid Halton Wastewater Treatment Plant, Micro-Hydro Facility*, 2020).

### 5.3. Toruń

Localizada na Polónia, esta ETAR conta com três fases de tratamento de água: tratamento mecânico, tratamento biológico, e, por fim, tratamento de lamas. A instalação possui uma capacidade de tratamento de aproximadamente 90 000 m<sup>3</sup>/dia.

No início de 2025, foi publicado um artigo científico intitulado "*Economic Analysis of the Operation of a Hydropower Plant in a Wastewater Treatment Plant: Toruń, Poland*", que analisou a viabilidade energética da estação entre os anos 2018 e 2023, após a instalação de uma turbina hidráulica no ano 2016. Esta turbina, do tipo Francis, apresenta uma capacidade de 55 kW e está instalada à saída da estação (Figura 5.1). A energia gerada por esta turbina tem como objetivo compensar parte do consumo energético dos diferentes processos de tratamento das águas, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência da ETAR.

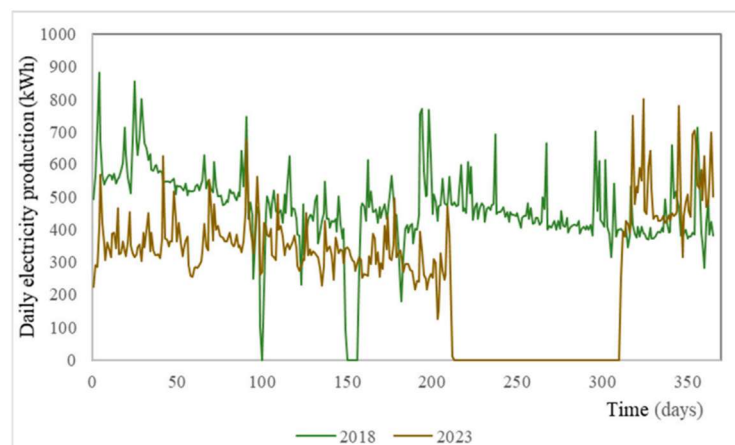


Figura 5.1 - Variabilidade da produção diária calculada de eletricidade na central hidroelétrica da estação de tratamento de águas residuais de Toruń em 2018 e 2023.

*Economic Analysis of the Operation of a Hydropower Plant in a Wastewater Treatment Plant: Toruń, Poland* (Tomczyk et al, 2025)

A partir deste estudo, concluiu-se que a turbina é responsável por assegurar, aproximadamente, 47% da energia total consumida na instalação. Além disso, foi estimado um período de retorno do investimento entre 11 e 24 anos.

Dessa forma, a integração da turbina na estação demonstra ser um investimento viável, reforçando a sua relevância como uma solução sustentável. Além disso, o estudo serve como incentivo para investidores interessados em promover o uso de energia renovável, destacando o potencial de geração elétrica em infraestruturas de tratamento de águas.

## 6. Implementação do Projeto de Cacia

### 6.1. Saída da ETAR

No decurso do estudo realizado na ETAR de Cacia, foram identificados desafios substanciais associados à implementação de turbinas hidráulicas, resultantes, nomeadamente, das particularidades da infraestrutura existente. Esta estação não foi originalmente concebida para integrar sistemas de aproveitamento energético, o que representa um obstáculo à sua adaptação. Esta limitação constitui um dos principais obstáculos à concretização do projeto nesta unidade, afetando diretamente a sua viabilidade económica. Assim, foi analisada a viabilidade de instalar uma turbina *Crossflow* no descarregador de saída da ETAR (Figura 6.1).

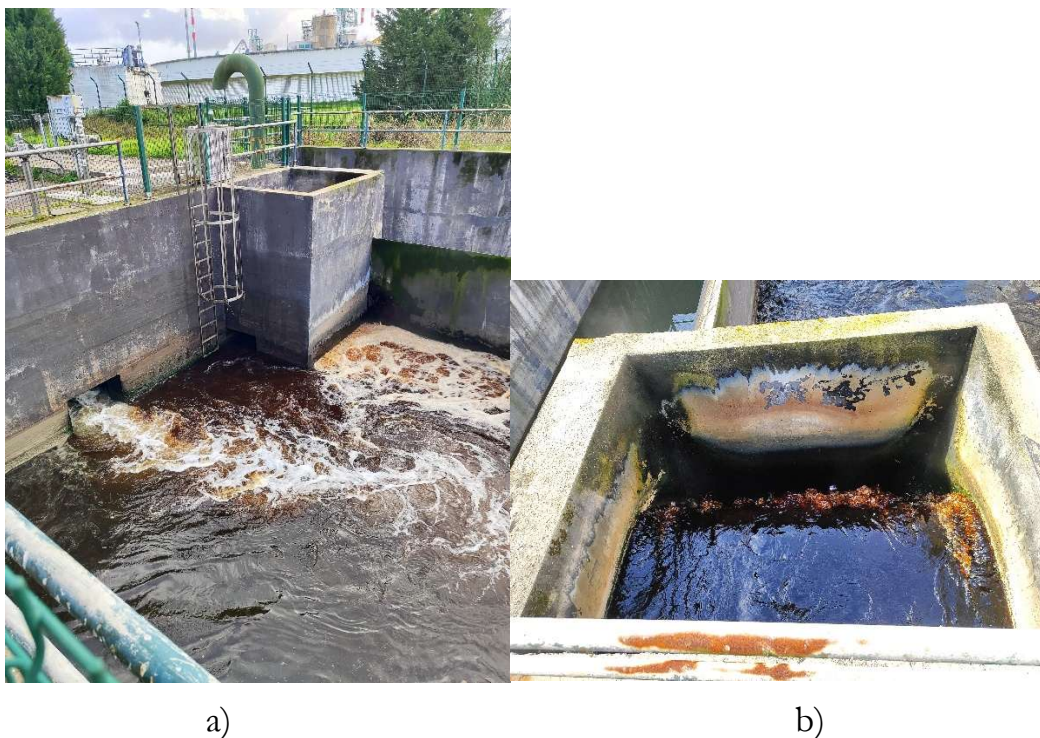


Figura 6.1 - Descarregador de saída de ETAR de Portucel: a) Vista lateral; b) Vista de topo

Após a elaboração de diversos desenhos e esquemas técnicos (Figura 6.2), concluiu-se que a instalação deste tipo de turbina não seria viável. O principal obstáculo identificado foi o formato do descarregador na saída da ETAR, que não permitia a integração adequada da turbina. Além disso, a altura de queda disponível não atendia às condições operacionais ideais para o funcionamento eficiente de uma turbina *Crossflow*, reforçando a necessidade de optar por uma solução mais adequada às características específicas da instalação.

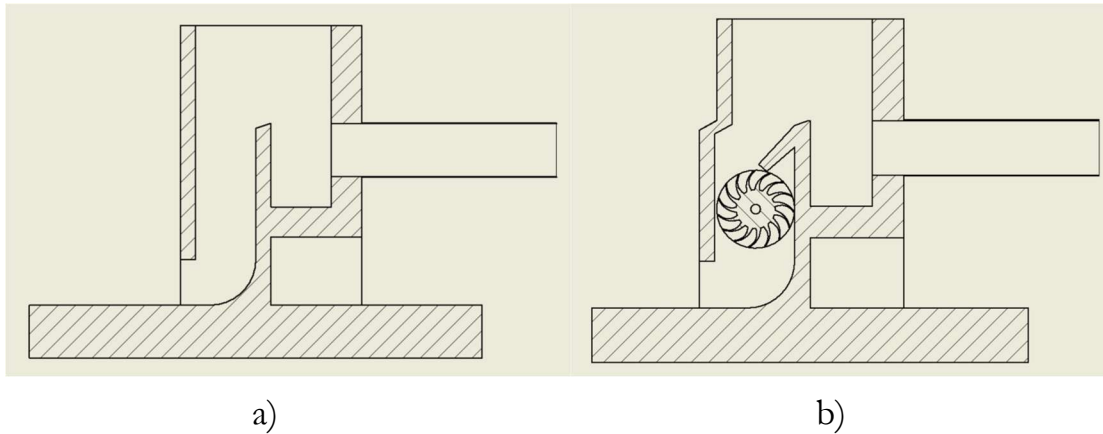


Figura 6.2 – Desenhos em corte de descarregador de saída: a) Desenho sem modificações; b) Desenho com modificações para acoplar turbina Crossflow

Face às dificuldades de instalação, concluiu-se que a turbina *Kaplan* seria a opção mais eficiente para a estação. Inicialmente, foi analisada a possibilidade de instalá-la na saída, abaixo do descarregador, partindo do pressuposto de que esta região permaneceria completamente submersa, condição ideal para o funcionamento deste tipo de turbina. Com base nessa premissa, foi desenvolvido o desenho apresentado na Figura 6.3.

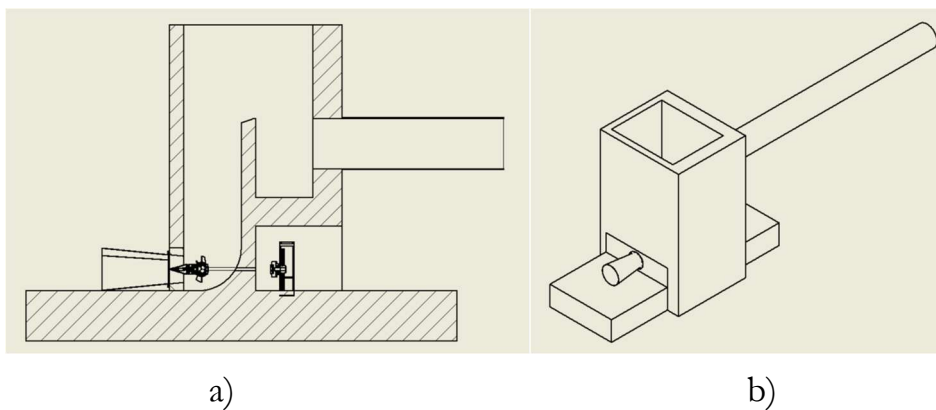


Figura 6.3 - Desenhos de descarregador de saída: a) Desenho em corte; b) Desenho completo

Após uma análise mais pormenorizada do local do tanque (ver Figura 6.3 a)) foi possível concluir que haveria possibilidades de a turbina não se encontrar 100% submersa.

Diante dessa limitação, optou-se por reconsiderar a abordagem, focando não na queda final, mas na diferença de altura existente antes da água atingir o descarregador, ou seja, entre a última fase de tratamento e o tramo final da tubagem. Assim, estudou-se a viabilidade de instalar a turbina à saída da tubagem que conduz ao descarregador (ver Figura 6.4).

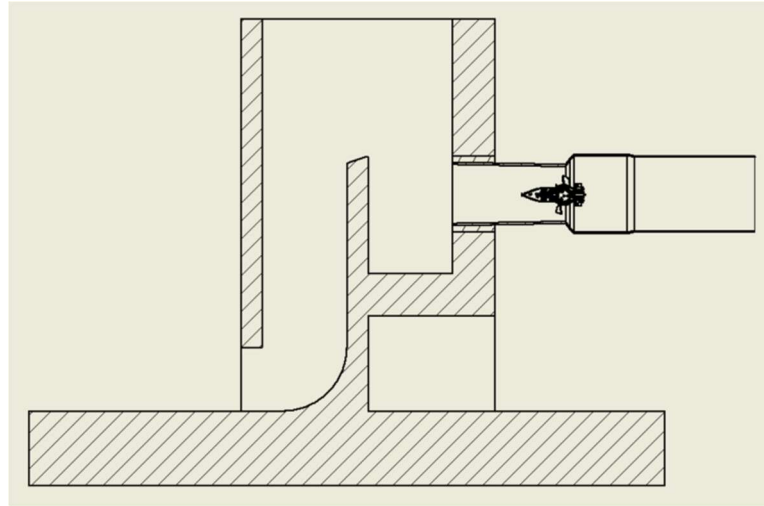


Figura 6.4 – Desenho em corte de descarregador com turbina a montante

No entanto, surgiu um desafio relacionado com as obras de construção civil, uma vez que o tempo disponível para a paragem total da ETAR para a realização da obra era limitado a apenas 3 a 4 horas; a execução em tempo útil desta infraestrutura representa um fator crítico a ser considerado.

## **6.2. Turbina**

Para além dos dois fatores imprescindíveis, altura de queda e caudal, a seleção do tipo de turbina a instalar foi também efetuada com base na consideração do volume de água disponível antes e após a passagem pela turbina. Dado que a instalação está localizada na zona final da ETAR, o volume de água a montante será naturalmente superior ao volume a jusante. Esta discrepância de volumes é significativa, uma vez que influencia diretamente o desempenho da turbina. Um maior volume a montante possibilita uma alimentação mais estável e contínua, essencial para manter o caudal dentro dos parâmetros ideais de funcionamento. Em contrapartida, um volume reduzido a jusante é favorável, uma vez que minimiza a contrapressão na saída da turbina, evitando perdas de energia associadas à redução da altura de queda, algo que existe no caso desta ETAR. Deste modo, a discrepância entre os volumes a montante e a jusante contribui para maximizar a eficiência e o rendimento do sistema de geração hidroelétrica.

Foi selecionada uma turbina do tipo Kaplan, instalada horizontalmente, da empresa Gugler (Figura 6.5), como a solução mais adequada, uma vez que permite uma maior eficiência no aproveitamento energético da instalação.

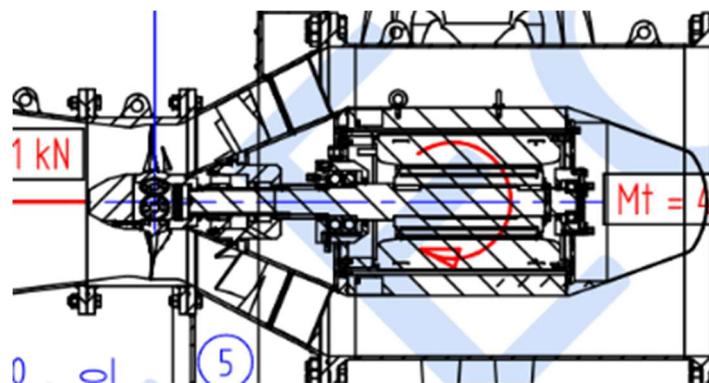


Figura 6.5 – Desenho da Turbina da empresa Gugler

Gugler

Com base no local de instalação, esta turbina funcionará submersa, garantindo um período de funcionamento contínuo, 24 horas por dia, maximizando assim a produção de energia.

### 6.3. Acessórios de montagem

Face à facilidade de montagem e instalação da turbina, serão apenas necessários dois acessórios suplementares, nomeadamente uma flange simples do tipo DN700/PN10, montada a jusante da turbina, e uma junta de desmontagem do tipo auto-travada DN700/ PN10, que facilitará a manutenção da turbina, caso seja necessário. Esta será instalada a montante da turbina, para estabelecer a ligação à tubagem.

### 6.4. Montagem de conjunto e Obra no local

Na ETAR a tubagem original será substituída por dois novos tramos: o tramo a jusante será conectado ao cone da turbina por meio de uma flange simples, enquanto o tramo a montante será ligado ao cone anterior da turbina através de uma junta de desmontagem, garantindo facilidade de manutenção e desmontagem quando necessário (Figura 6.6).

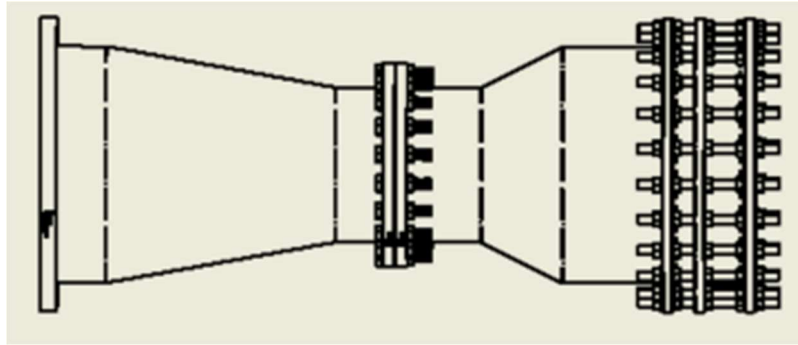


Figura 6.6 - Conjunto turbina e acessórios

Dado o facto de apenas ser possível realizar uma paragem da ETAR entre as 3 e 4 horas, a turbina, acessórios e tubagem terão de ser montados com antecedência de modo a chegar ao local e efetuar-se a troca entre o tramo de 5 metros e o novo tramo com os diferentes acessórios.

## 6.5. Retorno de Investimento

Para a turbina selecionada para estação, foi fornecido pela empresa Gugler os dados relativamente à eficiência da turbina bem como a potência produzida para diferentes variações de caudal. A Tabela 6.1 ilustra a energia gerada pelo gerador para os caudais específicos que foram sujeitos a testes, com os dados provenientes do Anexo A.

Tabela 6.1 – Tabulação da Eficiência e Potência produzida

$Q_T$ [%]	Descarga da turbina [m <sup>3</sup> /s]	Altura de queda [m]	Eficiência da turbina [%]	Potência da turbina [kW]	Eficiência do gerador [%] para $\cos \varphi =$ 1,0	Potência do Gerador [kW]
50	0,2000	2,00	89,00	3,49	93,70	3,27
55	0,2200	2,00	89,50	3,86	94,10	3,64
60	0,2400	2,00	89,80	4,23	94,40	3,99
65	0,2400	2,00	90,10	4,60	94,60	4,35
70	0,2800	2,00	90,30	4,96	94,70	4,70
75	0,3000	2,00	90,50	5,33	94,70	5,04
80	0,3200	2,00	90,50	5,68	94,70	5,38
85	0,3400	2,00	90,50	6,04	94,80	5,72
90	0,3600	2,00	90,40	6,39	94,90	6,06
95	0,3800	2,00	90,20	6,72	95,10	6,40
100	0,4000	2,00	89,80	7,05	95,20	6,71

Analisando na Tabela 6.2 os caudais dos dias 16/1/2024 (simbolizando o caudal de um dia de inverno) e 18/9/2024 (simbolizando o caudal de um dia de verão) foi concluído que a turbina estará a atuar entre os valores de caudal  $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabela 6.2 – Valores de caudal para cada dia: a) dia de Verão; b) dia de Inverno

Horário	Caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Horário	Caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
9/18/2024 0:00	0,374085	1/16/2024 0:00	0,308195
9/18/2024 1:00	0,366816	1/16/2024 1:00	0,25872
9/18/2024 2:00	0,364111	1/16/2024 2:00	0,304891
9/18/2024 3:00	0,364945	1/16/2024 3:00	0,310094
9/18/2024 4:00	0,369689	1/16/2024 4:00	0,284853
9/18/2024 5:00	0,373634	1/16/2024 5:00	0,313355
9/18/2024 6:00	0,378601	1/16/2024 6:00	0,340223
9/18/2024 7:00	0,382437	1/16/2024 7:00	0,340463
9/18/2024 8:00	0,39989	1/16/2024 8:00	0,317653
9/18/2024 9:00	0,401555	1/16/2024 9:00	0,32787
9/18/2024 10:00	0,401728	1/16/2024 10:00	0,320786
9/18/2024 11:00	0,388788	1/16/2024 11:00	0,304882
9/18/2024 12:00	0,387486	1/16/2024 12:00	0,29909
9/18/2024 13:00	0,387173	1/16/2024 13:00	0,284916
9/18/2024 14:00	0,3987	1/16/2024 14:00	0,311229
9/18/2024 15:00	0,399443	1/16/2024 15:00	0,340129
9/18/2024 16:00	0,397282	1/16/2024 16:00	0,362565
9/18/2024 17:00	0,395972	1/16/2024 17:00	0,384333
9/18/2024 18:00	0,388603	1/16/2024 18:00	0,429199
9/18/2024 19:00	0,399708	1/16/2024 19:00	0,382906
9/18/2024 20:00	0,397272	1/16/2024 20:00	0,392106
9/18/2024 21:00	0,393098	1/16/2024 21:00	0,394941
9/18/2024 22:00	0,38396	1/16/2024 22:00	0,408975
9/18/2024 23:00	0,378938	1/16/2024 23:00	0,408087

a) b)

Tendo em conta os dados é necessário realizar uma interpolação linear de modo a se obter o valor de “Potência do Gerador” para cada valor de caudal ao longo do dia, partindo da fórmula (6.1) para o dia de Verão e para o dia de Inverno. Para o cálculo da energia por hora será por meio da fórmula (6.2).

$$P_{Ver\tilde{a}o/inverno} = P_1 + \left( \frac{Q_{Ver\tilde{a}o/inverno} - Q_1}{Q_2 - Q_1} \right) * (P_2 - P_1) \quad (6.1)$$

Sendo,

$P_{Ver\tilde{a}o/inverno}$  - Potência para uma dada hora do dia de verão e de inverno

$P_1$  - Valor de potência mais próximo e abaixo do valor selecionado

$P_2$  - Valor de potência mais próximo e acima do valor selecionado

$Q_{Ver\tilde{a}o/inverno}$  - Caudal para uma dada hora do dia de Verão

$Q_1$  - Valor de caudal mais próximo e abaixo do valor selecionado

$Q_2$  - Valor de caudal mais próximo e acima do valor selecionado

$$Energia = \left( \frac{P_{Ver\tilde{a}o/inverno 1} + P_{Ver\tilde{a}o/inverno 2}}{2} \right) \quad (6.2)$$

Deste modo, foi possível calcular a potência para cada hora e a energia em kWh em ambos os dias de acordo com as Tabela 6.3 e Tabela 6.4.

Tabela 6.3 – Cálculo da energia para diferentes horas do dia de Verão

$Q_{Ver\tilde{a}o}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_1$	$Q_2$	$P_1$	$P_2$	$P_{Ver\tilde{a}o}$ [kW]	Horário	Tempo [h]	Energia [kWh]
0,374	0,36	0,38	10	6,4	6,299	9/18/2024 0:00	1	6,238
0,367	0,36	0,38	10	6,4	6,176	9/18/2024 1:00	1	6,153
0,364	0,36	0,38	10	6,4	6,130	9/18/2024 2:00	1	6,137
0,365	0,36	0,38	10	6,4	6,144	9/18/2024 3:00	1	6,184
0,370	0,36	0,38	10	6,4	6,225	9/18/2024 4:00	1	6,258
0,374	0,36	0,38	10	6,4	6,292	9/18/2024 5:00	1	6,334
0,379	0,36	0,38	10	6,4	6,376	9/18/2024 6:00	1	6,407
0,382	0,38	0,4	11	6,71	6,438	9/18/2024 7:00	1	6,573
0,400	0,38	0,4	11	6,71	6,708	9/18/2024 8:00	1	6,722
0,402	0,4	0	12	0	6,736	9/18/2024 9:00	1	6,738
0,402	0,4	0	12	0	6,739	9/18/2024 10:00	1	6,638
0,389	0,38	0,4	11	6,71	6,536	9/18/2024 11:00	1	6,526
0,387	0,38	0,4	11	6,71	6,516	9/18/2024 12:00	1	6,514
0,387	0,38	0,4	11	6,71	6,511	9/18/2024 13:00	1	6,601
0,399	0,38	0,4	11	6,71	6,690	9/18/2024 14:00	1	6,696
0,399	0,38	0,4	11	6,71	6,701	9/18/2024 15:00	1	6,685
0,397	0,38	0,4	11	6,71	6,668	9/18/2024 16:00	1	6,658
0,396	0,38	0,4	11	6,71	6,648	9/18/2024 17:00	1	6,590
0,389	0,38	0,4	11	6,71	6,533	9/18/2024 18:00	1	6,619
0,400	0,38	0,4	11	6,71	6,705	9/18/2024 19:00	1	6,687
0,397	0,38	0,4	11	6,71	6,668	9/18/2024 20:00	1	6,635
0,393	0,38	0,4	11	6,71	6,603	9/18/2024 21:00	1	6,532
0,384	0,38	0,4	11	6,71	6,461	9/18/2024 22:00	1	6,422
0,379	0,36	0,38	10	6,4	6,382	9/18/2024 23:00	1	6,351
0,375	0,36	0,38	10	6,4	6,319	9/19/2024 0:00		0

Tabela 6.4 – Cálculo da energia para diferentes horas do dia de Inverno

$Q_{Inverno}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_1$	$Q_2$	$P_1$	$P_2$	$P_{Inverno}$ [kW]	Horário	Tempo [h]	Energia [kWh]
0,308	0,3	0,32	7	5,38	5,179	1/16/2024 0:00	1	4,753
0,259	0,24	0,26	4	4,35	4,327	1/16/2024 1:00	1	4,725
0,305	0,3	0,32	7	5,38	5,123	1/16/2024 2:00	1	5,167
0,310	0,3	0,32	7	5,38	5,212	1/16/2024 3:00	1	4,997
0,285	0,28	0,3	6	5,04	4,783	1/16/2024 4:00	1	5,025
0,313	0,3	0,32	7	5,38	5,267	1/16/2024 5:00	1	5,495
0,340	0,34	0,36	9	6,06	5,724	1/16/2024 6:00	1	5,726
0,340	0,34	0,36	9	6,06	5,728	1/16/2024 7:00	1	5,534
0,318	0,3	0,32	7	5,38	5,340	1/16/2024 8:00	1	5,427
0,328	0,32	0,34	8	5,72	5,514	1/16/2024 9:00	1	5,454
0,321	0,32	0,34	8	5,72	5,393	1/16/2024 10:00	1	5,258
0,305	0,3	0,32	7	5,38	5,123	1/16/2024 11:00	1	5,074
0,299	0,28	0,3	6	5,04	5,025	1/16/2024 12:00	1	4,904
0,285	0,28	0,3	6	5,04	4,784	1/16/2024 13:00	1	5,007
0,311	0,3	0,32	7	5,38	5,231	1/16/2024 14:00	1	5,477
0,340	0,34	0,36	9	6,06	5,722	1/16/2024 15:00	1	5,913
0,363	0,36	0,38	10	6,4	6,104	1/16/2024 16:00	1	6,285
0,384	0,38	0,4	11	6,71	6,467	1/16/2024 17:00	1	6,833
0,429	0,4	0	12	0	7,200	1/16/2024 18:00	1	6,822
0,383	0,38	0,4	11	6,71	6,445	1/16/2024 19:00	1	6,516
0,392	0,38	0,4	11	6,71	6,588	1/16/2024 20:00	1	6,610
0,395	0,38	0,4	11	6,71	6,632	1/16/2024 21:00	1	6,746
0,409	0,4	0	12	0	6,861	1/16/2024 22:00	1	6,853
0,408	0,4	0	12	0	6,846	1/16/2024 23:00	1	6,881
0,412	0,4	0	12	0	6,917	1/17/2024 0:00		0

Calculando de seguida os somatórios de energia de cada dia para se saber a energia total produzida, por meio das expressões 6.3 e 6.4.

$$\sum_{Energia\ do\ dia\ de\ Ver\~{a}o} = 155,896\ kWh/dia \quad (6.3)$$

$$\sum_{Energia\ do\ dia\ de\ Inverno} = 137,483\ kWh/dia \quad (6.4)$$

No cálculo da energia produzida num ano será necessário realizar as seguintes suposições:

assumindo valor de referência “Energia do dia de Verão” para meses de abril a outubro (214 dias) e calculando a energia dos mesmos pela fórmula (6.5)

assumindo valor de referência “Energia do dia de Inverno” para meses de novembro a março (151 dias) e calculando a energia dos mesmos pela fórmula (6.6)

$$\begin{aligned} \text{Energia dos meses quentes} &= 155,896 \text{ kWh/dia} * 214 \text{ dias} && (6.5) \\ &= 33\,361,74 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia dos meses frios} &= 137.483 \text{ kWh} * 151 \text{ dias} && (6.6) \\ &= 22\,079,99 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Resultando assim num valor de 54 121,74 kWh/ano de energia total produzida num ano.

Para efetuar o cálculo da receita gerada pela turbina num ano será necessário ter uma base de preço, desse modo foi optado como modelo de preço o kWh vendido pela empresa EDP com um valor de 0.15 €/kWh, como é mostrado na equação 6.7.

$$\begin{aligned} \text{Receita anual produzida} &= 54\,121,74 \text{ kWh/ano} * 0,15 \text{ €/kWh} && (6.7) \\ &= 8\,161,56 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

Finalmente, a Tabela 6.5 refere-se ao orçamento global, incluindo a turbina e peças auxiliares, e cálculo do retorno de investimento através da equação 6.8.

Tabela 6.5 – Orçamento ETAR Cacia

Item	Produto/Descrição de Trabalhos	Un.	Qtd	Preços	
				Unitários	Total
1	Fornecimento das seguintes peças:				
1.1	Flange desmontagem do tipo auto-travada DN700 PN10	Un	1	2 000 €	2 000 €
1.2	Flange simples DN700 PN10	Un	1	100 €	100 €
1.3	Tubo flangeado em aço inox 316L DN700 PN10 (L=2500mm)	Un	1	4 787,60 €	4 787,60 €
1.4	Soldadura e tratamento das peças e transporte das mesmas	Vg	1	1 000 €	1 000 €
	Total Capítulo 1:				7 887,60 €
2	Turbina fornecida por Gugler com quadro elétrico associado	Un	1	130 000 €	137 885,60 €

Valor Global da Proposta	
CENTO E TRINTA E TÊS MIL E OITOCENTOS E OITENTA E CINCO EUROS E SESENTA CÊNTIMOS	137 885,60 €

$$\begin{aligned}
 \text{Retorno de Investimento} &= \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Receita anual produzida}} && (6.8) \\
 &= \frac{137\,885,60\ \text{€}}{8\,161,56\ \text{€/ano}} \\
 &= 16.9\ \text{anos} \\
 &\approx 17\ \text{anos}
 \end{aligned}$$

## 7. Implementação do Projeto de Miranda do Corvo

### 7.1. Incertezas e obstáculos da ETAR

A ETAR de Cacia enfrenta desafios técnicos significativos nas suas condições hidráulicas. Apesar da altura de queda de 10 metros ser apropriada, o caudal varia entre os 5000 e 1000 m<sup>3</sup>/dia, o que restringe o potencial energético aproveitável. Esta combinação condiciona a seleção do tipo de turbina e impõe restrições à eficiência global do sistema. Adicionalmente, a presença de detritos no local de desaguoamento da água tratada nesta instalação, classificados como partículas abrasivas e de diâmetros muito reduzidos, suscita preocupações quanto à durabilidade dos equipamentos, especialmente no que se refere ao desgaste prematuro de componentes metálicos da turbina. Estes fatores reforçam a necessidade de uma análise técnica rigorosa para assegurar a viabilidade e a sustentabilidade do projeto.

#### 7.1.1. Saída da estação

O plano inicial para esta ETAR seria a aplicação de um parafuso de Arquimedes em paralelo com a tubagem de saída, de modo a ser possível ter-se uma tubagem secundária de bypass controlada por uma válvula (Figura 7.1).

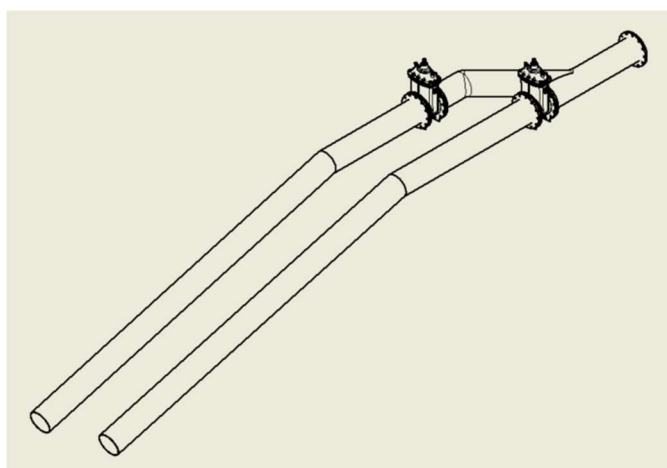


Figura 7.1 - Tubagem de saída

Esta abordagem revelou ser mais desafiante que o inicialmente previsto devido ao facto de o caudal ser bastante reduzido e irregular e, ainda, ao diâmetro da

tubagem de saída ser reduzido; como tal, o período de retorno do investimento expetável seria bastante elevado, o que tornou esta opção inviável.

Outra opção considerada foi enterrar um depósito à saída da ETAR para permitir a regulação do caudal, de forma aproximadamente constante, por meio de uma válvula reguladora de caudal (Figura 7.2); desse modo é possível controlar os caudais irregulares e alimentar a turbina com um caudal constante, garantindo assim uma eficiência mais constante; esta opção também se apresentou inválida pois o depósito teria de ser colocado a cerca de 2 metros de profundidade e uma caixa para o mesmo teria de ser construída, subindo dessa forma o custo da parte da obra civil para um valor demasiado elevado.

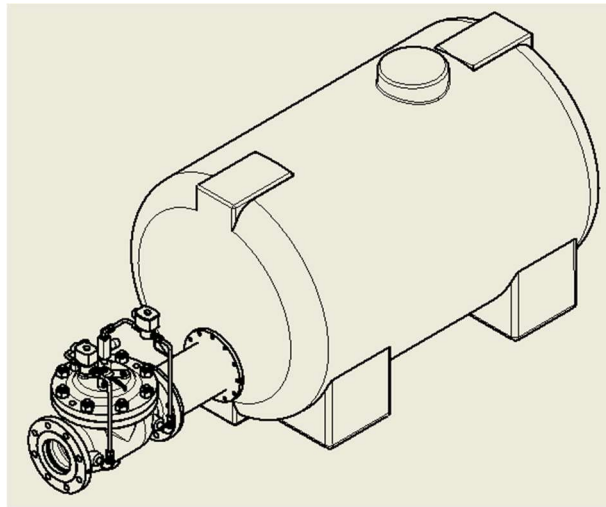


Figura 7.2 - Conjunto depósito e válvula reguladora de caudal

O plano inicial previa a instalação da turbina na saída da ETAR, ou seja, no final da tubagem que desagua diretamente para o rio, com o objetivo de aproveitar ao máximo a altura de queda disponível. No entanto, esta solução revelou-se particularmente desafiante devido às épocas de cheia, que fazem o leito do rio subir de forma significativa. Esta subida poderá submergir a turbina, colocando em risco o funcionamento do sistema, e potencialmente causando danos irreversíveis aos seus componentes auxiliares.

Outra alternativa considerada para a instalação final foi a utilização de um sistema de *bypass*, composto por dois tramos de tubagem paralelos, sendo um destinado à passagem pela turbina e o outro como linha auxiliar de desvio. Neste cenário, estava prevista a instalação de duas válvulas borboleta, uma em cada tubo, permitindo isolar ou direcionar o caudal conforme necessário (Figura 7.3).

No entanto, esta solução revelou-se menos vantajosa face à realidade da estação em estudo. Em primeiro lugar, exigiria uma área de instalação significativamente maior, o que não se adequa à infraestrutura compacta da ETAR em causa. Além disso, a implementação de um *bypass* e válvulas adicionais implicaria custos mais elevados, maior complexidade técnica e maiores necessidades de manutenção, sem

que isso se justificasse plenamente, tendo em conta a pequena dimensão da estação e o caudal relativamente reduzido.

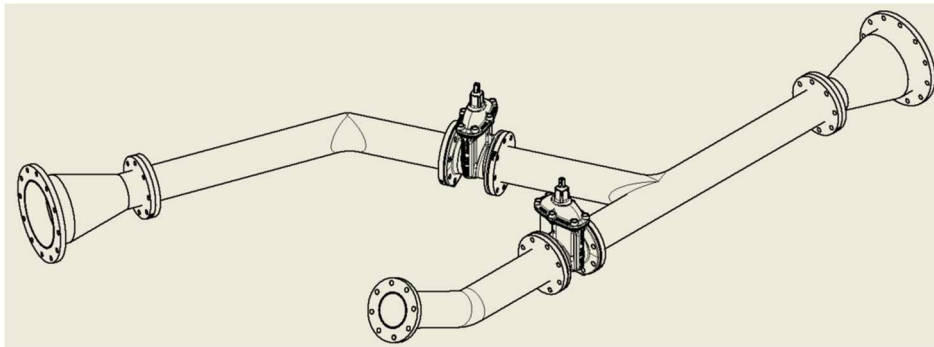


Figura 7.3 - Conjunto *bypass* turbina e acessórios

### 7.1.2. Local de desaguamento

De forma a manter a turbina alinhada na vertical com o solo, foi necessário implementar ajustes na disposição da tubulação final, que evoluiu de uma configuração diagonal para uma disposição horizontal (Figura 7.4). Como consequência, emergiu o problema da acumulação de sedimentos durante os períodos de cheias, uma vez que estes deixaram de ser eliminados por ação da gravidade.

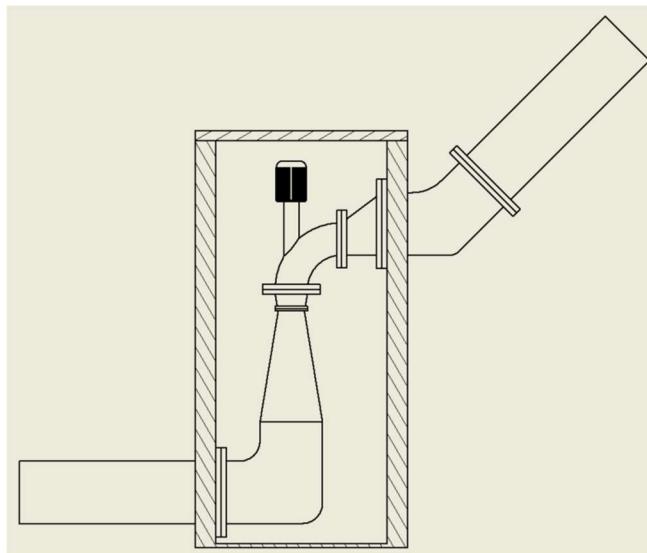


Figura 7.410 - Conjunto turbina e acessórios

Num primeiro momento foi necessário realizar um estudo sobre a implementação de uma chapa perfurada na saída do tubo, com recurso aos catálogos da empresa SJMetal.

No que diz respeito aos sedimentos, é essencial considerar os seguintes fatores: a distinção entre sedimentos de tração e de suspensão. Nos sedimentos de tração, também se observam sedimentos de saltação, cuja designação é indicativa da origem das partículas, que se deslocam da base ao longo do percurso do rio.

A chapa em questão será utilizada para proteção contra sedimentos cujas dimensões aproximadas correspondem às dos sedimentos de saltação habituais, de modo a evitar a retenção de quantidades significativas de água. Relativamente aos sedimentos de suspensão, será efetuado um corte na parte inferior da chapa, de modo a permitir a limpeza dos mesmos durante os períodos de não cheia, por meio da água de saída.

Deste modo, de acordo com os catálogos (SJ-Catálogo Geral) e após a consideração dos seguintes parâmetros: sedimentos com diâmetro de 2 mm e disposição dos furos da chapa em quincôncio a 60°, visando a criação de uma área aberta de 70% e um diâmetro por furo de 2 mm (Figura 7.5).

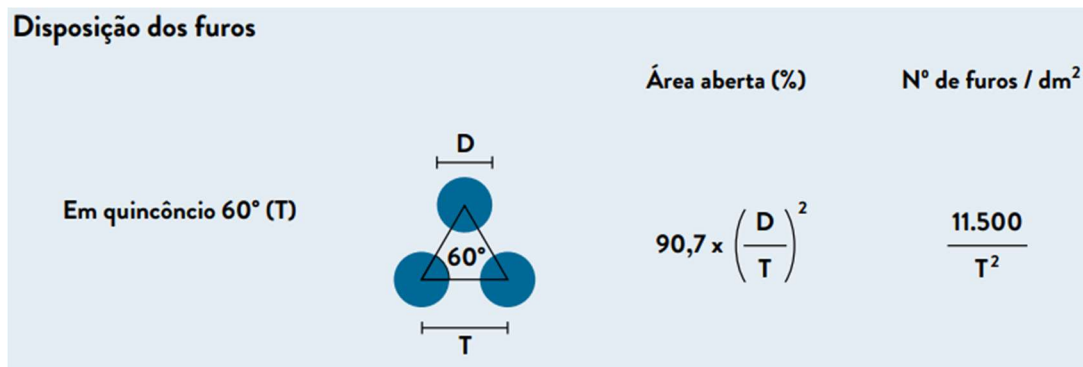


Figura 7.5 - Disposição de furos e referentes cálculos

### SJMetal

A equação 7.1 visa o cálculo do diâmetro da furação para uma percentagem de área aberta pretendida de cerca de 70%. De seguida, na equação 7.2, procede-se ao cálculo do número total de furos por dm<sup>2</sup>.

$$\text{Área aberta (\%)} = 90,7 * \left(\frac{D}{T}\right)^2 \quad (7.1)$$

$$\Leftrightarrow 70 = 90,7 * \left(\frac{2}{T}\right)^2$$

$$\Leftrightarrow 0,772 = \left(\frac{2}{T}\right)^2$$

$$\Leftrightarrow 0,595 = \left(\frac{2}{T}\right)$$

$$\Leftrightarrow T \approx 3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \Leftrightarrow \quad T &= 0,03 \text{ dm} \\
 \text{N}^\circ \text{ de Furos}/\text{dm}^2 &= \frac{11500}{T} \\
 &= \frac{11500}{0.03} \\
 &= 12777777/\text{dm}^2 \\
 &\approx 1807323 \text{ furos}
 \end{aligned}
 \tag{7.2}$$

onde:

D - Diâmetro de cada furo [mm]

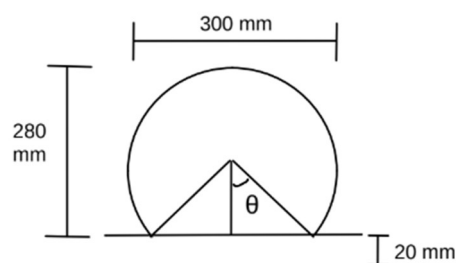
T - Distância entre furos [dm]

Reverendo as possibilidades existentes nos catálogos (SJ-Catálogo Geral), esta opção não seria possível, logo foi selecionada a mais próxima com as características seguintes, como se pode verificar na Tabela 7.1:

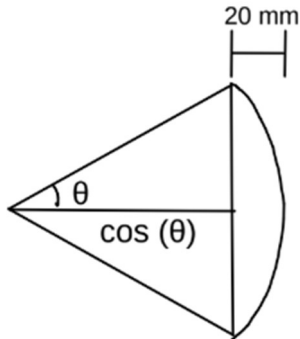
Tabela 7.1 - Características Chapa Furada

Nome	Parâmetro com unidade associada
Material	Chapa Galvanizada
Diâmetro de furos (D)	$D = 2 \text{ mm}$
Distância entre furos (T)	$T = 3,5 \text{ mm}$
Área aberta	30 %

O desenho seguinte representa o esquema da chapa desejado para a saída:



Partindo do desenho será calculada a área retirada da chapa, por meio da equação 7.3 de modo a ser obtida uma área aberta mais precisa.



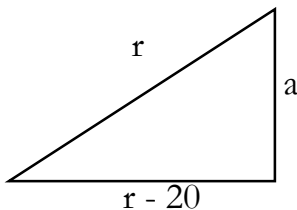
$$\begin{aligned}
 A_{setor} &= r^2 * \theta & (7.3) \\
 &= r^2 * \cos^{-1}\left(\frac{r - 20}{r}\right) \\
 &= 150^2 * \cos^{-1}\left(\frac{150 - 20}{150}\right) \\
 &= 150^2 * \frac{\pi}{6} \\
 &= 11781 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

onde:

$r$  - Raio da chapa [mm]

$\theta$  - Ângulo do triângulo que tem por base secção a cortar [graus]

Partindo da fórmula de Pitágoras (equação 7.4) deste modo teremos a base do triângulo.



$$\begin{aligned}
 r^2 &= (r - 20)^2 + a^2 & (7.4) \\
 \Leftrightarrow a^2 &= r^2 - (r - 20)^2 \\
 \Leftrightarrow a &= \sqrt{r^2 - (r - 20)^2}
 \end{aligned}$$

Para ser efetuado o cálculo do tempo de enchimento da tubagem com a chapa furada, será utilizado o valor mais alto do caudal captado na tabela 11 da página 52, sendo esse valor  $Q=59,87$  l/s. Primeiramente será calculada a área total da chapa furada (equação 7.7), por meio da subtração da área total obtida com a área do segmento (equação 7.6) e esta será calculada por meio da subtração da área do setor (equação 7.3) com a área do triângulo isósceles (equação 7.5). De seguida na equação 7.8 é calculada a percentagem de área aberta real, que multiplicando pelo maior valor de caudal teremos o volume total que passa na chapa (equação 7.9) e subtraindo pelo caudal máximo na equação 7.10, teremos o volume estancado pela chapa.

$$\begin{aligned} A_{\text{triângulo isósceles}} &= 2 * \left( \frac{a * (r - 20)}{2} \right) && (7.5) \\ &= \sqrt{r^2 - (r - 20)^2} * (r - 20) \\ &= \sqrt{150^2 - (150 - 20)^2} * (150 - 20) \\ &= 9728,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{segmento}} &= A_{\text{setor}} - A_{\text{triângulo isósceles}} && (7.6) \\ &= 11781 - 9728,31 \\ &= 2053 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{final}} &= A_{\text{total}} - A_{\text{segmento}} && (7.7) \\ &= 70685,8 - 2053 \\ &= 68632,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Total da área aberta} &= 30 + \left( \frac{2053}{70685,8} * 100 \right) && (7.8) \\ &= 30 + 2,9 \\ &\approx 33\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{total que passa na chapa}} &= Q * \% \text{ Total da área aberta} && (7.9) \\ &= 59,87 * 0,33 \\ &= 19,76 \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{estancado}} &= Q - V_{\text{total que passa na chapa}} && (7.10) \\ &= 59,87 - 19,76 \end{aligned}$$

$$= 40,11 \text{ l}$$

Considerando o tubo de aço inoxidável 316L DN300 com 4 metros de comprimento, é possível calcular o seu volume, conforme demonstrado na equação 7.11.

Como o aço inoxidável tem uma superfície bastante lisa, a perda de carga contínua ao longo do trajeto será bastante reduzida, tornando-se irrelevante para o cálculo.

$$\begin{aligned} V_{tubo} &= \pi * r^2 * h & (7.11) \\ &= \pi * 0,150^2 * 4 \\ &= 0,2827 \text{ m}^3 \\ &= 282,7 \text{ l} \end{aligned}$$

Partindo da equação de Energia (equação 7.12) e tendo em conta os seguintes pressupostos:

- Pressão atmosférica em ambos os pontos ( $P_1$  e  $P_2$ )
- $h_f = 0 \text{ m. c. a.}$ , será desprezado perdas provenientes da tubagem, como mencionado anteriormente
- Velocidade final nula (quando tubo enche)
- $z_1 = 0 \text{ m}$  partindo do suposto que o tubo esteja vazio
- $z_2 = 0,3 \text{ m}$  partindo do suposto que o tubo esteja cheio no final
- $\gamma = 8\,820 \text{ kg/m}^3$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2 * g} + z_2 + h_f \quad (7.12)$$

$$\Leftrightarrow \frac{u_1^2}{2 * g} = z_2$$

$$\Leftrightarrow u_1 = \sqrt{2 * g * 0,3}$$

Para o cálculo do caudal de saída (equação 7.13), teremos de ter em conta o valor de  $C_d$ , na ausência dos valores de fabricante, é necessário assumir um coeficiente de descarga para orifício não biselado de 20 mm inferior, analisado o coeficiente de um orifício biselado de um descarregador, com valores de  $C_d \in [0,65 ; 0,7]$ . Deste modo é assumido  $C_d = 0,5$ .

Por meio das equações 7.11 e 7.13, será possível calcular o tempo em segundos que leva ao tubo para encher por completo de água (equação 7.14).

$$\begin{aligned} Q_{saída} &= C_d * A * u_1 & (7.13) \\ &= 0,5 * (0,33 * 0,0707) * \sqrt{2 * 9,81 * 0,3} \\ &= 0,02826 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 28,26 \text{ l/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{enchimento} &= \frac{V_{tubo}}{Q_{saída}} & (7.14) \\ &= \frac{282,7}{28,26} \\ &\approx 10 \text{ s} \end{aligned}$$

A opção por não utilizar uma chapa furada ou uma grelha foi determinada pela necessidade de alteração da configuração da tubagem final, mantendo-se o ângulo de inclinação e conseqüentemente redução da altura de queda da turbina.

### 7.1.3. Caixa visita turbina

Inicialmente, a concepção do projeto previa a construção de uma caixa em betão, com dimensões interiores de 1000x1500x670 mm, e a inclusão de uma tampa em em PRFV. No entanto, o projeto revelou-se mais dispendioso que o inicialmente previsto, resultando num custo adicional de 6 524,54 €.

A segunda solução apresentada consistiu na utilização de duas manilhas com dimensões de Ø1000x1000x100 mm e uma cúpula excêntrica Ø1000X600X650X100 mm com tampa de saneamento DN600 B-125, resultando numa redução dos custos de 6 524,54 € para 372,82 €.

## **7.2. Solução Proposta**

Na saída do tanque de arejamento, será instalada uma válvula guilhotina motorizada. Esta opção foi selecionada pela empresa especialista Techsysflui, tendo em conta os objetivos de automatização da válvula, o espaço de aplicação e o caudal requerido para regularização. A função principal da válvula será regular o caudal de saída de forma automática. Esta regulação terá como objetivo manter um caudal constante de 45 l/s, que corresponde ao valor ideal de funcionamento da turbina. Sempre que o caudal à saída do depósito for inferior ao valor de referência, o sistema fechará totalmente a válvula, acumulando temporariamente água no reservatório até atingir o volume necessário para a descarga controlada. Por outro lado, em situações de caudal superior a 45 l/s, a válvula permanecerá totalmente aberta, permitindo o escoamento contínuo. Valores de caudal serão medidos por meio de um caudalímetro já localizado na ETAR a jusante do local onde a válvula será instalada.

Como medida de segurança adicional, em caso de sobrelevação do nível de água no reservatório, será implementado um sistema de descarga de superfície, que funcionará como alívio hidráulico para prevenir o sobreenchimento e proteger os equipamentos a jusante.

Para maximizar o aproveitamento da energia disponível, será construída uma caixa técnica à saída da ETAR, posicionada de forma estratégica de modo a tirar partido da altura de queda existente entre o final do sistema de tratamento e o ponto de descarga para o meio hídrico recetor. Nesta caixa será instalada a turbina hidráulica, dimensionada para operar de forma eficiente com o caudal regulado pela válvula motorizada.

Esta configuração permitirá não só o controle eficiente do escoamento, mas também a otimização da geração de energia elétrica, integrando de forma funcional a produção renovável com a operação da ETAR.

## **7.3. Turbina**

A opção de turbina para uma estação mini-hídrica foi uma turbina do tipo turgo. Desta forma, a turbina a ser instalada será o modelo GD-LZ-12-3kW (Figura 7.6), constituída por um gerador de modelo SF 1.5-4, da empresa Suneco.



Figura 7.6 - Turbina GD-LZ-12-3KW

Suneco

Este modelo é o mais aconselhado devido à altura de queda da ETAR, e opera com caudais entre os 45 e os 65 l/s. Nas tabelas 7.2 e 7.3 é possível observar um conjunto de informações da turbina e do gerador associado, submetidas pela empresa fornecedora.

Tabela 7.2 - Parâmetros da turbina GD-LZ-12-3KW

Nome	Parâmetro com unidade associada
Modelo	GD-LZ-12-3KW
Queda classificada	11 m
Caudal classificado	45 l/s
Potência produzida	3000 W
Eficiência	70 %
Diâmetro de tubagem	150 mm

Tabela 7.3 – Parâmetros de gerador SF 1.5-4

Nome	Parâmetro com unidade associada
Modelo	SF 3.0-4
Estilo	PMG
Potência produzida	3000 W
Tensão	230 ou 110 V
Corrente	13.04 A
Frequência	50 ou 60 HZ
Velocidade de rotação	1500 RPM
Fase	Singular
Fator de potência	1.0
Altitude	≤ 3000 m
Grau de isolamento	B / B
Grua de proteção	IP44
Temperatura	-25 a 50 °C
Humidade relativa	≤ 90 %

#### **7.4. PLC (Programmable Logic Controller)**

A programação da parte da automação será realizada por terceiros, recorrendo-se a um dispositivo PLC e a uma interface HMI para controlar a abertura da válvula. Esta receberá sinais do caudalímetro e do nível de água no reservatório, permanecendo aberta e garantindo um caudal adequado para atingir os níveis de produção elétrica desejados.

O PLC selecionada será do tipo Siemens S7-1200, constituindo um CPU 1212C - 6ES7212-1AE40-0XB0 Siemens. Este dispositivo apresenta 8 entradas digitais, 2 entradas analógicas e 6 saídas digitais. Dado que o atuador da válvula motorizada é do tipo AUMA SAR 07.6 B3/20 F10 11rpm 400/50/3, com fins de curso, limitadores de binário e saída 4-20 mA, é necessário um módulo de entrada analógica que efetue a leitura desse sinal. O módulo selecionado é o 6ES7231-4HF32-0XB0 da Siemens. Para o HMI foi selecionada a interface KTP series - 6AV2123-2DB03-0AX0 Siemens, apresentando uma conceção simples e moderna. Finalmente, foi necessário selecionar um relay para garantir a segurança na ativação da válvula, tendo sido selecionado o modelo 3RT1015-1BB41 da Siemens.

## 7.5. Válvula Reguladora

Conforme anteriormente referido, será instalada uma válvula motorizada do tipo guilhotina à saída do tanque; esta válvula desempenha um papel fundamental no controlo do sistema proposto, funcionando como o principal elemento de regulação do caudal à saída do reservatório (Figura 7.7). A sua instalação permite uma gestão precisa e automatizada do caudal de água que alimenta a turbina, assegurando condições de operação estáveis e adaptadas às necessidades energéticas do processo. A Tabela 7.4 lista um conjunto de características da válvula.

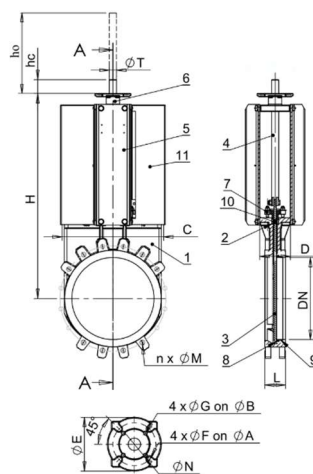


Figura 7.7 - Válvula Guilhotina com corpo de ferro e placa de montagem ISO para conexão

Techsysflui

Tabela 7.4 - Parâmetros da válvula

Nome	Parâmetro com unidade associada
DN	200 mm
PN	10 bar
L	60 mm
H	608 mm
hc	50 mm
ho	268 mm
ØT	Tr 25 x 5 mm para a esquerda
Torque	41 Nm
Torque com fator de segurança 30%	53,3
C	275 mm
D	108 mm
ØK	295 mm
n	8
ØM	4 x M20 mm
Montagem de Flange ISO	F10
ØA	102 mm
ØB	-
ØE	125 mm
ØF	12 mm
ØG	-
ØN	70 mm
Peso	33 kg

## 7.6. Acessórios de tubagem

Está prevista a produção dos diversos acessórios necessários ao suporte e funcionamento integral do sistema, com destaque para a descarga de superfície, componente essencial para garantir a segurança do reservatório em situações de sobreenchimento, bem como para os acessórios de tubagem associados à instalação da turbina. Os elementos serão produzidos em aço inoxidável, um material selecionado devido à sua durabilidade, resistência à corrosão e compatibilidade hidráulica e estrutural com os restantes componentes do sistema.

A produção destes acessórios na empresa H2Tec constitui uma vantagem significativa, ao permitir uma adaptação precisa às condições específicas da ETAR e a eventuais necessidades de manutenção ou substituição futura. Esta abordagem

promove ainda uma maior eficiência logística e contribui para a sustentabilidade do projeto.

Os acessórios de tubagem da turbina englobam um conjunto de componentes essenciais para o seu funcionamento eficiente, estando projetados para garantir a condução adequada do escoamento e minimizar as perdas de carga ao longo do sistema. Entre estes, destacam-se as curvas ajustadas e outros elementos fabricados sob medida, que asseguram a correta orientação e posicionamento da turbina, otimizando o desempenho hidráulico e a integração global com o sistema de drenagem.

A conceção técnica e a execução cuidadosa destes componentes visam assegurar não só a eficiência operacional da instalação, mas também a sua fiabilidade a longo prazo, em conformidade com os requisitos técnicos e normativos aplicáveis, nomeadamente os tubos responsáveis pela descarga de superfície, cones para a redução do diâmetro de tubagem e curvas.

### 7.6.1. Descarga de Superfície

O sistema de descarga de superfície será constituído por dois canais independentes, com diâmetro nominal de 100 mm, dimensionados para conduzir o excesso de água acumulado no reservatório até uma fossa de descarga externa (Figura 7.8).

A instalação dos canais será efetuada na parte superior do reservatório, de forma a garantir o acionamento do sistema apenas em condições excecionais, assegurando simultaneamente a estabilidade do nível de operação e a proteção do sistema em cenários de caudal variável.

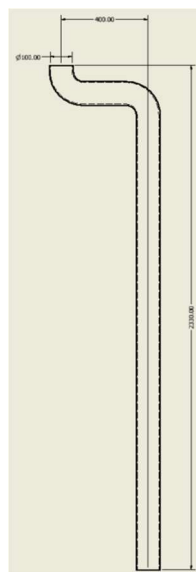


Figura 7.8 - Tubo de descarga de superfície

### 7.6.2. Ligação de turbina

De forma a realizar uma boa instalação da turbina, será necessário realizar uma redução do diâmetro da tubagem, passando de DN300 para DN150 e de forma a minimizar as perdas será produzido um cone excêntrico (Figura 7.9).

A produção destes componentes, em aço inoxidável, não só assegura uma durabilidade elevada como também facilita eventuais intervenções de manutenção ou substituição futura.

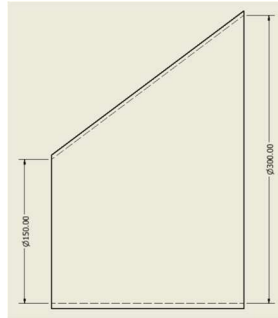


Figura 7.9 - Cone Excêntrico

Com o intuito de evitar perdas de eficiência associadas a uma má instalação da turbina, nomeadamente a sua colocação desalinhada em relação ao plano horizontal devido à inclinação existente na tubagem de saída da ETAR, será necessária a fabricação de uma curva personalizada, com um ângulo ajustado à inclinação real do sistema. Esta adaptação visa garantir a instalação da turbina na posição ideal para o seu funcionamento hidráulico e mecânico (Figura 7.10).

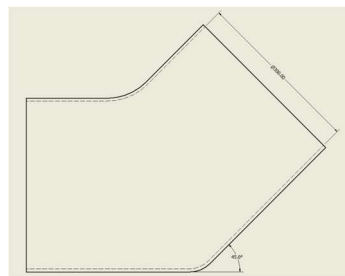


Figura 7.10 - Curva

## 7.7. Instalação Elétrica

Tendo em conta a potência da turbina de 3 kW, uma tensão de 230 V, corrente de 13,04 A e considerando uma distância do gerador até ao quadro elétrico de cerca

de 60 metros, foi selecionado o cabo elétrico e componentes associados mais apropriados.

Analisando as diferentes opções da empresa Helukabel, foi concluído que o cabo mais apropriado será o cabo HO7RN-F 2X1,5 com um revestimento de borracha. Na Tabela 7.5 listam-se os parâmetros técnicos deste tipo de cabo, salientando que este possuirá um condutor do tipo verde-amarelo (representado pela letra G no parâmetro “Nº Núcleos x Área corte transversal”)

Tabela 7.5 - Parâmetros do cabo HO7RN-F 2X1,5

Nome	Parâmetro com unidade associada
Nº Núcleos	3 G
Área transversal	1 $mm^2$
Diâmetro exterior min-máx	8,3 – 10,7 mm
Massa cobre	29 kg/km
Massa total	130 kg/km
Nº AWG	18

A instalação será efetuada debaixo de terra a uma profundidade de cerca de 700 mm desde o quadro da turbina até ao quadro elétrico da estação, a uma distância de cerca 60 metros.

## 7.8. Caixa Visita

Conforme anteriormente referido, a caixa visita será efetuada por intermédio de duas manilhas de betão com as dimensões Ø 1000×1000×100 mm e uma cúpula excêntrica 1000×600×650×100 mm com tampa de saneamento DN600 B-125. O procedimento inicial consiste na escavação do local, na aplicação de uma camada de betão simples para base e na colocação das manilhas. Desta forma, todos os componentes da turbina permanecem facilmente acessíveis e protegidos das condições ambientais. Na Figura 7.11 é possível visualizar o desenho da turbina e todos os componentes associados.

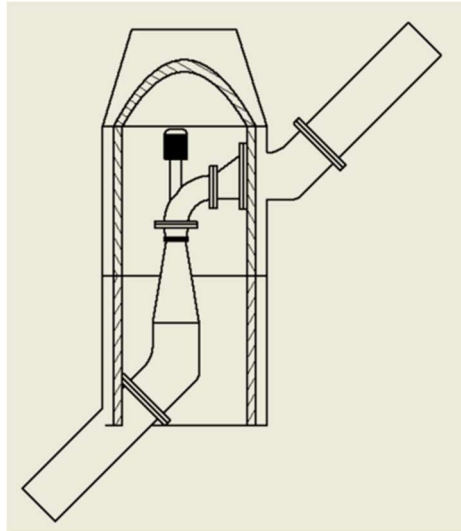


Figura 7.11 – Conjunto turbina e acessórios

## **7.9. Retorno de Investimento**

Na ETAR de Miranda do Corvo, os valores apresentam uma elevada inconsistência, evidenciada pela variação significativa ao longo do ano, conforme demonstrado na Tabela 7.6. Nesta tabela, são apresentados dados de energia que oscilam entre 72 kWh e 8,93 kWh. Os valores restantes para os 365 dias subsequentes encontram-se em anexo (Anexo C).

Tabela 7.6 – Dados de ETAR de Miranda do Corvo com cálculos efetuados

Data	m3/dia	m3/h	l/s	Diferença Q entrada e Q saída	Tempo de enchimento do depósito [s]	Número de vezes que depósito enche em 1 dia	Horas de trabalho num dia	Energia produzida [kWh]
1/1/2023 0:00	4523.45	188.48	52.35	7.35				72.00
1/2/2023 0:00	5172.52	215.52	59.87	14.87				72.00
1/30/2023 0:00	3720.78	155.03	43.06	-1.94				50.00
1/31/2023 0:00	3474.29	144.76	40.21	-4.79				50.00
2/1/2023 0:00	3401.52	141.73	39.37	-5.63				40.00
2/2/2023 0:00	3344.32	139.35	38.71	-6.29				40.00
2/6/2023 0:00	2959.65	123.32	34.26	-10.74				36.00
2/7/2023 0:00	2854.84	118.95	33.04	-11.96				36.00
2/10/2023 0:00	2555.55	106.48	29.58	-15.42	135.23	385.65	9.52	28.57
3/6/2023 0:00	1395.27	58.14	16.15	-28.85	247.69	256.77	6.34	19.02
5/14/2023 0:00	1364.62	56.86	15.79	-29.21	253.26	252.59	6.24	18.71
5/18/2023 0:00	1291.70	53.82	14.95	-30.05	267.55	242.46	5.99	17.96
5/21/2023 0:00	1198.69	49.95	13.87	-31.13	288.31	229.11	5.66	16.97
7/13/2023 0:00	1073.08	44.71	12.42	-32.58	322.06	210.29	5.19	15.58
7/21/2023 0:00	833.46	34.73	9.65	-35.35	414.65	171.61	4.24	12.71
7/22/2023 0:00	550.56	22.94	6.37	-38.63	627.73	120.58	2.98	8.93

Para garantir uma produção de energia dentro dos limites da turbina, é essencial manter um caudal de saída constante. Dessa forma, torna-se necessário identificar os momentos em que o caudal de entrada é superior ou inferior ao caudal de saída de 45 l/s. Os valores cuja diferença de caudal é negativa foram destacados em vermelho-claro.

Em seguida, para os valores destacados, foi simulado utilizando um depósito com capacidade de 4 m<sup>3</sup>, cujo objetivo é armazenar o excesso de água para posteriormente libertá-la a um caudal constante desejado. A estratégia adotada consiste em dividir os 4 000 litros pelo caudal desejado de 45 l/s. Dessa forma, o esvaziamento completo ocorre em aproximadamente 88.9 segundos.

Para o cálculo do número de vezes que o depósito é esvaziado em um único dia, recorre-se à expressão 7.15. Além disso, é necessário obter o número de descargas equivalentes a 1 hora. Dividindo 3600 segundos (1 hora) pelos 88.9 segundos obtidos anteriormente, obtém-se 40.5 descargas por hora. A partir desta informação, é possível determinar o número de horas de operação diárias através da divisão do número de vezes que o depósito é esvaziado num dia por 40,5.

Finalmente, ao multiplicar o número de horas pela potência da turbina, obtém-se a energia total produzida diariamente.

$$\text{Número de vezes que depósito enche em 1 dia} = \frac{24 * 3\ 600}{\text{Tempo de enchimento de depósito} + 88,9} \quad (7.15)$$

Os valores de energia produzida estão representados por diferentes cores, uma vez que foram necessárias suposições devido à ausência da curva de *performance* da turbina selecionada.

A cor verde corresponde aos dias em que o caudal de entrada é superior a 45 l/s, garantindo a potência máxima nesse período. A cor vermelha indica valores de caudal entre 40 e 45 l/s, para os quais foi assumida uma produção total de 50 kWh por dia. O tom de vermelho um pouco mais escuro representa caudais entre 35 e 40 l/s, com uma potência estimada de 40 kWh diários. Por fim, o tom de vermelho mais escuro corresponde a caudais entre 30 e 35 l/s, para os quais foi considerada uma produção de 36 kWh por dia.

Através do somatório de todas as energias obtemos dessa forma a energia total produzida para 1 ano, por meio da fórmula 7.16.

$$\sum \text{Energia total produzida} = 11\ 210,51 \text{ kWh} \quad (7.16)$$

Assumindo uma conversão de potência para euro por base o preço atual da EDP de 0,15€/kWh, calculou-se a receita anual produzida, por meio da fórmula 7.17.

$$\begin{aligned} \text{Receita anual produzida} &= 11\,210,51 \text{ kWh} * 0,1508 \text{ €/kWh} && (7.17) \\ &= 1\,690,55 \text{ €/ano} \end{aligned}$$

A opção por operar a turbina com eficiências de até 50% visa maximizar a produção anual de energia. Nos momentos em que o caudal atinge valores inferiores a 30 l/s, é acionado o fecho da válvula para acumular 4 000 litros no depósito a montante. Posteriormente, a água é escoada a um caudal constante de 45 l/s, conforme já explicado anteriormente.

Para o cálculo do investimento inicial, é fundamental considerar o valor dos impostos sobre a turbina, uma vez que esta será adquirida da China. Para Portugal, aplica-se uma taxa CIF de 4,5% (fórmula 7.18) e um IVA de 23% (fórmula 7.19) sobre o preço de aquisição, que é de 3 697,71 €.

$$\begin{aligned} \text{CIF aplicado na turbina} &= 3\,697,71 \text{ €} * 0.045 && (7.18) \\ &= 166,40 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IVA aplicado na turbina} &= (3\,697,71 \text{ €} + 166,40 \text{ €}) * 0.23 && (7.19) \\ &= 888,75 \text{ €} \end{aligned}$$

Além disso, é essencial considerar a lista de trabalhos a executar, de modo a contabilizar a mão de obra necessária e os dias de trabalho para cada tarefa, como se pode observar na seguinte Tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Lista de trabalho a realizar na ETAR de Miranda do Corvo

Trabalhos	Dias Trabalho no Local
Abertura de 2 furos/carotes no muro de tanque de arejamento de DN100	1 dia
Colocação de tubagem de descarga de superfície Substituição de válvula guilhotina local por válvula guilhotina motorizada	1/2 Dia
Escavar buraco de tamanho 2000x4000x2000 mm	1 Dia
Efetuar corte de tubo no local e fornecer e aplicar uma junta flange x multimaterial DN300 PN10	1 Dia
Abertura e fecho de vala num percurso de aproximadamente 60 metros para enterrar cabo de eletricidade e corrugado a uma profundidade de 700 mm	1 Dia
Aplicar base de betão simples para uma área circular de 0,95m <sup>2</sup> com 200 mm de espessura	1 Dia
Montagem de peças no local	
Escavar buraco de tamanho 2000x4000x2000 mm com escavadora	2 Dias

Consequentemente, será necessário um período de trabalho estimado em sete dias e meio no local da obra.

Em conformidade com os dados obtidos, a tabela de orçamento (Tabela 7.8) apresentará a turbina, os dispositivos auxiliares e as demais peças e trabalhos necessários.

O cálculo do retorno do investimento estimado para o projeto foi efetuado com recurso à expressão 7.20.

Tabela 7.8 – Orçamento ETAR Miranda do Corvo

Item	Produto/Descrição de Trabalhos	Un.	Qtd.	Preços	
				Unitários	Total
1	Fornecimento das seguintes peças em aço inox:				
1.1	Cone excêntrico flangeado DN300x150	Un	1	579,10 €	579,10 €
1.2	Curva 45° flangeada DN200	Un	1	334,07 €	334,07 €
1.3	Curva 45° flangeada DN300	Un	1	526,11 €	526,11 €
1.4	Tubo flange x ponta lisa DN200 (L=4000mm)	Un	1	490,24 €	490,24 €
1.5	Tubagem de descarga de superfície em aço inox 316L DN100 composta por passamuros, curva a 90° e troço vertical com 2100mm	Un	2	733,80 €	733,80 €
	Total Capítulo 1:				3 397,12 €
2	Compra a Artecimel das seguintes peças:				
2.1	Manilha pré-fabricada em betão Ø1000X1000X100 mm	Un	2	113,05 €	226,10 €
2.2	Cúpula excêntrica pré-fabricada em betão Ø1000X600X650X100 mm	Un	1	48,93 €	48,93 €
2.3	Tampa Transit DN600 B-125 Saneamento	Un	1	78,41 €	78,41 €
	Total Capítulo 2:				353,44 €
3	Compra de componentes PLC a PLCCity:				
3.1	CPU: 1212C - 6ES7212-1AE40-0XB0 Siemens	Un	1	236,60 €	236,60 €
3.2	Módulo de Entrada Analógica (para alimentação de 4–20 mA): 6ES7231-4HF32-0XB0 Siemens	Un	1	344,40 €	344,40 €
3.3	Relay: 3RT1015-1BB41 Siemens	Un	1	35,70 €	35,70 €
3.4	HMI: KTP series - 6AV2123-2DB03-0AX0 Siemens	Un	1	352,49 €	352,49 €
	Total Capítulo 3:				969,19 €
4	Outros trabalhos				
4.1	Execução dos seguintes trabalhos				

4.1.1	Abertura de 2 furos/carotes no muro de tanque de arejamento de DN100 Colocação de tubagem de descarga de superfície	Vg	1	583,71 €	583,71 €
4.1.2	Substituição de válvula guilhotina local por válvula guilhotina motorizada	Un	1	202,14 €	202,14 €
4.1.3	Efetuar corte de tubo no local e fornecer e aplicar uma junta flange x multimaterial DN300 PN10	Vg	1	1 032,71 €	1 032,71 €
4.1.4	Abertura e fecho de vala num percurso de aproximadamente 60 metros para enterrar cabo de electricidade e corrugado a uma profundidade de 700 mm	Vg	1	1 366,13 €	1 366,13 €
4.1.5	Aplicar base de betão simples para uma área circular de 0,95 m <sup>2</sup> com 200 mm de espessura Montagem de peças no local	Vg	1	834,20 €	834,20 €
Total Capítulo 4:					4 018,89 €
5	Escavar buraco de tamanho 2000x4000x2000 mm com escavadora (duração de cerca 20 horas em 2 dias)	Vg	1	400 €	400 €
6	Deslocamentos de carrinha com material	Vg	1	618,79 €	618,79 €
7	Conexão da parte elétrica para uma distância de 60 metros	Vg	1	166,93 €	166,93 €
8	Turbina modelo GD-LZ-12-3KW com gerador associado + IVA	Un	1	4 586,46 €	4 586,46 €
9	Válvula motorizada do tipo guilhotina	Un	1	3 851,54 €	3 851,54 €

Valor Global da Proposta	18 381,74 €
DEZOITO MILL TREZENTOS E OITENTA E UM EUROS E SETENTA E QUATRO CÊNTIMOS	

$$\text{Retorno de Investimento} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Receita anual produzida}} \quad (7.20)$$

$$= \frac{18\,381,74 \text{ €}}{1\,690,55 \text{ €/ano}}$$

$$= 10,9 \text{ anos}$$

$$\approx 11 \text{ anos}$$

## **8. Outros métodos de produção de energia em ETARs**

A produção de energia em ETAR é, atualmente, predominantemente assegurada pelo aproveitamento de biogás e de painéis fotovoltaicos.

Durante a segunda fase de tratamento de uma ETAR após a redução do conteúdo de água presente nas lamas, estas são transportadas para um tanque de mistura onde ocorre a digestão anaeróbia. Este tipo de digestão ocorre na ausência de oxigénio a uma temperatura de cerca 35°C tendo como produto final o biogás e os bio-sólidos.

O biogás produzido é depois armazenado num gasómetro tendo como função a produção de energia e aquecimento das lamas (para manter as lamas a 35°C durante a fase de digestão). Para o aproveitamento do biogás são instalados dois grupos de cogeração para a produção da energia elétrica e térmica.

Painéis fotovoltaicos também são uma solução adotada por diversas ETARs como meio de reduzir a energia total consumida nos diferentes processos.

O aproveitamento das áreas não utilizadas nos setores com painéis ajuda não só na produção de energia, mas como também tem benefícios na imagem de sustentabilidade e no uso de energias renováveis neste tipo de setores.

### **8.1. Comparação dos métodos**

Na ETAR do Ave, foi efetuado um estudo energético comparativo pela Universidade do Porto, na qual a ETAR consumia um total de 230753 kWh/mês, sendo distribuída pelos diferentes equipamentos como mostra a Figura 8.1.

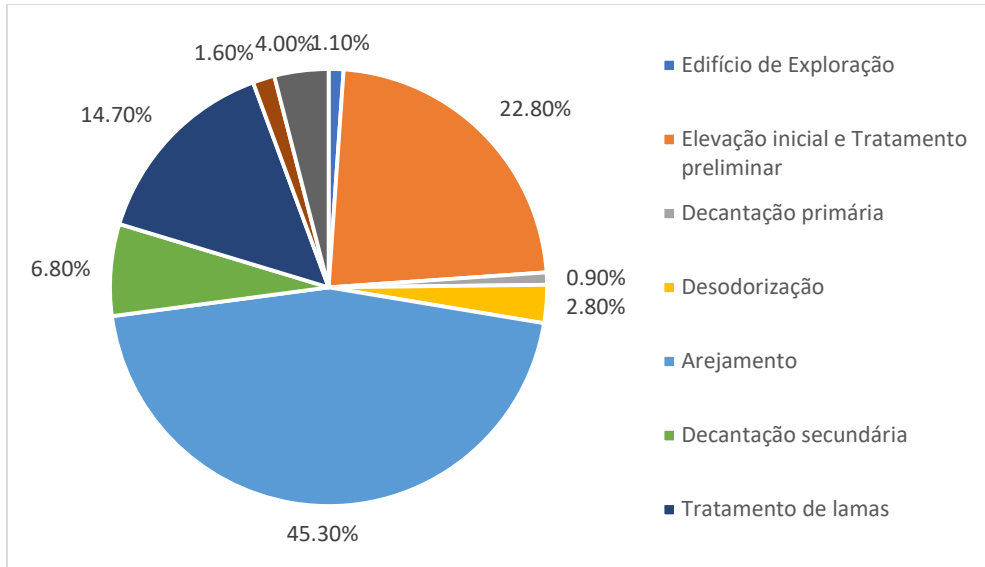


Figura 8.1 - Distribuição dos consumos elétricos na ETAR do Ave

*Estudo Energético Comparativo da ETAR do Ave* (Cátia Brandão, 2018)

Depois a partir de uma análise da energia produzida através dos dois métodos na ETAR foi possível comparar a energia produzida com a consumida num espaço de 5 meses (Figura 8.2).

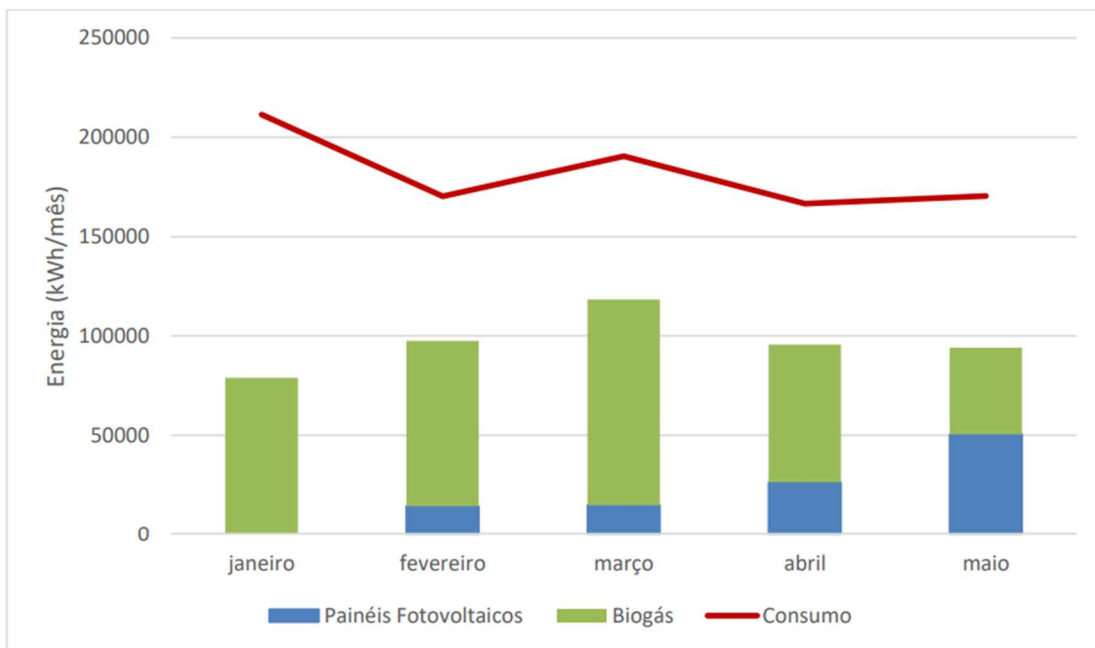


Figura 8.2 - Distribuição da energia produzida pelos diferentes métodos em relação ao consumo na ETAR do Ave

*Estudo Energético Comparativo da ETAR do Ave* (Cátia Brandão, 2018)

Desta forma, é possível constatar que, atualmente, o método de produção de energia predominante na ETAR de Ave é o biogás. Os painéis fotovoltaicos são limitados pelas horas de irradiação solar diárias, sendo estas superiores nos meses de verão e inferiores nos meses de inverno. Conforme demonstrado na Figura 8.2, é viável proceder à análise de uma coluna superior de biogás, contudo, esta apresenta-se significativamente inferior ao consumo total da estação, atingindo valores ligeiramente superiores a 50% no mês de março.

## 9. Conclusões

A aplicação de turbinas hidráulicas em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) representa uma solução tecnicamente viável e ambientalmente benéfica, sobretudo quando estas infraestruturas são concebidas com esse propósito desde a sua fase de planeamento. No entanto, quando se tenta adaptar esta tecnologia a ETARs já existentes, surgem diversas limitações que podem comprometer a eficiência do sistema e o retorno do investimento.

O caso específico da ETAR de Cacia ilustra bem essas dificuldades. O espaço de trabalho é extremamente reduzido, o que complica a instalação de componentes essenciais como a turbina, as válvulas e os sistemas de tubagem. Adicionalmente, a altura de queda disponível é limitada, o que condiciona diretamente a potência que pode ser gerada. Estas restrições obrigam à implementação de soluções técnicas mais complexas e dispendiosas, como estruturas de adaptação, *bypasses* ou válvulas de regulação, que aumentam significativamente o custo do projeto e o tempo de retorno do investimento, desse modo o projeto da ETAR de Cacia não obteve continuação devido ao elevado despendimento de cerca de 137 mil euros apenas para turbina e componentes base e com retornos de investimento demasiados elevados, superior a 15 anos apenas para os custos descritos.

Em contraste, a aplicação desta solução em ETARs de menor dimensão e mais recentes, como a de Miranda do Corvo, revela-se mais vantajosa. Nestas instalações, existe maior flexibilidade na integração de sistemas de microgeração hidráulica, tanto em termos de espaço disponível como de adequação da infraestrutura existente. A simplicidade do sistema e o menor custo de adaptação tornam o investimento mais viável e com um retorno mais rápido, permitindo a produção de energia renovável de forma eficiente e com impacto ambiental reduzido.

Este cenário evidencia a importância de considerar o potencial de geração hidroelétrica na fase inicial de conceção de novas ETARs tal como foi explorado e evidenciado no capítulo 5 com as estações de Sydney e Ontario, na qual durante o projeto de expansão, as obras civis foram efetuadas de modo a ser possível acoplar uma turbina ou múltiplas para produção de energia. Tal abordagem permitiria não só um melhor aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis, como também uma integração mais eficiente e económica de tecnologias sustentáveis, contribuindo para a redução da pegada carbónica do setor.

Após a conclusão do estágio, foi celebrado um acordo informal entre a empresa H2Tec e o autor deste estudo, com vista a prosseguir com o projeto de Miranda do Corvo até à sua finalização. Este acordo visou a resolução de eventuais erros que pudessem emergir nas fases finais, de modo a garantir a realização do projeto de forma eficaz.

## BIBLIOGRAFIA

- Polák, M. (2021) *A Brief History of the Kaplan Turbine Invention*. Energies <https://doi.org/10.3390/en14196211>
- Tomczyk, P.; Mastalerek, K.; Kociszewski, K.; Orzepowski, W.; Wiatkowski, M. (2025) *Economic Analysis of the Operation of a Hydropower Plant in a Wastewater Treatment Plant: Torún, Poland*. Energies <https://doi.org/10.3390/en18020406>
- Ahmed H.; Ehab M.; Omar S. (2022) *Design and analysis of Analytical Model of an Archimedes Screw Turbine* International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering
- Ziyang G.; Yongjun S.; Shu-Yuan P.; Pen-ChiChiang (2019) *Integration of Green Energy and Advanced Energy-Efficient Technologies for Municipal Wastewater Treatment Plants* International Journal of Environmental Research and Public Health
- Brandão C. (2018) *Estudo Energético comparativo da ETAR do Ave* (Dissertação) FEUP
- Laercio S. (2019) *Geração de energia com o uso do parafuso de Arquimedes* São Leopoldo
- Chiyembekezo K.; Cuthbert K.; Torbjorn N. (2014) *Experimental study on a simplified crossflow turbine* International Journal of Energy and Environment
- Hatch (2020) *Mid Halton Wastewater Treatment Plant, Micro-Hydro Facility* Canadian Consulting Engineering Awards
- Andrei D. (2021) *Design considerations for an Archimedean screw hydro turbine* IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci
- Emanuele Q.; Chirag T. (2021) *The state-of-art of design and research for Pelton turbine casing, weight estimation, counterpressure operation and scientific challenges* <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08527>
- Pawel T.; Krzysztof M.; Mirosław W.; Alban K.; Jakub J. (2023) *Assessment of a Francis Micro Hydro Turbine Performance Installed in a Wastewater Treatment Plant* Energies <https://doi.org/10.3390/en16207214>

## **ANEXOS**

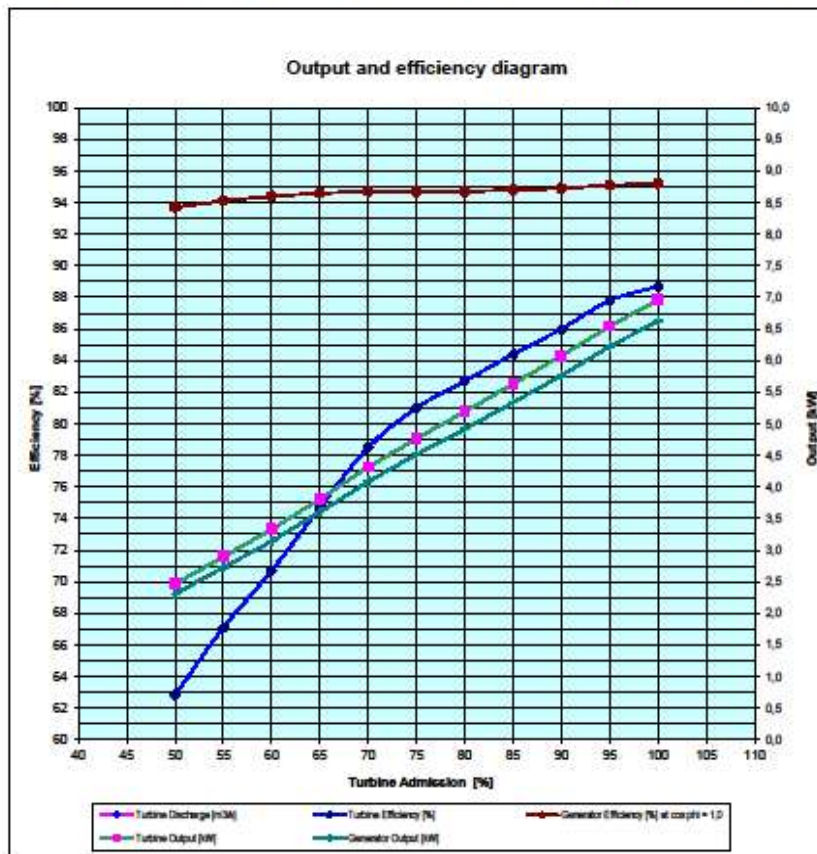
## Anexo A – Tabela e diagrama de rendimento e eficiência fornecido por Gugler

Project: H2TEC


Turbine speed [1/min] 750  
 Runner diameter [mm] 355

### OUTPUT AND EFFICIENCY TABULATION

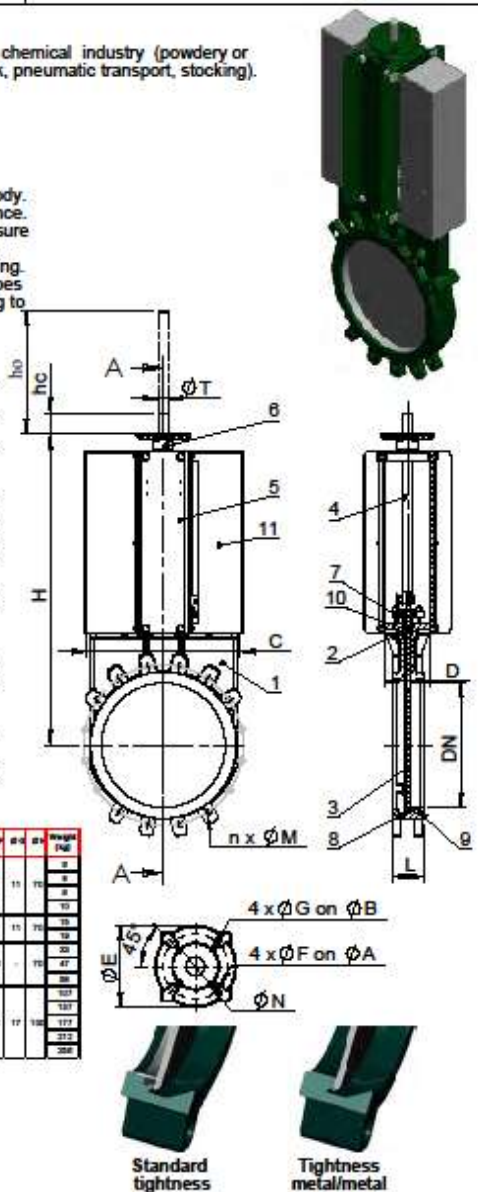
Q <sub>T</sub> [%]	Turbine Discharge [m <sup>3</sup> /s]	Net Head [m]	Turbine Efficiency [%] single regulated	Turbine Output [kW]	Generator Efficiency [%] at cos phi = 1,0	Generator Output [kW]
50	0,2000	2,00	62,80	2,46	93,70	2,31
55	0,2200	2,00	67,10	2,90	94,10	2,73
60	0,2400	2,00	70,70	3,33	94,40	3,14
65	0,2600	2,00	74,70	3,81	94,60	3,60
70	0,2800	2,00	78,50	4,31	94,70	4,08
75	0,3000	2,00	81,00	4,77	94,70	4,51
80	0,3200	2,00	82,70	5,19	94,70	4,92
85	0,3400	2,00	84,40	5,63	94,80	5,34
90	0,3600	2,00	86,00	6,07	94,90	5,76
95	0,3800	2,00	87,80	6,55	95,10	6,23
100	0,4000	2,00	88,70	6,96	95,20	6,63



# Anexo B – Informação Técnica da Válvula Guilhotina fornecido por Techsysflui

<p>Ref. : VG4400-004.pas                  Rev. : Initial                  Date : 19/05/2020                  Page : 1/1</p>	<h2>KNIFE GATE VALVE                  CAST IRON BODY WITH                  ISO MOUNTING PLATE                  FOR CONNECTION</h2> <p><b>VG4400-004</b></p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<p><b>APPLICATION</b></p> <p>General use : Pulp production, water, water treatment, waste water, chemical industry (powdery or crystallizing products), wine-producing, pulverized products (cement work, pneumatic transport, stocking).</p> <p><b>GENERAL CHARACTERISTICS</b></p> <p>Range : from DN 50 to DN 800.                  Function ON/OFF or regulation.                  Wafer threaded mounting ISO PN10.                  Unidirectional tightness, direction indication thanks to the arrow on the body.                  Small retention zone: the gate is guided in the body and has little clearance.                  Gland assembly: packing and O-ring (same materials as seat joint) to assure the elasticity and decrease the operating torque. Small head loss.                  Possibility to regulate thick fluids with the adaptation of a diaphragm ring.                  The range of knife gate valves is conceived to accept normally all the types of electric actuators thanks to its mounting flange of connecting according to the standard ISO 5210.</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<p><b>CONSTRUCTION</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Pos.</th> <th>Qty.</th> <th>Description</th> <th>Material</th> <th>Norme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>2</td> <td>Lateral security protection</td> <td>Stainless steel 304</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>O-ring</td> <td>NBR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9**</td> <td>1</td> <td>Support ring</td> <td>Stainless steel 316</td> <td>DIN: X6CrNiMo16-10 ASTM: A 182 AISI 316 BS: 970 316 S16</td> </tr> <tr> <td>8**</td> <td>1</td> <td>Gasket</td> <td>NBR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1</td> <td>Packing gland</td> <td>Ductile iron</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1</td> <td>Embase moteur</td> <td>Painted steel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5*</td> <td>2</td> <td>Plaque support</td> <td>Steel + Epoxy</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>Vis de manœuvre</td> <td>Stainless steel 13%Cr</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>Knife</td> <td>Inox X6CrNi18-10</td> <td>DIN: X6CrNi18-10 ASTM: A 182 AISI 304 BS: 1449-2 304 S15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>Packing</td> <td>PTFE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>Body</td> <td>Ductile iron EN-GJS-500-7</td> <td>DIN: GGG 50 ASTM: A536 65-70-50-05 BS: 1563 EN-US1050</td> </tr> </tbody> </table>			Pos.	Qty.	Description	Material	Norme	11	2	Lateral security protection	Stainless steel 304		10	1	O-ring	NBR		9**	1	Support ring	Stainless steel 316	DIN: X6CrNiMo16-10 ASTM: A 182 AISI 316 BS: 970 316 S16	8**	1	Gasket	NBR		7	1	Packing gland	Ductile iron		6	1	Embase moteur	Painted steel		5*	2	Plaque support	Steel + Epoxy		4	1	Vis de manœuvre	Stainless steel 13%Cr		3	1	Knife	Inox X6CrNi18-10	DIN: X6CrNi18-10 ASTM: A 182 AISI 304 BS: 1449-2 304 S15	2	2	Packing	PTFE		1	1	Body	Ductile iron EN-GJS-500-7	DIN: GGG 50 ASTM: A536 65-70-50-05 BS: 1563 EN-US1050																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Pos.	Qty.	Description	Material	Norme																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
11	2	Lateral security protection	Stainless steel 304																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	1	O-ring	NBR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
9**	1	Support ring	Stainless steel 316	DIN: X6CrNiMo16-10 ASTM: A 182 AISI 316 BS: 970 316 S16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
8**	1	Gasket	NBR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	1	Packing gland	Ductile iron																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	1	Embase moteur	Painted steel																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5*	2	Plaque support	Steel + Epoxy																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	1	Vis de manœuvre	Stainless steel 13%Cr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	1	Knife	Inox X6CrNi18-10	DIN: X6CrNi18-10 ASTM: A 182 AISI 304 BS: 1449-2 304 S15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2	2	Packing	PTFE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	1	Body	Ductile iron EN-GJS-500-7	DIN: GGG 50 ASTM: A536 65-70-50-05 BS: 1563 EN-US1050																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<p><b>DIMENSIONS</b></p> <p>*Pre-shaped parts up to DN 300.                  **Missing parts on metal / metal tightness.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>DN</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>h<sub>o</sub></th> <th>h<sub>c</sub></th> <th>BT</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> <th>Weight (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>170</td><td>220</td><td>20</td><td>80.0</td><td>10</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>65</td><td>190</td><td>240</td><td>20</td><td>85.0</td><td>10</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>80</td><td>210</td><td>260</td><td>20</td><td>90.0</td><td>10</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>100</td><td>250</td><td>300</td><td>20</td><td>100.0</td><td>10</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>125</td><td>300</td><td>350</td><td>20</td><td>110.0</td><td>10</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td></tr> <tr><td>150</td><td>350</td><td>400</td><td>20</td><td>120.0</td><td>10</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td></tr> <tr><td>175</td><td>400</td><td>450</td><td>20</td><td>130.0</td><td>10</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td><td>55</td></tr> <tr><td>200</td><td>450</td><td>500</td><td>20</td><td>140.0</td><td>10</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>225</td><td>500</td><td>550</td><td>20</td><td>150.0</td><td>10</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>250</td><td>550</td><td>600</td><td>20</td><td>160.0</td><td>10</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>275</td><td>600</td><td>650</td><td>20</td><td>170.0</td><td>10</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td><td>95</td></tr> <tr><td>300</td><td>650</td><td>700</td><td>20</td><td>180.0</td><td>10</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td><td>105</td></tr> <tr><td>325</td><td>700</td><td>750</td><td>20</td><td>190.0</td><td>10</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td><td>115</td></tr> <tr><td>350</td><td>750</td><td>800</td><td>20</td><td>200.0</td><td>10</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td><td>125</td></tr> <tr><td>375</td><td>800</td><td>850</td><td>20</td><td>210.0</td><td>10</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td><td>135</td></tr> <tr><td>400</td><td>850</td><td>900</td><td>20</td><td>220.0</td><td>10</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td><td>145</td></tr> <tr><td>425</td><td>900</td><td>950</td><td>20</td><td>230.0</td><td>10</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td><td>155</td></tr> <tr><td>450</td><td>950</td><td>1000</td><td>20</td><td>240.0</td><td>10</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td><td>165</td></tr> <tr><td>475</td><td>1000</td><td>1050</td><td>20</td><td>250.0</td><td>10</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td><td>175</td></tr> <tr><td>500</td><td>1050</td><td>1100</td><td>20</td><td>260.0</td><td>10</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td><td>185</td></tr> <tr><td>525</td><td>1100</td><td>1150</td><td>20</td><td>270.0</td><td>10</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td><td>195</td></tr> <tr><td>550</td><td>1150</td><td>1200</td><td>20</td><td>280.0</td><td>10</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td><td>205</td></tr> <tr><td>575</td><td>1200</td><td>1250</td><td>20</td><td>290.0</td><td>10</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td></tr> <tr><td>600</td><td>1250</td><td>1300</td><td>20</td><td>300.0</td><td>10</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td><td>225</td></tr> <tr><td>625</td><td>1300</td><td>1350</td><td>20</td><td>310.0</td><td>10</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td><td>235</td></tr> <tr><td>650</td><td>1350</td><td>1400</td><td>20</td><td>320.0</td><td>10</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td><td>245</td></tr> <tr><td>675</td><td>1400</td><td>1450</td><td>20</td><td>330.0</td><td>10</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td><td>255</td></tr> <tr><td>700</td><td>1450</td><td>1500</td><td>20</td><td>340.0</td><td>10</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td><td>265</td></tr> <tr><td>725</td><td>1500</td><td>1550</td><td>20</td><td>350.0</td><td>10</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td><td>275</td></tr> <tr><td>750</td><td>1550</td><td>1600</td><td>20</td><td>360.0</td><td>10</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td><td>285</td></tr> <tr><td>775</td><td>1600</td><td>1650</td><td>20</td><td>370.0</td><td>10</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td><td>295</td></tr> <tr><td>800</td><td>1650</td><td>1700</td><td>20</td><td>380.0</td><td>10</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td><td>305</td></tr> </tbody> </table>			DN	L	H	h <sub>o</sub>	h <sub>c</sub>	BT	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	50	170	220	20	80.0	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	65	190	240	20	85.0	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	80	210	260	20	90.0	10	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	100	250	300	20	100.0	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	125	300	350	20	110.0	10	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	150	350	400	20	120.0	10	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	175	400	450	20	130.0	10	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	200	450	500	20	140.0	10	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	225	500	550	20	150.0	10	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	250	550	600	20	160.0	10	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	275	600	650	20	170.0	10	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	300	650	700	20	180.0	10	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	325	700	750	20	190.0	10	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	350	750	800	20	200.0	10	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	375	800	850	20	210.0	10	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	400	850	900	20	220.0	10	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	425	900	950	20	230.0	10	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	450	950	1000	20	240.0	10	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	475	1000	1050	20	250.0	10	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	500	1050	1100	20	260.0	10	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	525	1100	1150	20	270.0	10	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	550	1150	1200	20	280.0	10	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	575	1200	1250	20	290.0	10	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	600	1250	1300	20	300.0	10	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	625	1300	1350	20	310.0	10	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	650	1350	1400	20	320.0	10	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	675	1400	1450	20	330.0	10	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	700	1450	1500	20	340.0	10	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	725	1500	1550	20	350.0	10	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	750	1550	1600	20	360.0	10	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	775	1600	1650	20	370.0	10	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	800	1650	1700	20	380.0	10	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305
DN	L	H	h <sub>o</sub>	h <sub>c</sub>	BT	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
50	170	220	20	80.0	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
65	190	240	20	85.0	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
80	210	260	20	90.0	10	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
100	250	300	20	100.0	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
125	300	350	20	110.0	10	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
150	350	400	20	120.0	10	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
175	400	450	20	130.0	10	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
200	450	500	20	140.0	10	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
225	500	550	20	150.0	10	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
250	550	600	20	160.0	10	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
275	600	650	20	170.0	10	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
300	650	700	20	180.0	10	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
325	700	750	20	190.0	10	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
350	750	800	20	200.0	10	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
375	800	850	20	210.0	10	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
400	850	900	20	220.0	10	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
425	900	950	20	230.0	10	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
450	950	1000	20	240.0	10	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
475	1000	1050	20	250.0	10	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
500	1050	1100	20	260.0	10	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
525	1100	1150	20	270.0	10	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
550	1150	1200	20	280.0	10	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
575	1200	1250	20	290.0	10	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
600	1250	1300	20	300.0	10	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
625	1300	1350	20	310.0	10	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
650	1350	1400	20	320.0	10	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
675	1400	1450	20	330.0	10	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
700	1450	1500	20	340.0	10	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
725	1500	1550	20	350.0	10	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
750	1550	1600	20	360.0	10	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
775	1600	1650	20	370.0	10	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
800	1650	1700	20	380.0	10	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<p><b>WORKING CONDITIONS</b></p> <p>Maximum working pressure : DN 50-250 : 10 bar.                  DN 300-450 : 7 bar.                  DN 500-800 : 4 bar.</p> <p>Maximum temperature : -10°C / +80°C                  (Standard tightness).</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>Others materials on request (if marked)</th> <th>Maximum temperature</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Metal / metal</td> <td>T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>White nitril</td> <td>T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>EPDM</td> <td>T max : -10°C / +130°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Silicone</td> <td>T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>FPM (Type Viton®)</td> <td>T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>PTFE***</td> <td>T max : +4°C / +170°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>CSM (Type Hypalon®)</td> <td>T max : +4°C / +80°C. <input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <p>*** Minimum working pressure : 1 bar</p>			Others materials on request (if marked)	Maximum temperature	Metal / metal	T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/>	White nitril	T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/>	EPDM	T max : -10°C / +130°C. <input type="checkbox"/>	Silicone	T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/>	FPM (Type Viton®)	T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/>	PTFE***	T max : +4°C / +170°C. <input type="checkbox"/>	CSM (Type Hypalon®)	T max : +4°C / +80°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Others materials on request (if marked)	Maximum temperature																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Metal / metal	T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
White nitril	T max : -10°C / +80°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
EPDM	T max : -10°C / +130°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Silicone	T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FPM (Type Viton®)	T max : -10°C / +170°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
PTFE***	T max : +4°C / +170°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
CSM (Type Hypalon®)	T max : +4°C / +80°C. <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<p><b>STANDARDS</b></p> <p>Manufacture according to the requirements of the European directive 2014/68/UE "Equipments under pressure" : modulate H.                  Test procedures are established according to standards EN12266-1, DIN 3230, BS 5154 and ISO 5208.                  Connections between flanges according to standard EN 1092-2 et DIN 2501 : ISO PN10.</p> <p>Tecofi France - 83, Rue Marcel Mérieux 69960 Corbas - FRANCE                  Tél. +33 (0) 4 72 79 05 79 - Fax +33 (0) 4 78 90 19 19 / +33 (0) 4 72 79 05 70                  Adresses e-mail : sales@tecofi.fr ; tecofi@tecofi.fr / Site web : www.tecofi.fr</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

The photographs and technical drawings are not contractual. The specifications of the presented products are open to modifications without previous advice.



**Anexo C – Dados de ETAR de Miranda do Corvo com cálculos efetuados**

Data	m3/dia	m3/h	l/s	Diferença Q entrada e Q saída	Tempo de enchimento do depósito [s]	Número de vezes que depósito enche em 1 dia	Horas de trabalho num dia	Energia produzida [kWh]
1/1/2023 0:00	4523.45	188.48	52.35	7.35				72.00
1/2/2023 0:00	5172.52	215.52	59.87	14.87				72.00
1/3/2023 0:00	5346.41	222.77	61.88	16.88				72.00
1/4/2023 0:00	5122.16	213.42	59.28	14.28				72.00
1/5/2023 0:00	4954.72	206.45	57.35	12.35				72.00
1/6/2023 0:00	4431.86	184.66	51.29	6.29				72.00
1/7/2023 0:00	4158.90	173.29	48.14	3.14				72.00
1/8/2023 0:00	4158.90	173.29	48.14	3.14				72.00
1/9/2023 0:00	4804.89	200.20	55.61	10.61				72.00
1/10/2023 0:00	5324.17	221.84	61.62	16.62				72.00
1/11/2023 0:00	5329.53	222.06	61.68	16.68				72.00
1/12/2023 0:00	5335.98	222.33	61.76	16.76				72.00
1/13/2023 0:00	4754.64	198.11	55.03	10.03				72.00
1/14/2023 0:00	4424.20	184.34	51.21	6.21				72.00
1/15/2023 0:00	4424.20	184.34	51.21	6.21				72.00
1/16/2023 0:00	4849.26	202.05	56.13	11.13				72.00
1/17/2023 0:00	5240.87	218.37	60.66	15.66				72.00
1/18/2023 0:00	5350.62	222.94	61.93	16.93				72.00
1/19/2023 0:00	5286.82	220.28	61.19	16.19				72.00
1/20/2023 0:00	5320.36	221.68	61.58	16.58				72.00
1/21/2023 0:00	5383.53	224.31	62.31	17.31				72.00

1/22/2023 0:00	5383.53	224.31	62.31	17.31				72.00
1/23/2023 0:00	5372.79	223.87	62.19	17.19				72.00
1/24/2023 0:00	5299.59	220.82	61.34	16.34				72.00
1/25/2023 0:00	5141.88	214.25	59.51	14.51				72.00
1/26/2023 0:00	4766.19	198.59	55.16	10.16				72.00
1/27/2023 0:00	4310.95	179.62	49.90	4.90				72.00
1/28/2023 0:00	4042.28	168.43	46.79	1.79				72.00
1/29/2023 0:00	4042.28	168.43	46.79	1.79				72.00
1/30/2023 0:00	3720.78	155.03	43.06	-1.94				50.00
1/31/2023 0:00	3474.29	144.76	40.21	-4.79				50.00
2/1/2023 0:00	3401.52	141.73	39.37	-5.63				40.00
2/2/2023 0:00	3344.32	139.35	38.71	-6.29				40.00
2/3/2023 0:00	3158.49	131.60	36.56	-8.44				40.00
2/4/2023 0:00	3047.57	126.98	35.27	-9.73				40.00
2/5/2023 0:00	3047.57	126.98	35.27	-9.73				40.00
2/6/2023 0:00	2959.65	123.32	34.26	-10.74				36.00
2/7/2023 0:00	2854.84	118.95	33.04	-11.96				36.00
2/8/2023 0:00	2711.75	112.99	31.39	-13.61				36.00
2/9/2023 0:00	2604.69	108.53	30.15	-14.85				36.00
2/10/2023 0:00	2555.55	106.48	29.58	-15.42	135.23	385.65	9.52	28.57
2/11/2023 0:00	2522.05	105.09	29.19	-15.81	137.03	382.59	9.45	28.34
2/12/2023 0:00	2522.05	105.09	29.19	-15.81	137.03	382.59	9.45	28.34
2/13/2023 0:00	2435.78	101.49	28.19	-16.81	141.89	374.54	9.25	27.74
2/14/2023 0:00	2348.33	97.85	27.18	-17.82	147.17	366.15	9.04	27.12
2/15/2023 0:00	2315.25	96.47	26.80	-18.20	149.27	362.92	8.96	26.88
2/16/2023 0:00	2303.25	95.97	26.66	-18.34	150.05	361.73	8.93	26.80
2/17/2023 0:00	2280.28	95.01	26.39	-18.61	151.56	359.46	8.88	26.63
2/18/2023 0:00	2276.34	94.85	26.35	-18.65	151.82	359.07	8.87	26.60

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

2/19/2023 0:00	2276.34	94.85	26.35	-18.65	151.82	359.07	8.87	26.60
2/20/2023 0:00	2202.89	91.79	25.50	-19.50	156.88	351.67	8.68	26.05
2/21/2023 0:00	2156.34	89.85	24.96	-20.04	160.27	346.89	8.57	25.70
2/22/2023 0:00	1875.01	78.13	21.70	-23.30	184.32	316.35	7.81	23.43
2/23/2023 0:00	1971.58	82.15	22.82	-22.18	175.29	327.16	8.08	24.23
2/24/2023 0:00	2276.65	94.86	26.35	-18.65	151.80	359.10	8.87	26.60
2/25/2023 0:00	2071.11	86.30	23.97	-21.03	166.87	337.94	8.34	25.03
2/26/2023 0:00	2071.11	86.30	23.97	-21.03	166.87	337.94	8.34	25.03
2/27/2023 0:00	2100.07	87.50	24.31	-20.69	164.57	341.01	8.42	25.26
2/28/2023 0:00	2089.76	87.07	24.19	-20.81	165.38	339.92	8.39	25.18
3/1/2023 0:00	2056.27	85.68	23.80	-21.20	168.07	336.36	8.31	24.92
3/2/2023 0:00	2020.46	84.19	23.38	-21.62	171.05	332.50	8.21	24.63
3/3/2023 0:00	1798.13	74.92	20.81	-24.19	192.20	307.47	7.59	22.78
3/4/2023 0:00	1674.54	69.77	19.38	-25.62	206.38	292.70	7.23	21.68
3/5/2023 0:00	1674.54	69.77	19.38	-25.62	206.38	292.70	7.23	21.68
3/6/2023 0:00	1395.27	58.14	16.15	-28.85	247.69	256.77	6.34	19.02
3/7/2023 0:00	1730.95	72.12	20.03	-24.97	199.66	299.52	7.40	22.19
3/8/2023 0:00	2828.53	117.86	32.74	-12.26				36.00
3/9/2023 0:00	3050.82	127.12	35.31	-9.69				40.00
3/10/2023 0:00	2611.02	108.79	30.22	-14.78				36.00
3/11/2023 0:00	2481.22	103.38	28.72	-16.28	139.29	378.80	9.35	28.06
3/12/2023 0:00	2481.22	103.38	28.72	-16.28	139.29	378.80	9.35	28.06
3/13/2023 0:00	2408.04	100.34	27.87	-17.13	143.52	371.90	9.18	27.55
3/14/2023 0:00	2023.53	84.31	23.42	-21.58	170.79	332.83	8.22	24.65
3/15/2023 0:00	2065.47	86.06	23.91	-21.09	167.32	337.34	8.33	24.99
3/16/2023 0:00	2338.19	97.42	27.06	-17.94	147.81	365.16	9.02	27.05
3/17/2023 0:00	2510.86	104.62	29.06	-15.94	137.64	381.55	9.42	28.26
3/18/2023 0:00	2602.77	108.45	30.12	-14.88				36.00

3/19/2023 0:00	2602.77	108.45	30.12	-14.88				36.00
3/20/2023 0:00	2432.67	101.36	28.16	-16.84	142.07	374.24	9.24	27.72
3/21/2023 0:00	2277.45	94.89	26.36	-18.64	151.75	359.18	8.87	26.61
3/22/2023 0:00	2206.21	91.93	25.53	-19.47	156.65	352.01	8.69	26.07
3/23/2023 0:00	2162.87	90.12	25.03	-19.97	159.79	347.56	8.58	25.75
3/24/2023 0:00	2175.93	90.66	25.18	-19.82	158.83	348.91	8.62	25.85
3/25/2023 0:00	2189.50	91.23	25.34	-19.66	157.84	350.30	8.65	25.95
3/26/2023 0:00	2098.27	87.43	24.29	-20.71	164.71	340.82	8.42	25.25
3/27/2023 0:00	2069.95	86.25	23.96	-21.04	166.96	337.82	8.34	25.02
3/28/2023 0:00	1955.75	81.49	22.64	-22.36	176.71	325.41	8.03	24.10
3/29/2023 0:00	1899.89	79.16	21.99	-23.01	181.91	319.17	7.88	23.64
3/30/2023 0:00	1871.48	77.98	21.66	-23.34	184.67	315.94	7.80	23.40
3/31/2023 0:00	1984.38	82.68	22.97	-22.03	174.16	328.57	8.11	24.34
4/1/2023 0:00	2052.96	85.54	23.76	-21.24	168.34	336.00	8.30	24.89
4/2/2023 0:00	2052.96	85.54	23.76	-21.24	168.34	336.00	8.30	24.89
4/3/2023 0:00	1956.00	81.50	22.64	-22.36	176.69	325.44	8.04	24.11
4/4/2023 0:00	1852.56	77.19	21.44	-23.56	186.55	313.78	7.75	23.24
4/5/2023 0:00	1860.66	77.53	21.54	-23.46	185.74	314.71	7.77	23.31
4/6/2023 0:00	1893.60	78.90	21.92	-23.08	182.51	318.46	7.86	23.59
4/7/2023 0:00	1911.14	79.63	22.12	-22.88	180.83	320.43	7.91	23.74
4/8/2023 0:00	1911.14	79.63	22.12	-22.88	180.83	320.43	7.91	23.74
4/9/2023 0:00	1911.14	79.63	22.12	-22.88	180.83	320.43	7.91	23.74
4/10/2023 0:00	1865.25	77.72	21.59	-23.41	185.28	315.23	7.78	23.35
4/11/2023 0:00	1876.17	78.17	21.71	-23.29	184.20	316.48	7.81	23.44
4/12/2023 0:00	1893.51	78.90	21.92	-23.08	182.52	318.44	7.86	23.59
4/13/2023 0:00	1797.70	74.90	20.81	-24.19	192.25	307.42	7.59	22.77
4/14/2023 0:00	1792.92	74.71	20.75	-24.25	192.76	306.86	7.58	22.73
4/15/2023 0:00	1816.81	75.70	21.03	-23.97	190.22	309.65	7.65	22.94

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

4/16/2023 0:00	1816.81	75.70	21.03	-23.97	190.22	309.65	7.65	22.94
4/17/2023 0:00	1734.42	72.27	20.07	-24.93	199.26	299.94	7.41	22.22
4/18/2023 0:00	1695.76	70.66	19.63	-25.37	203.80	295.28	7.29	21.87
4/19/2023 0:00	1684.01	70.17	19.49	-25.51	205.22	293.85	7.26	21.77
4/20/2023 0:00	1642.11	68.42	19.01	-25.99	210.46	288.71	7.13	21.39
4/21/2023 0:00	1912.32	79.68	22.13	-22.87	180.72	320.57	7.92	23.75
4/22/2023 0:00	2107.51	87.81	24.39	-20.61	163.98	341.79	8.44	25.32
4/23/2023 0:00	2107.51	87.81	24.39	-20.61	163.98	341.79	8.44	25.32
4/24/2023 0:00	1869.24	77.89	21.63	-23.37	184.89	315.69	7.79	23.38
4/25/2023 0:00	1718.51	71.60	19.89	-25.11	201.10	298.03	7.36	22.08
4/26/2023 0:00	1696.13	70.67	19.63	-25.37	203.76	295.33	7.29	21.88
4/27/2023 0:00	1607.50	66.98	18.61	-26.39	214.99	284.40	7.02	21.07
4/28/2023 0:00	1544.59	64.36	17.88	-27.12	223.75	276.44	6.83	20.48
4/29/2023 0:00	1569.88	65.41	18.17	-26.83	220.14	279.66	6.91	20.72
4/30/2023 0:00	1569.88	65.41	18.17	-26.83	220.14	279.66	6.91	20.72
5/1/2023 0:00	1569.88	65.41	18.17	-26.83	220.14	279.66	6.91	20.72
5/2/2023 0:00	1527.95	63.66	17.68	-27.32	226.19	274.30	6.77	20.32
5/3/2023 0:00	1518.79	63.28	17.58	-27.42	227.55	273.12	6.74	20.23
5/4/2023 0:00	1474.49	61.44	17.07	-27.93	234.39	267.34	6.60	19.80
5/5/2023 0:00	1443.13	60.13	16.70	-28.30	239.48	263.19	6.50	19.50
5/6/2023 0:00	1445.86	60.24	16.73	-28.27	239.03	263.55	6.51	19.52
5/7/2023 0:00	1445.86	60.24	16.73	-28.27	239.03	263.55	6.51	19.52
5/8/2023 0:00	1436.50	59.85	16.63	-28.37	240.58	262.31	6.48	19.43
5/9/2023 0:00	1430.70	59.61	16.56	-28.44	241.56	261.53	6.46	19.37
5/10/2023 0:00	1413.94	58.91	16.37	-28.63	244.42	259.29	6.40	19.21
5/11/2023 0:00	1415.46	58.98	16.38	-28.62	244.16	259.49	6.41	19.22
5/12/2023 0:00	1393.42	58.06	16.13	-28.87	248.02	256.51	6.33	19.00
5/13/2023 0:00	1364.62	56.86	15.79	-29.21	253.26	252.59	6.24	18.71

*Tiago Elias Hanna Gouveia*

5/14/2023 0:00	1364.62	56.86	15.79	-29.21	253.26	252.59	6.24	18.71
5/15/2023 0:00	1343.78	55.99	15.55	-29.45	257.18	249.72	6.17	18.50
5/16/2023 0:00	1315.30	54.80	15.22	-29.78	262.75	245.77	6.07	18.20
5/17/2023 0:00	1308.91	54.54	15.15	-29.85	264.04	244.87	6.05	18.14
5/18/2023 0:00	1291.70	53.82	14.95	-30.05	267.55	242.46	5.99	17.96
5/19/2023 0:00	1234.31	51.43	14.29	-30.71	279.99	234.28	5.78	17.35
5/20/2023 0:00	1198.69	49.95	13.87	-31.13	288.31	229.11	5.66	16.97
5/21/2023 0:00	1198.69	49.95	13.87	-31.13	288.31	229.11	5.66	16.97
5/22/2023 0:00	1358.20	56.59	15.72	-29.28	254.45	251.71	6.22	18.65
5/23/2023 0:00	1514.10	63.09	17.52	-27.48	228.25	272.51	6.73	20.19
5/24/2023 0:00	1691.69	70.49	19.58	-25.42	204.29	294.79	7.28	21.84
5/25/2023 0:00	1500.64	62.53	17.37	-27.63	230.30	270.76	6.69	20.06
5/26/2023 0:00	2035.42	84.81	23.56	-21.44	169.79	334.12	8.25	24.75
5/27/2023 0:00	2556.14	106.51	29.58	-15.42	135.20	385.71	9.52	28.57
5/28/2023 0:00	2556.14	106.51	29.58	-15.42	135.20	385.71	9.52	28.57
5/29/2023 0:00	3508.55	146.19	40.61	-4.39				50.00
5/30/2023 0:00	3273.92	136.41	37.89	-7.11				40.00
5/31/2023 0:00	2102.71	87.61	24.34	-20.66	164.36	341.29	8.43	25.28
6/1/2023 0:00	1841.76	76.74	21.32	-23.68	187.65	312.54	7.72	23.15
6/2/2023 0:00	1709.16	71.22	19.78	-25.22	202.20	296.90	7.33	21.99
6/3/2023 0:00	1665.05	69.38	19.27	-25.73	207.56	291.54	7.20	21.60
6/4/2023 0:00	1665.05	69.38	19.27	-25.73	207.56	291.54	7.20	21.60
6/5/2023 0:00	1585.00	66.04	18.34	-26.66	218.04	281.58	6.95	20.86
6/6/2023 0:00	1531.89	63.83	17.73	-27.27	225.60	274.81	6.79	20.36
6/7/2023 0:00	1671.73	69.66	19.35	-25.65	206.73	292.35	7.22	21.66
6/8/2023 0:00	1760.55	73.36	20.38	-24.62	196.30	303.05	7.48	22.45
6/9/2023 0:00	1756.30	73.18	20.33	-24.67	196.78	302.55	7.47	22.41
6/10/2023 0:00	1753.41	73.06	20.29	-24.71	197.10	302.20	7.46	22.39

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

6/11/2023 0:00	1753.41	73.06	20.29	-24.71	197.10	302.20	7.46	22.39
6/12/2023 0:00	2027.49	84.48	23.47	-21.53	170.46	333.26	8.23	24.69
6/13/2023 0:00	2049.59	85.40	23.72	-21.28	168.62	335.64	8.29	24.86
6/14/2023 0:00	1742.89	72.62	20.17	-24.83	198.29	300.95	7.43	22.29
6/15/2023 0:00	1608.53	67.02	18.62	-26.38	214.86	284.53	7.03	21.08
6/16/2023 0:00	1551.65	64.65	17.96	-27.04	222.73	277.34	6.85	20.54
6/17/2023 0:00	1514.11	63.09	17.52	-27.48	228.25	272.51	6.73	20.19
6/18/2023 0:00	1514.11	63.09	17.52	-27.48	228.25	272.51	6.73	20.19
6/19/2023 0:00	1608.40	67.02	18.62	-26.38	214.87	284.52	7.03	21.08
6/20/2023 0:00	1550.69	64.61	17.95	-27.05	222.87	277.22	6.84	20.53
6/21/2023 0:00	1501.47	62.56	17.38	-27.62	230.17	270.87	6.69	20.06
6/22/2023 0:00	1472.97	61.37	17.05	-27.95	234.63	267.14	6.60	19.79
6/23/2023 0:00	1401.73	58.41	16.22	-28.78	246.55	257.64	6.36	19.08
6/24/2023 0:00	1363.82	56.83	15.79	-29.21	253.40	252.48	6.23	18.70
6/25/2023 0:00	1363.82	56.83	15.79	-29.21	253.40	252.48	6.23	18.70
6/26/2023 0:00	1340.42	55.85	15.51	-29.49	257.83	249.26	6.15	18.46
6/27/2023 0:00	1314.38	54.77	15.21	-29.79	262.94	245.64	6.07	18.20
6/28/2023 0:00	1312.90	54.70	15.20	-29.80	263.23	245.43	6.06	18.18
6/29/2023 0:00	1342.08	55.92	15.53	-29.47	257.51	249.49	6.16	18.48
6/30/2023 0:00	1318.01	54.92	15.25	-29.75	262.21	246.14	6.08	18.23
7/1/2023 0:00	1239.67	51.65	14.35	-30.65	278.78	235.05	5.80	17.41
7/2/2023 0:00	1239.67	51.65	14.35	-30.65	278.78	235.05	5.80	17.41
7/3/2023 0:00	1205.71	50.24	13.96	-31.04	286.63	230.13	5.68	17.05
7/4/2023 0:00	1185.19	49.38	13.72	-31.28	291.60	227.13	5.61	16.82
7/5/2023 0:00	1218.19	50.76	14.10	-30.90	283.70	231.95	5.73	17.18
7/6/2023 0:00	1212.29	50.51	14.03	-30.97	285.08	231.09	5.71	17.12
7/7/2023 0:00	1169.70	48.74	13.54	-31.46	295.46	224.85	5.55	16.66
7/8/2023 0:00	1156.34	48.18	13.38	-31.62	298.87	222.87	5.50	16.51

*Tiago Elias Hanna Gouveia*

7/9/2023 0:00	1156.34	48.18	13.38	-31.62	298.87	222.87	5.50	16.51
7/10/2023 0:00	1150.96	47.96	13.32	-31.68	300.27	222.07	5.48	16.45
7/11/2023 0:00	1135.20	47.30	13.14	-31.86	304.44	219.71	5.43	16.28
7/12/2023 0:00	1107.71	46.15	12.82	-32.18	312.00	215.57	5.32	15.97
7/13/2023 0:00	1073.08	44.71	12.42	-32.58	322.06	210.29	5.19	15.58
7/14/2023 0:00	1071.61	44.65	12.40	-32.60	322.51	210.06	5.19	15.56
7/15/2023 0:00	1071.89	44.66	12.41	-32.59	322.42	210.11	5.19	15.56
7/16/2023 0:00	1071.89	44.66	12.41	-32.59	322.42	210.11	5.19	15.56
7/17/2023 0:00	1063.62	44.32	12.31	-32.69	324.93	208.83	5.16	15.47
7/18/2023 0:00	1124.45	46.85	13.01	-31.99	307.35	218.10	5.39	16.16
7/19/2023 0:00	1222.30	50.93	14.15	-30.85	282.75	232.54	5.74	17.23
7/20/2023 0:00	1308.44	54.52	15.14	-29.86	264.13	244.81	6.04	18.13
7/21/2023 0:00	833.46	34.73	9.65	-35.35	414.65	171.61	4.24	12.71
7/22/2023 0:00	550.56	22.94	6.37	-38.63	627.73	120.58	2.98	8.93
7/23/2023 0:00	550.56	22.94	6.37	-38.63	627.73	120.58	2.98	8.93
7/24/2023 0:00	988.54	41.19	11.44	-33.56	349.61	197.08	4.87	14.60
7/25/2023 0:00	1266.87	52.79	14.66	-30.34	272.80	238.94	5.90	17.70
7/26/2023 0:00	1303.70	54.32	15.09	-29.91	265.09	244.14	6.03	18.08
7/27/2023 0:00	1114.11	46.42	12.89	-32.11	310.20	216.54	5.35	16.04
7/28/2023 0:00	881.27	36.72	10.20	-34.80	392.16	179.64	4.44	13.31
7/29/2023 0:00	1290.15	53.76	14.93	-30.07	267.88	242.24	5.98	17.94
7/30/2023 0:00	1290.15	53.76	14.93	-30.07	267.88	242.24	5.98	17.94
7/31/2023 0:00	1264.31	52.68	14.63	-30.37	273.35	238.57	5.89	17.67
8/1/2023 0:00	1261.73	52.57	14.60	-30.40	273.91	238.21	5.88	17.64
8/2/2023 0:00	1303.73	54.32	15.09	-29.91	265.09	244.15	6.03	18.08
8/3/2023 0:00	1294.49	53.94	14.98	-30.02	266.98	242.85	6.00	17.99
8/4/2023 0:00	1233.03	51.38	14.27	-30.73	280.28	234.09	5.78	17.34
8/5/2023 0:00	1228.98	51.21	14.22	-30.78	281.21	233.51	5.77	17.30

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

8/6/2023 0:00	1228.98	51.21	14.22	-30.78	281.21	233.51	5.77	17.30
8/7/2023 0:00	1236.32	51.51	14.31	-30.69	279.54	234.57	5.79	17.38
8/8/2023 0:00	1242.92	51.79	14.39	-30.61	278.05	235.52	5.82	17.45
8/9/2023 0:00	1268.72	52.86	14.68	-30.32	272.40	239.20	5.91	17.72
8/10/2023 0:00	1295.60	53.98	15.00	-30.00	266.75	243.00	6.00	18.00
8/11/2023 0:00	1275.81	53.16	14.77	-30.23	270.89	240.21	5.93	17.79
8/12/2023 0:00	1257.46	52.39	14.55	-30.45	274.84	237.60	5.87	17.60
8/13/2023 0:00	1257.46	52.39	14.55	-30.45	274.84	237.60	5.87	17.60
8/14/2023 0:00	1168.61	48.69	13.53	-31.47	295.74	224.69	5.55	16.64
8/15/2023 0:00	1107.74	46.16	12.82	-32.18	311.99	215.58	5.32	15.97
8/16/2023 0:00	1168.73	48.70	13.53	-31.47	295.71	224.70	5.55	16.64
8/17/2023 0:00	1222.16	50.92	14.15	-30.85	282.78	232.52	5.74	17.22
8/18/2023 0:00	1189.43	49.56	13.77	-31.23	290.56	227.75	5.62	16.87
8/19/2023 0:00	1160.30	48.35	13.43	-31.57	297.85	223.46	5.52	16.55
8/20/2023 0:00	1160.30	48.35	13.43	-31.57	297.85	223.46	5.52	16.55
8/21/2023 0:00	1147.87	47.83	13.29	-31.71	301.08	221.61	5.47	16.42
8/22/2023 0:00	1135.36	47.31	13.14	-31.86	304.40	219.74	5.43	16.28
8/23/2023 0:00	1138.52	47.44	13.18	-31.82	303.55	220.21	5.44	16.31
8/24/2023 0:00	1130.56	47.11	13.09	-31.91	305.69	219.02	5.41	16.22
8/25/2023 0:00	1167.62	48.65	13.51	-31.49	295.99	224.54	5.54	16.63
8/26/2023 0:00	1195.68	49.82	13.84	-31.16	289.04	228.67	5.65	16.94
8/27/2023 0:00	1195.68	49.82	13.84	-31.16	289.04	228.67	5.65	16.94
8/28/2023 0:00	1241.89	51.75	14.37	-30.63	278.29	235.37	5.81	17.43
8/29/2023 0:00	1270.28	52.93	14.70	-30.30	272.07	239.42	5.91	17.74
8/30/2023 0:00	1336.33	55.68	15.47	-29.53	258.62	248.69	6.14	18.42
8/31/2023 0:00	1373.18	57.22	15.89	-29.11	251.68	253.76	6.27	18.80
9/1/2023 0:00	1316.93	54.87	15.24	-29.76	262.43	245.99	6.07	18.22
9/2/2023 0:00	1280.17	53.34	14.82	-30.18	269.96	240.83	5.95	17.84

*Tiago Elias Hanna Gouveia*

9/3/2023 0:00	1280.17	53.34	14.82	-30.18	269.96	240.83	5.95	17.84
9/4/2023 0:00	1257.58	52.40	14.56	-30.44	274.81	237.61	5.87	17.60
9/5/2023 0:00	1210.30	50.43	14.01	-30.99	285.55	230.80	5.70	17.10
9/6/2023 0:00	1151.23	47.97	13.32	-31.68	300.20	222.11	5.48	16.45
9/7/2023 0:00	1107.30	46.14	12.82	-32.18	312.11	215.51	5.32	15.96
9/8/2023 0:00	1346.51	56.10	15.58	-29.42	256.66	250.10	6.18	18.53
9/9/2023 0:00	1490.75	62.11	17.25	-27.75	231.83	269.47	6.65	19.96
9/10/2023 0:00	1490.75	62.11	17.25	-27.75	231.83	269.47	6.65	19.96
9/11/2023 0:00	1402.53	58.44	16.23	-28.77	246.41	257.75	6.36	19.09
9/12/2023 0:00	1288.11	53.67	14.91	-30.09	268.30	241.95	5.97	17.92
9/13/2023 0:00	1208.21	50.34	13.98	-31.02	286.04	230.50	5.69	17.07
9/14/2023 0:00	1225.02	51.04	14.18	-30.82	282.12	232.94	5.75	17.25
9/15/2023 0:00	1257.61	52.40	14.56	-30.44	274.81	237.62	5.87	17.60
9/16/2023 0:00	1254.35	52.26	14.52	-30.48	275.52	237.15	5.86	17.57
9/17/2023 0:00	1254.35	52.26	14.52	-30.48	275.52	237.15	5.86	17.57
9/18/2023 0:00	1281.69	53.40	14.83	-30.17	269.64	241.04	5.95	17.85
9/19/2023 0:00	1267.07	52.79	14.67	-30.33	272.75	238.97	5.90	17.70
9/20/2023 0:00	1404.72	58.53	16.26	-28.74	246.03	258.04	6.37	19.11
9/21/2023 0:00	1660.66	69.19	19.22	-25.78	208.11	291.00	7.19	21.56
9/22/2023 0:00	1468.20	61.17	16.99	-28.01	235.39	266.51	6.58	19.74
9/23/2023 0:00	1277.46	53.23	14.79	-30.21	270.54	240.44	5.94	17.81
9/24/2023 0:00	1277.46	53.23	14.79	-30.21	270.54	240.44	5.94	17.81
9/25/2023 0:00	1217.96	50.75	14.10	-30.90	283.75	231.91	5.73	17.18
9/26/2023 0:00	1148.26	47.84	13.29	-31.71	300.98	221.67	5.47	16.42
9/27/2023 0:00	989.99	41.25	11.46	-33.54	349.10	197.31	4.87	14.62
9/28/2023 0:00	1055.02	43.96	12.21	-32.79	327.58	207.50	5.12	15.37
9/29/2023 0:00	1113.49	46.40	12.89	-32.11	310.37	216.45	5.34	16.03
9/30/2023 0:00	1085.38	45.22	12.56	-32.44	318.41	212.17	5.24	15.72

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

10/1/2023 0:00	1085.38	45.22	12.56	-32.44	318.41	212.17	5.24	15.72
10/2/2023 0:00	1058.02	44.08	12.25	-32.75	326.65	207.97	5.14	15.41
10/3/2023 0:00	1060.92	44.21	12.28	-32.72	325.75	208.42	5.15	15.44
10/4/2023 0:00	1103.84	45.99	12.78	-32.22	313.09	214.98	5.31	15.92
10/5/2023 0:00	1123.73	46.82	13.01	-31.99	307.55	217.99	5.38	16.15
10/6/2023 0:00	1120.59	46.69	12.97	-32.03	308.41	217.52	5.37	16.11
10/7/2023 0:00	1118.03	46.58	12.94	-32.06	309.12	217.13	5.36	16.08
10/8/2023 0:00	1118.03	46.58	12.94	-32.06	309.12	217.13	5.36	16.08
10/9/2023 0:00	1072.64	44.69	12.41	-32.59	322.20	210.22	5.19	15.57
10/10/2023 0:00	1042.73	43.45	12.07	-32.93	331.44	205.60	5.08	15.23
10/11/2023 0:00	1050.31	43.76	12.16	-32.84	329.05	206.77	5.11	15.32
10/12/2023 0:00	1071.48	44.64	12.40	-32.60	322.55	210.04	5.19	15.56
10/13/2023 0:00	1091.22	45.47	12.63	-32.37	316.71	213.07	5.26	15.78
10/14/2023 0:00	1097.12	45.71	12.70	-32.30	315.01	213.96	5.28	15.85
10/15/2023 0:00	1097.12	45.71	12.70	-32.30	315.01	213.96	5.28	15.85
10/16/2023 0:00	1390.05	57.92	16.09	-28.91	248.62	256.06	6.32	18.97
10/17/2023 0:00	2261.36	94.22	26.17	-18.83	152.83	357.57	8.83	26.49
10/18/2023 0:00	3821.31	159.22	44.23	-0.77				50.00
10/19/2023 0:00	6433.92	268.08	74.47					
10/20/2023 0:00	5530.83	230.45	64.01					
10/21/2023 0:00	3968.23	165.34	45.93	0.93				72.00
10/22/2023 0:00	3968.23	165.34	45.93	0.93				72.00
10/23/2023 0:00	3037.19	126.55	35.15	-9.85	113.79	426.48	10.53	31.59
10/24/2023 0:00	1193.06	49.71	13.81	-31.19	289.67	228.29	5.64	16.91
10/25/2023 0:00	1755.12	73.13	20.31	-24.69	196.91	302.41	7.47	22.40
10/26/2023 0:00	2575.68	107.32	29.81	-15.19	134.18	387.48	9.57	28.70
10/27/2023 0:00	2526.76	105.28	29.24	-15.76	136.78	383.02	9.46	28.37
10/28/2023 0:00	2873.52	119.73	33.26	-11.74				36.00

10/29/2023 0:00	2993.25	124.72	34.64	-10.36				36.00
10/30/2023 0:00	3661.63	152.57	42.38	-2.62				50.00
10/31/2023 0:00	3605.13	150.21	41.73	-3.27				50.00
11/1/2023 0:00	3247.51	135.31	37.59	-7.41				40.00
11/2/2023 0:00	3791.09	157.96	43.88	-1.12				50.00
11/3/2023 0:00	3539.37	147.47	40.96	-4.04				50.00
11/4/2023 0:00	3143.31	130.97	36.38	-8.62				40.00
11/5/2023 0:00	3143.31	130.97	36.38	-8.62				40.00
11/6/2023 0:00	3366.64	140.28	38.97	-6.03				40.00
11/7/2023 0:00	3558.96	148.29	41.19	-3.81				50.00
11/8/2023 0:00	3701.14	154.21	42.84	-2.16				50.00
11/9/2023 0:00	3218.18	134.09	37.25	-7.75				40.00
11/10/2023 0:00	2791.11	116.30	32.30	-12.70				36.00
11/11/2023 0:00	2738.21	114.09	31.69	-13.31				36.00
11/12/2023 0:00	2738.21	114.09	31.69	-13.31				36.00
11/13/2023 0:00	3652.56	152.19	42.27	-2.73				50.00
11/14/2023 0:00	4238.84	176.62	49.06	4.06				72.00
11/15/2023 0:00	4120.85	171.70	47.70	2.70				72.00
11/16/2023 0:00	3967.11	165.30	45.92	0.92				72.00
11/17/2023 0:00	3413.05	142.21	39.50	-5.50				36.00
11/18/2023 0:00	3054.90	127.29	35.36	-9.64				40.00
11/19/2023 0:00	3054.90	127.29	35.36	-9.64				40.00
11/20/2023 0:00	3131.16	130.47	36.24	-8.76				40.00
11/21/2023 0:00	3503.11	145.96	40.55	-4.45				50.00
11/22/2023 0:00	3559.86	148.33	41.20	-3.80				50.00
11/23/2023 0:00	3065.37	127.72	35.48	-9.52				40.00
11/24/2023 0:00	2467.41	102.81	28.56	-16.44	140.07	377.51	9.32	27.96
11/25/2023 0:00	2219.93	92.50	25.69	-19.31	155.68	353.40	8.73	26.18

*Estudo Técnico-Económico de Instalação de Turbinas em ETAR*

11/26/2023 0:00	2219.93	92.50	25.69	-19.31	155.68	353.40	8.73	26.18
11/27/2023 0:00	2152.83	89.70	24.92	-20.08	160.53	346.53	8.56	25.67
11/28/2023 0:00	2677.07	111.54	30.98	-14.02				36.00
11/29/2023 0:00	3274.43	136.43	37.90	-7.10				40.00
11/30/2023 0:00	3430.77	142.95	39.71	-5.29				40.00
12/1/2023 0:00	3430.77	142.95	39.71	-5.29				40.00
12/2/2023 0:00	3430.77	142.95	39.71	-5.29				40.00
12/3/2023 0:00	3430.77	142.95	39.71	-5.29				40.00
12/4/2023 0:00	3981.63	165.90	46.08	1.08				72.00
12/5/2023 0:00	4059.78	169.16	46.99	1.99				72.00
12/6/2023 0:00	3935.40	163.97	45.55	0.55				72.00
12/7/2023 0:00	4482.00	186.75	51.87	6.87				72.00
12/8/2023 0:00	4852.87	202.20	56.17	11.17				72.00
12/9/2023 0:00	4852.87	202.20	56.17	11.17				72.00
12/10/2023 0:00	4852.87	202.20	56.17	11.17				72.00
12/11/2023 0:00	4852.78	202.20	56.17	11.17				72.00
12/12/2023 0:00	4852.71	202.20	56.17	11.17				72.00
12/13/2023 0:00	4767.10	198.63	55.17	10.17				72.00
12/14/2023 0:00	4634.17	193.09	53.64	8.64				72.00
12/15/2023 0:00	4417.87	184.08	51.13	6.13				72.00
12/16/2023 0:00	4276.99	178.21	49.50	4.50				72.00
12/17/2023 0:00	4276.99	178.21	49.50	4.50				72.00
12/18/2023 0:00	4033.58	168.07	46.68	1.68				72.00
12/19/2023 0:00	3776.82	157.37	43.71	-1.29				50.00
12/20/2023 0:00	3567.64	148.65	41.29	-3.71				50.00
12/21/2023 0:00	3443.83	143.49	39.86	-5.14				40.00
12/22/2023 0:00	3149.25	131.22	36.45	-8.55				40.00
12/23/2023 0:00	3009.15	125.38	34.83	-10.17				36.00

*Tiago Elias Hanna Gouveia*

12/24/2023 0:00	3009.15	125.38	34.83	-10.17	36.00
12/25/2023 0:00	3009.15	125.38	34.83	-10.17	36.00
12/26/2023 0:00	3009.15	125.38	34.83	-10.17	36.00
12/27/2023 0:00	2835.42	118.14	32.82	-12.18	36.00
12/28/2023 0:00	2707.73	112.82	31.34	-13.66	36.00
12/29/2023 0:00	2891.36	120.47	33.46	-11.54	36.00
12/30/2023 0:00	3005.28	125.22	34.78	-10.22	36.00
12/31/2023 0:00	3005.28	125.22	34.78	-10.22	36.00

---

