

Mestrado em Engenharia Química

Ramo Tecnologias de Proteção Ambiental
DEQ

Projeto de uma ETAR para a freguesia de Canelas, Penafiel



Catarina Manuela Azevedo Pinheiro

Disciplina: Dissertação/ Estágio

Trabalho orientado por:

Eng^o Álvaro Pedroso, Penafiel Verde, E.M.

Eng^a Sónia Figueiredo, ISEP

Eng^a Leonilde Morais, ISEP

Porto, Novembro de 2015

Projeto de uma ETAR para a freguesia de Canelas, Penafiel

Catarina Manuela Azevedo Pinheiro

Novembro de 2015

Orientação: Eng.º Álvaro Pedroso, Penafiel Verde, E.M.

Eng.ª Sónia Figueiredo e Eng.ª Leonilde Morais, ISEP

Agradecimentos

Durante estes dois magníficos anos de mestrado foram diversas as pessoas que me apoiaram e me demonstraram o seu afeto. Quero por isso fazer um especial agradecimento à minha mãe e também ao meu pai, por fazerem de mim uma pessoa responsável e com objetivos. Sem eles nada disto seria possível.

Quero agradecer ainda à minha querida irmã que sempre me apoiou e ao meu afilhado Martim. Agradeço ainda ao meu namorado João, que foi incansável, e às minhas grandes amigas Anabela Ramalho e Marisa Ribeiro, simplesmente por existirem.

Agradeço aos meus avós, ao meu cunhado e a toda a restante família que me apoiou.

À empresa Penafiel Verde, E.M. gostaria de agradecer pela oportunidade de desenvolver este projeto, e ao orientador da empresa, o Eng.º Álvaro Pedroso, agradecer a ajuda fornecida e a disponibilidade que demonstrou nas visitas às ETAR's.

Relativamente à instituição de ensino, queria destacar o papel das engenheiras Sónia Figueiredo e Leonilde Morais que sempre se prontificaram a esclarecer qualquer tipo de dúvidas e se certificaram de que tudo estaria a correr da melhor forma!

A todos o meu muito obrigada!

Resumo

O tratamento das águas residuais domésticas surge com o intuito de degradar os poluentes presentes, para que as águas residuais tratadas não prejudiquem o ambiente nem a saúde pública.

O presente trabalho teve como objetivo a conceção e o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) na freguesia de Canelas com a finalidade de substituir a já existente e permitir a ampliação da área da rede de saneamento da freguesia.

Foram considerados dois tipos de ETAR's, compacta e convencional, para tratar águas residuais domésticas de aproximadamente 2000 habitantes, com um caudal médio de 400 m³/dia e um caudal de ponta de 1136,7 m³/dia. Das duas opções optou-se pela convencional uma vez que acarreta um menor investimento, no valor de 187 232 €, e se considera também mais adequada às características do efluente a tratar.

O tratamento escolhido inclui inicialmente uma gradagem, com uma grade constituída por sete barras com um espaçamento de 20 mm entre elas, seguida de um tamisador rotativo com uma abertura de malha de 3 mm. Depois do tamisador, optou-se por um sistema de desarenação/desengorduramento com um volume do tanque de 3,95 m³ e um fluxo de ar de 17,9 m³/h. Na fase seguinte considerou-se um tratamento biológico por lamas ativadas em regime de arejamento prolongado num tanque de arejamento de volume igual a 245,8 m³ com um arejador submerso, seguindo-se um decantador secundário de volume 33,3 m³. Por último, escolheu-se um sistema de desinfecção por ultravioleta e, a montante do mesmo, um filtro rápido para eliminar pequenas partículas que o efluente ainda possa conter. Para a desinfecção foram consideradas duas secções com cinco módulos de duas lâmpadas cada, ou seja, vinte lâmpadas ultravioleta.

Dos resíduos produzidos pelo tratamento da água residual, os gradados e as areias serão encaminhados para aterro, enquanto que as lamas serão enviadas para a ETAR das Termas de S.Vicente, para que sofram o tratamento adequado e sejam encaminhadas para o destino final adequado (aplicação em solos agrícolas, compostagem ou em alternativa para aterro).

No caso da ETAR convencional foi ainda avaliada a possível reutilização de um decantador da ETAR de Milhundos uma vez que esta se encontrava em fase de desativação. Desta avaliação, concluiu-se que não seria economicamente viável o seu reaproveitamento.

Para além disso realizou-se também um levantamento dos principais problemas que ocorrem na maioria das ETAR's e foram apresentadas as respetivas sugestões de resolução. A realização de um inquérito permitiu concluir que os odores são o problema que mais causa incómodo à população.

Palavras-chave: Águas residuais, dimensionamento, efluentes domésticos, estações de tratamento de águas residuais, lamas, poluentes, resíduos.

Abstract

The treatment of the domestic wastewaters aims at degrading the pollutants present, so that the treated wastewaters neither harm the environment or the public health. The present work had as objective the planning and design of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the parish of Canelas with the purpose of replacing the already existent and to allow the enlargement of its sanitation area.

Two types of WWTP's were considered, a compact and a conventional, to treat wastewaters of approximate 2000 inhabitants, with an average flow of 400 m³/day and a peak flow of 1136,7 m³/day. From the two options the conventional was chosen because it represents a smaller investment, which corresponds to a value of 187 232 €.

The chosen treatment includes a screening system initially, constituted by seven bars with an opening screening size of 20 mm among them, following by a rotary drum sieve with an opening of sieve of 3 mm. After this, the effluent follows to a grit /grease removal system with a volume of the tank of 3,95 m³ and an air flow of 17,9 m³/h. In the following phase it has been considered a biological treatment by activated sludge in extended aeration regime into an aeration tank with a volume of 245,8 m³ and an arial jet submerged, being followed by a secondary settling tank of volume 33,3 m³. The last step consists of a disinfection system by ultraviolet and, preceeded by a rapid filter to eliminate small particles that the wastewater can still have. For this disinfection system two sections were considered with five modules of two lamps each, which makes twenty ultraviolet lamps.

The solid wastes produced during the wastewater treatment include the biggest particulates from the screening system and the sands that will be sent to sanitary landfill, while the sludge will be sent to the WWTP of Termas de S.Vicente, so that they suffer the appropriate treatment and final disposal (application in agriculture, composting or sanitary landfill).

For the contional WWTP it was evaluated the possible reuse of a settling tank of the WWTP of Milhundos once it is on desactivation phase. However it was considered not economically viable.

In the aim of this work an inquiry a research about the main problems that occur in WWTP's was performed and some suggestions of solution were presented. From an inquiry to the population it was concluded that the odors are the problem that causes more discomfort to them.

Keywords: planning and design, pollutants, sewage, sludge, waste, wastewater, wastewater treatment plants.

Índice

Abreviaturas	xix
Nomenclatura	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. A empresa	1
1.2. Enquadramento do Trabalho	2
2. Estado da Arte - Estações de Tratamento de Águas Residuais	7
2.1. Conceito	7
2.2. Águas residuais	8
2.2.1. Águas residuais domésticas.....	8
2.2.2. Caracterização físico-química das águas residuais domésticas	9
2.2.3. Capitações de água residual	13
2.3. Tratamento de águas residuais.....	13
2.3.1. Pré-Tratamento	13
2.3.2. Tratamento primário	17
2.3.3. Tratamento secundário	18
2.3.4. Tratamento terciário	20
2.3.5. Tratamento de lamas	23
2.4. Qualidade do efluente final	24
2.5. Gestão dos resíduos finais	25
3. Principais problemas das ETAR's e respetivo controlo	27
4. Projeto da ETAR.....	35
4.1. Localização da nova ETAR.....	35
4.2. Características do efluente	37
4.3. Qualidade do efluente tratado.....	38
4.4. Opções ao nível do tratamento.....	38
4.5. Descrição do processo de tratamento da nova ETAR de Canelas.....	39

4.5.1. Descrição detalhada das várias etapas do tratamento	42
4.5.1.1. Gradagem/ Tamisagem	42
4.5.1.2. Desarenação/ Desengorduramento	44
4.5.1.3. Tanque de arejamento e decantador secundário	45
4.5.1.4. Desinfeção.....	48
4.5.1.5. Medição de caudal.....	49
4.5.1.6. Bombas e Válvulas	49
4.6. Estudo do reaproveitamento de equipamentos da ETAR de Milhundos.....	51
4.7. Descrição da ETAR compacta alternativa à nova ETAR de Canelas	53
4.8. Análise de custos das alternativas.....	55
5. Conclusão e Sugestões de Trabalhos Futuros.....	59
Bibliografia	61
Anexos	65
Anexo A. Licença Ambiental da ETAR existente em Canelas, Penafiel.....	65
Anexo B. Cálculos do dimensionamento	69
B.1. Caudais de água residual à entrada da ETAR.....	69
B.2. Gradagem	69
B.3. Desarenação/ Desengorduramento.....	70
B.4. Tanque de arejamento.....	71
B.5. Decantador secundário.....	73
B.6. Silo espessador de lamas.....	74
B.7. Filtro Rápido	74
B.8. Desinfeção UV	74
B.9. Arejamento	75
Anexo C. Balanços materiais (caudais mássicos e volumétricos)	77
C.1. Gradagem	77
C.2. Desarenação.....	77
C.3. Decantador secundário	78
C.3.1. Balanço ao caudal de recirculação.....	78

C.3.2. Balanço ao decantador	78
C.3.3. Balanço à CBO ₅ à saída do decantador	79
C.3.4. Balanço aos SST à saída do decantador.....	79
C.4. Balanços para a verificação das necessidades dos nutrientes	79

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Instalações da Penafiel Verde, E.M.	1
Figura 1.2 – Tratamento de águas residuais [4]	3
Figura 1.3 – Fluxograma dos tratamentos realizados em ETAR [7].....	5
Figura 2.1 – Tipos de ETAR: a) convencional; b) compacta - adaptada [8] [9]	7
Figura 2.2 – Tanque de equalização	14
Figura 2.3 – Gradagem	15
Figura 2.4 - Tamisador	16
Figura 2.5 – Decantador primário	18
Figura 2.6 – Leito Percolador	19
Figura 2.7 – Discos Biológicos.....	19
Figura 2.8 – Esquema de obtenção e tratamento de lamas de uma ETAR [24].....	24
Figura 3.1 – “Bulking” filamentoso e Espumas castanhas, respetivamente [9]	35
Figura 3.2 – Resultado do inquérito à população.....	36
Figura 3.3 – Tratamentos de odores: a) Desodorização por biofiltração; b) Desodorização por lavagem química [29]	41
Figura 4.1 – Freguesias da rede de saneamento da empresa Penafiel Verde, EM. [1]	35
Figura 4.2 – Planta de execução da rede de saneamento da freguesia de Canelas.....	42
Figura 4.3 - ETAR compacta subterrânea e respetiva vista exterior [30]	43
Figura 4.4 - Exemplo de ETAR convencional [31]	45
Figura 4.5 – Diagrama de processo da ETAR projetada.....	41
Figura 4.6 – Diagrama de fluxo da ETAR projetada	41
Figura 4.7 – Layout da ETAR projetada	42
Figura 4.8 – Tamisador rotativo [32].....	49
Figura 4.9 - Sistema de tratamento secundário adotado	50
Figura 4.10 – Fisionomia do arejador submersível automático [33].....	50
Figura 4.11 – Filtro de banda da ETAR das Termas de S.Vicente.....	50
Figura 4.12 – Medidor de caudal tipo Parshall.....	57
Figura 4.13 – Especificações da bomba escolhida para recirculação do caudal [34].....	53
Figura 4.14 – Curva característica da bomba [34]	50
Figura 4.15 – Válvulas de cunha elástica flangeadas [35]	50
Figura 4.16 – Esquema de colocação de válvulas na ETAR	50
Figura 4.17 – Decantador em PRFV.....	30
Figura 4.18 – ETAR compacta [41]	33
Figura 4.19 – Constituição da ETAR compacta [41]	33

Figura 4.20 – Especificações das lâmpadas UV [34].....	33
Figura B.1 – Curva característica do arejador [33].....	76
Figura C.1 – Diagrama de fluxo da etapa da gradagem.....	77
Figura C.2 – Diagrama de fluxo da desarenação.....	77
Figura C.3 – Diagrama de fluxo do tratamento secundário.....	78

Índice de tabelas

Tabela 1.1 - Características físicas, químicas e biológicas das ARU e suas origens [6].....	3
Tabela 2.1 - Composição química de efluentes domésticos brutos [9]	9
Tabela 2.2 – Tipo e concentração de microrganismos normalmente encontrados em água residuais domésticas não tratadas [9]	11
Tabela 2.3 – Processos de tratamento terciário [3].....	20
Tabela 3.1 – Problemas existentes no tratamento biológico das ETAR's e respetivas causas, efeitos e controlo [9]	27
Tabela 3.2 – Problemas de odor na conceção e operação das ETAR's [29]	37
Tabela 3.3 – Fluxos odoríficos e respetivos potenciais odoríficos [29].....	43
Tabela 3.4 – Tipos de tratamento de odores [29]	44
Tabela 3.5 – Valores limite de substâncias odoríficas à saída das chaminés após tratamentos específicos [29].....	44
Tabela 4.1 – Caudais considerados para o dimensionamento da ETAR	46
Tabela 4.2 - Parâmetros considerados para o dimensionamento da ETAR e respetivos valores médios, tendo em conta o caudal médio	47
Tabela 4.3 – Parâmetros e respetivos valores limite de emissão segundo a Licença Ambiental da ETAR já existente em Canelas	48
Tabela 4.4 – Caudais e espaçamento a considerar para os diferentes tamisadores rotativos [32].....	43
Tabela 4.5 - Dados obtidos do dimensionamento do sistema de gradagem	44
Tabela 4.6 – Dados obtidos do dimensionamento do sistema de desarenação/desengorduramento	56
Tabela 4.7 - Valores obtidos para os arejadores	55
Tabela 4.8 – Valores obtidos para o dimensionamento do decantador secundário, considerando o caudal médio.....	56
Tabela 4.9 – Valores obtidos para os descarregadores.....	51
Tabela 4.10 - Valores obtidos para o dimensionamento do sistema de desinfecção	27
Tabela 4.11 – Valores obtidos para o dimensionamento do filtro rápido	48
Tabela 4.12 – Especificações técnicas para o PRFV [38].....	31
Tabela 4.13 – Investimento necessário para a ETAR compacta.....	32
Tabela 4.14 – Investimento necessário para uma ETAR convencional	34
Tabela 4.15 - Lista de equipamento necessário comum às opções de ETAR apresentadas	56
Tabela B.1 – Valores típicos de dimensionamento para a gradagem [12]	69
Tabela B.2 - Valores usados para o dimensionamento da gradagem.....	70

Tabela B.3 - Valores típicos de dimensionamento para a desarenação/ desengorduramento [16].....	70
Tabela B.4 - Valores usados para o dimensionamento da desarenação/desengorduramento	71
Tabela B.5 – Parâmetros típicos do processo de lamas ativadas [3].....	72
Tabela B.6 - Valores típicos de dimensionamento para o decantador secundário [20]	73
Tabela B.7 - Valores usados para o dimensionamento do decantador secundário.....	76
Tabela B.8 – Valores típicos para o arejador submerso [33].....	76

Abreviaturas

AR: Águas residuais

ARU: Águas residuais urbanas

CBO₅: Carência Bioquímica de Oxigénio
ao fim de 5 dias, mg O₂/L

CHD: Carga hidráulica no descarregador,
m³/m/h

CQO: Carência Química de Oxigénio, mg
O₂/L

E.M.: Empresa Municipal

ETAR: Estação de Tratamento de Águas
Residuais

PRFV: Polímero reforçado com fibra de
vidro

SST: Sólidos suspensos totais, mg/L

SSV: Sólidos suspensos voláteis, mg/L

VLE: Valor limite de emissão

Nomenclatura

Símbolo	Descrição	Unidade
a	Fração do substrato removido, utilizada para a produção de energia por oxidação de substrato	$\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{CBO}_5}$ removido
a/m	Razão alimento/microorganismos	$\text{kg}_{\text{CBO}_5}/\text{kg}_{\text{SSV}}$.dia
b	Massa de O_2 consumida por unidade de tempo e por unidade de massa de SSV no reator no processo de respiração endógena	$\text{kg}_{\text{O}_2}/(\text{dia}.\text{kg}_{\text{SSV reator}})$
H	Altura	m
kd	Taxa de mortalidade dos microorganismos	$\text{kg}_{\text{SSV destr.}}/(\text{dia}.\text{kg}_{\text{SSV reator}})$
Q_0	Caudal de ponta da alimentação	m^3/dia
Q_0 médio	Caudal médio da alimentação	m^3/dia
Q_2	Caudal à saída do decantador	m^3/dia
Q_r	Caudal de recirculação de lamas	m^3/dia
$Q_{w,LS}$	Caudal de lamas secundárias	m^3/dia
Se	Carga final	kg/m^3
Sf	Carga inicial	kg/m^3
V	Volume	m^3
V _{máx canal}	Velocidade máxima no canal	m/s
V _s	Velocidade superficial	m/s
W	Largura	m
Y	Quantidade de biomassa produzida por unidade de massa de substrato removido	kg_{SSV}

1. Introdução

1.1. A empresa

A empresa de acolhimento para a realização deste projeto foi a Penafiel Verde, E.M. localizada na Rua Abílio Miranda, Apartado 94, 4560-501, Penafiel (figura 1.1).

A Penafiel Verde, E.M. é uma entidade empresarial que foi criada em 2006 e tem como funções a gestão e exploração dos sistemas públicos de captação e distribuição de água potável e a drenagem e tratamento de águas residuais (AR) produzidas no concelho de Penafiel.

A empresa é responsável pela distribuição de água e pelo saneamento de águas residuais numa área de 212,82 km².

O município de Penafiel conta com 72 265 habitantes e taxas de cobertura dos serviços de água e de saneamento de praticamente 97% e 72%, respetivamente, no fim do ano de 2014 [1].

A missão da empresa passa pela continuidade na produção e no fornecimento de água de qualidade aos seus clientes e pela gestão da rede de drenagem e tratamento de águas residuais com eficiência, dando um contributo decisivo para a excelência da qualidade de vida dos penafidelenses.



Figura 1.1 – Instalações da Penafiel Verde, E.M.

Atualmente a empresa pretende fazer a instalação de uma ETAR na freguesia de Canelas, com o intuito de substituir a existente nessa freguesia, ETAR compacta subterrânea, e aumentar a área da rede de saneamento.

1.2. Enquadramento do Trabalho

A água é um dos elementos mais importantes na natureza, quer para os seres vivos quer para manter o equilíbrio do nosso planeta, pelo que deve ser preservada [2].

Pelo facto de estar presente em diversas atividades do quotidiano dos seres humanos, é extremamente necessária a consciencialização das populações em questões como a sua poupança, reutilização e a não poluição da mesma.

Com o aumento da população mundial que se vem verificando ao longo dos anos, nomeadamente no último século, há também um aumento do consumo da água em atividades como a higiene, a alimentação, a indústria, entre outras. Assim o volume de águas residuais produzidas aumenta, sendo necessário tomar medidas para que o meio ambiente e a saúde pública não sejam afetados.

Consta-se que foi no início do século XIX que se fizeram as primeiras recolhas de águas residuais embora só começassem a ser tratadas sistematicamente no final deste século e início do século XX. Os tratamentos destas águas foram impulsionados pelo desenvolvimento da “Teoria do Germe” por Koch e Pasteur no século XIX marcando a Nova Era Sanitária [3].

Em Portugal, atualmente, já existem redes de drenagem de águas residuais para a maioria da população embora seja um desenvolvimento que não é equivalente entre regiões.

Nos últimos 40 anos o número de estações de tratamento ao serviço das comunidades quase que triplicou devido à implementação de normas legais. O tratamento de águas residuais tem estado interligado com as mudanças sócio-económicas e ambientais das cidades. Através de infraestruturas de saneamento e de construções de ETAR's adequadas às características das águas residuais produzidas pela população, estas são tratadas para posterior rejeição na natureza. Desta forma são criadas condições ambientais mais favoráveis que contribuem para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Apesar de este ser um facto já conhecido, torna-se impossível a criação de condições de saneamento para todas as pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento, onde existem muitas carências, nomeadamente milhões de pessoas a morrer à fome e sede.

Na figura 1.2 é apresentado um esquema de tratamento das águas residuais.



Figura 1.2 - Tratamento de águas residuais [4]

As águas residuais são provenientes de várias atividades humanas, sendo constituídas por diversas substâncias indesejáveis, podendo ser consideradas domésticas, industriais ou urbanas dependendo da origem [5].

Na tabela 1.1 são apresentadas as características físicas, químicas e biológicas das águas residuais urbanas (ARU) e as respetivas origens.

Tabela 1.2 Características físicas, químicas e biológicas das ARU e suas origens [6]

Características	Parâmetros	Origem
Físicas	Cor	Resíduos domésticos/ industriais e decomposição de matéria orgânica
	Cheiro	Decomposição de substâncias
	Temperatura	AR domésticas/ industriais
	Sólidos	Água de abastecimento, erosão, infiltrações e AR domésticas/ industriais
Químicas	Orgânicos	
	Carboidratos	AR domésticas/ industriais
	Proteínas	
	Óleos e Gorduras	
	Detergentes	
Pesticidas	Resíduos agrícolas	

Tabela 1.1 - Características físicas, químicas e biológicas das ARU e suas origens - continuação [6]

Características	Parâmetros	Origem
Químicas	Fenóis	AR industriais
	Compostos Voláteis	AR domésticas/ industriais
	Compostos Carcinogénicos	
	Inorgânicos	
	Alcalinidade	AR domésticas/ industriais e água subterrânea infiltrada
	Cloretos	
	Metais Pesados	AR industriais
	Azoto	AR domésticas e escorrência agro-pecuárias
	Fósforo	AR domésticas/ industriais e escorrências naturais
	pH	AR domésticas/ industriais
	Enxofre	AR domésticas/ industriais e águas de abastecimento
	Gases	
	Ácido Sulfídrico e Metano	Decomposição de AR domésticas
	Oxigénio	Água de abastecimento e infiltração de águas superficiais
Biológicas	Plantas e Animais	Cursos de água e ETAR
	Vírus e Bactérias	AR domésticas e ETAR

Para que uma água residual possa ser descarregada para a natureza sem causar problemas para o meio ambiente, é necessário recorrer a tratamentos específicos consoante as suas características. O objetivo desses tratamentos é reduzir a concentração dos poluentes de modo a que, obedeça à legislação vigente e possa ser rejeitado sem prejudicar a saúde pública.

A figura 1.3 apresenta o fluxograma dos diversos tratamentos que uma água residual pode sofrer antes de ser devolvida ao meio ambiente.

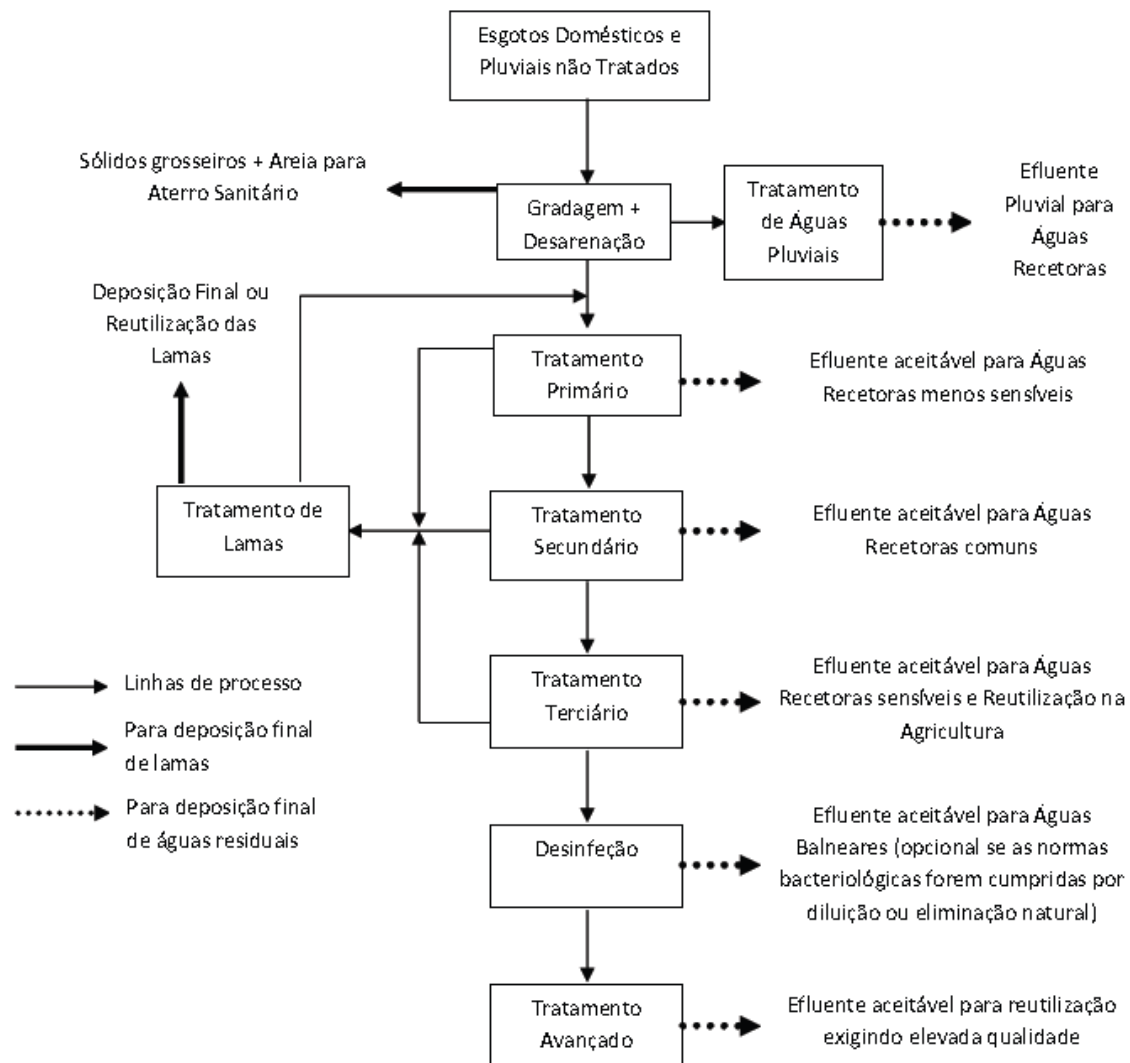


Figura 1.3 – Fluxograma dos tratamentos realizados em ETAR [7]

O objetivo deste trabalho é a seleção de um esquema de tratamento adequado e a realização do dimensionamento e da análise económica de uma ETAR na freguesia Canelas. Pretende-se que esta nova ETAR substitua a já existente nesta freguesia, que é apenas capaz de tratar as águas residuais de 300 habitantes. Desta forma o objetivo é também aumentar a rede de saneamento para 2000 habitantes equivalentes.

Tendo em conta que a freguesia de Canelas apenas possui habitações, as águas residuais que vão entrar na futura ETAR são consideradas domésticas. Estas são normalmente constituídas por uma mistura complexa de substâncias orgânicas, inorgânicas, dissolvidas e suspensas na água. A sua constituição inclui também microrganismos, nomeadamente patogénicos, embora a sua constituição varie consoante as populações e as respetivas características sócio-económicas. Para o dimensionamento de uma ETAR é necessário o conhecimento das características físicas, químicas e microbiológicas das águas residuais em questão.

2. Estado da Arte - Estações de Tratamento de Águas Residuais

2.1. Conceito

As estações de tratamento de águas residuais são infraestruturas para onde se canalizam diariamente diversos tipos de efluentes (águas residuais) com o intuito de serem tratados.

Tendo em conta o tipo de efluente, os tratamentos vão variando, de forma a garantir um efluente final dentro dos valores limite estipulados pela legislação. Na generalidade, o objetivo destas estações de tratamento é a obtenção de um efluente (de elevada qualidade à saída) que possa ser reutilizado ou devolvido à natureza sem prejudicar o ambiente e a saúde pública.

Na figura 2.1 são apresentadas duas ETAR's diferentes, sendo a ETAR a), convencional, mais utilizada para um número de habitantes equivalentes elevado, enquanto a ETAR b), compacta, para um menor número de habitantes equivalentes.



Figura 2.1 – Tipos de ETAR: a) convencional; b) compacta - adaptada [8] [9]

A ETAR b) é constituída por um tanque de arejamento, um decantador e uma zona de desinfecção, e apresenta-se sob a forma compacta.

Tendo em conta que a freguesia de Canelas apresenta cerca de 2000 habitantes equivalentes será feito um estudo aos dois tipos de ETAR's, de modo a verificar o que permite um menor investimento.

2.2. Águas residuais

As águas residuais são provenientes de atividades humanas, desde domésticas a industriais. Transportam resíduos sólidos e líquidos de pequenas dimensões, sendo constituídas ainda por variadas substâncias indesejáveis. Classificam-se como industriais, domésticas ou urbanas, dependendo da sua origem [5].

As águas residuais domésticas provêm normalmente de instalações sanitárias, cozinhas e também de lavagens de roupa, caracterizando-se pelas elevadas quantidades de matéria orgânica, sendo facilmente biodegradáveis.

Relativamente às águas residuais industriais, estas são provenientes de atividades industriais e caracterizam-se pela grande variedade de compostos presentes, consoante o tipo de processamento industrial, e pela modificação sofrida pelos mesmos com o decorrer do tempo.

A mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais ou águas pluviais, ou simplesmente as domésticas, recebem o nome de águas residuais urbanas. São caracterizadas pela presença de compostos azotados (proteínas, ureia), hidratos de carbono (açúcares, amido e celulose) e lípidos (sabão, óleos de cozinha e gorduras) [10].

Para além destas, existem também as águas residuais que provêm da agricultura com uma elevada carga orgânica e a presença de compostos químicos sintéticos como os pesticidas.

Pode-se também caracterizar as águas residuais quanto à sua toxicidade. As águas residuais tóxicas provêm essencialmente da indústria petroquímica (óleos, surfatantes), química (pesticidas e herbicidas) e metalúrgica e de eletrodeposição (metais pesados). As águas residuais domésticas de matadouros e de indústrias alimentares, como as refinarias de açúcar ou de lacticínios, são consideradas não tóxicas e caracterizam-se por conter elevados teores de matéria orgânica [9].

2.2.1. Águas residuais domésticas

As águas residuais domésticas são constituídas predominantemente por proteínas (40 a 60%), hidratos de carbono (25 a 50%), gorduras e óleos (10%) e ureia.

Na tabela 2.1 é apresentada a caracterização química das águas residuais domésticas brutas.

Tabela 2.1 - Composição química de efluentes domésticos brutos [9]

Parâmetro	Concentração (mg/L)		
	Elevada ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾	Baixa ⁽³⁾
CBO₅	400	220	110
CQO	1000	500	250
N Orgânico	35	15	8
NH₃-N	50	25	12
N Total	85	40	20
P Total	15	8	4
Sólidos Totais	1200	720	250
Sólidos Suspensos	350	220	100

⁽¹⁾ Capitação de água residual de 240 L/hab.dia

⁽²⁾ Capitação de água residual de 460 L/hab.dia

⁽³⁾ Capitação de água residual de 750 L/hab.dia

Estas águas possuem um elevado número de microrganismos como as bactérias, os protozoários e os vírus. São bastante propícias para as culturas microbiológicas, podendo conter dezenas de milhões de bactérias por mililitro.

Relativamente à matéria sólida que se encontra em suspensão nestas águas residuais, podem ser enumeradas as fibras de papel, plásticos, matérias minerais (areia e argila) e matéria orgânica (restos de comida e matéria fecal). Em suspensão coloidal consideram-se os hidratos de carbono (açúcares), lenhinas e gorduras (cujas moléculas são constituídas por carbono, hidrogénio e oxigénio), proteínas e os detergentes sintéticos [11].

2.2.2. Caracterização físico-química das águas residuais domésticas

As águas residuais domésticas apresentam características físicas, químicas e biológicas. Das características físicas serão abordados os parâmetros matéria sólida, temperatura, cheiro e cor. Em relação às químicas consideram-se a CBO₅, a CQO, os nutrientes inorgânicos e o pH, enquanto que das características biológicas abordar-se-á o parâmetro microrganismos.

- **Matéria Sólida**

A matéria sólida existente nas águas residuais, designada por sólidos totais, é o somatório dos sólidos dissolvidos e dos sólidos não dissolvidos. O parâmetro sólidos totais é obtido após evaporação da água residual e é expresso em mg/L [11].

Os sólidos não dissolvidos ou sólidos suspensos são considerados indicadores da carga poluente da água residual. O valor de carga obtido varia de acordo com o tipo de águas residuais, embora se possa considerar um valor baixo para concentrações iguais ou inferiores a 300 mg/L de sólidos suspensos e alto se possuir uma concentração igual ou superior a 700 mg/L [11].

Estima-se que aproximadamente 2/3 dos sólidos suspensos têm natureza orgânica, e são designados por sólidos suspensos voláteis, sendo os restantes sólidos minerais [11].

Os sólidos dissolvidos são expressos em mg/L de resíduo e são quantificados através da filtração, seguida de evaporação a 180°C do filtrado da água residual que restou no filtro. De acordo com a sua composição estes podem ser orgânicos (sólidos voláteis dissolvidos) e inorgânicos ou minerais.

A matéria sólida pode também ser expressa em sólidos sedimentáveis (mL/L) traduzindo-se no volume de sólidos sedimentados depois de 1 hora em repouso [11].

- **Carência bioquímica de oxigénio (CBO₅)**

A carência bioquímica de oxigénio é a quantidade de oxigénio necessária para a degradação biológica da matéria orgânica e permite a avaliação da carga orgânica biodegradável presente na água residual [11].

Uma água residual mais poluída, com elevada matéria orgânica, possui um maior valor de CBO₅ e vice-versa.

- **Carência química de oxigénio (CQO)**

A carência química de oxigénio é um parâmetro de avaliação da qualidade da água que mede a carga orgânica poluente presente na água, através da quantidade equivalente de oxigénio consumido na oxidação química de uma amostra [12].

Devido à interferência de alguns compostos inorgânicos oxidáveis com a medição da CQO, há a necessidade de os eliminar previamente. Em águas residuais com compostos tóxicos para os microrganismos utiliza-se este parâmetro de avaliação da matéria orgânica [13].

- **Nutrientes Inorgânicos**

O azoto e o fósforo são os principais nutrientes inorgânicos essenciais aos sistemas biológicos. A existência destes nutrientes é limitante no desenvolvimento dos microrganismos e deve ser controlada. Contrariamente, um excesso destes nutrientes leva a um crescimento excessivo dos microrganismos, e no caso da sua descarga em águas superficiais, este excesso pode levar à deterioração da qualidade do meio recetor. Esta deterioração pode dar-se ao nível do desenvolvimento e degradação de algas e da ocorrência de cheiros - eutrofização – podendo tornar a água inaproveitável levando ao desaparecimento de lagos e albufeiras [11].

- **Microrganismos**

As águas residuais domésticas são caracterizadas por conterem uma grande variedade de microrganismos, sobretudo bactérias, na sua constituição. As bactérias aeróbias têm a capacidade de converter a matéria orgânica, utilizando-a como fonte de alimentação, em matéria inorgânica e novas bactérias. Este facto permite o tratamento biológico da água residual por via aeróbia.

Apesar da quantidade de microrganismos nestas águas ser enorme, há fatores que podem tornar a água residual tóxica, impedindo-os de degradar a matéria orgânica e por isso impedindo o tratamento da água por via biológica [11].

Na tabela 2.2 são apresentados o tipo e a concentração de microrganismos normalmente encontrados em água residuais domésticas não tratadas.

Tabela 2.2 – Tipo e concentração de microrganismos normalmente encontrados em águas residuais domésticas não tratadas [9]

Organismos	Concentração (nº/mL)
Coliformes Totais	$10^5 - 10^6$
Coliformes Fecais	$10^4 - 10^5$
Estreptococos Fecais	$10^3 - 10^4$
Enterococos	$10^2 - 10^3$
<i>Shigella</i>	Presente
<i>Salmonella</i>	$10^0 - 10^2$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^1 - 10^3$
Cistos de <i>Giardia</i>	$10^{-1} - 10^2$
Cistos de <i>Cryptosporidium</i>	$10^{-1} - 10^1$
Vírus Entéricos	$10^1 - 10^2$

- **Temperatura**

A temperatura das águas residuais domésticas é normalmente um pouco superior à temperatura ambiente, sendo que a temperatura mais elevada facilita a sedimentação das partículas sólidas [11].

- **pH**

As águas residuais tratadas devem apresentar um pH entre 6 e 9 de acordo com o previsto pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. A importância deste fator deve-se ao facto de que águas muito ácidas ou básicas descarregadas em cursos de água vão alterar o equilíbrio dos ecossistemas, podendo levar à extinção de espécies. Esta alteração do pH pode estender-se ao longo do rio, em grande distância, e, uma vez destruída a capacidade tampão da água, só um processo lento e gradual pode restituir à água a qualidade original [11].

- **Cheiro**

Normalmente as águas residuais brutas, recém chegadas à ETAR (“frescas”), são caracterizadas por terem um cheiro a “mofo”. Já a água residual bruta que não iniciou o seu tratamento de imediato, entra em anaerobiose denominando-se esgoto séptico, e adquire muito mau cheiro (a “ovos podres”) [11].

- **Cor**

A cor das águas residuais domésticas depende da quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos, sendo que quanto maior a concentração destes sólidos, mais cor apresenta.

As águas residuais “frescas” apresentam uma cor acinzentada e as “envelhecidas” apresentam a cor preta. O aparecimento de outras cores deve-se às descargas de águas residuais industriais na rede doméstica [11].

- **Outros parâmetros**

Parâmetros como a turvação e a condutividade podem ser determinados para um melhor conhecimento da água residual em causa.

2.2.3. Captações de água residual

As águas residuais domésticas estão sujeitas a variações que dependem de fatores como o número de habitantes ou a época do ano, entre outros. Estes fatores causam variações nos caudais bem como nas cargas de poluentes presentes nas águas, podendo prejudicar o funcionamento da ETAR e reduzir a sua eficiência. É o caso, por exemplo, de caudais de infiltração em redes com canalizações deficientes, da mistura (não prevista) de águas pluviais, de ligações clandestinas de esgotos industriais, das variações sazonais, entre outras [11].

Ao longo do dia existem períodos de produção máxima de água residual, sobretudo durante a manhã e após as refeições. Existem também picos de caudal e horas em que a quantidade é bastante baixa e a produção é mínima, normalmente durante a noite.

Estima-se que a produção de água residual se encontra entre 130 e 345 L/hab.dia, tendo em conta que os hábitos populacionais são idênticos. Relativamente à carga orgânica, esta encontra-se entre 70 e 80 g/hab.dia [11].

2.3. Tratamento de águas residuais

Existem diversos processos físicos, químicos e biológicos. A escolha do sistema de tratamento de águas residuais deve ter em conta inúmeros fatores, como as características das águas residuais a tratar, a qualidade pretendida do efluente final, que está relacionada com os parâmetros de qualidade do meio recetor e os custos de investimento e de exploração.

2.3.1. Pré-Tratamento

O pré-tratamento consiste num conjunto de tratamentos físicos e tem como objetivo a remoção de sólidos suspensos de maiores dimensões, como areias e sedimentos, e ainda gorduras. Este tratamento preliminar consiste na equalização, gradagem, desarenação e desengorduramento.

- **Equalização**

A equalização é um processo de tratamento preliminar que consiste na mistura das águas residuais num tanque ou num poço de bombagem de uma estação elevatória, situada no início do processo de tratamento [3].

O tanque da figura 2.2 é designado de tanque de equalização e é onde as águas residuais são homogeneizadas, com o objetivo de uniformizar o caudal e/ou carga poluente da água residual a tratar.



Figura 2.2 – Tanque de equalização

- **Gradagem e Tamisagem**

A gradagem consiste na remoção de sólidos suspensos de maiores dimensões, quer de matéria mineral, quer de matéria orgânica. O objetivo da gradagem é, para além da remoção dos sólidos que facilita os tratamentos seguintes, a proteção dos dispositivos de transporte e órgãos de tratamento a jusante e o aumento da eficácia do tratamento. Na gradagem utilizam-se grades de aço [2].

A grade é constituída por uma série de barras dispostas no canal de modo a interceptar o fluxo. Estas podem ser classificadas em grades grossas e grades finas. A principal diferença entre elas é o espaçamento entre as barras. Pequenos espaçamentos entre as barras produzem elevadas perdas de carga, que devem ser consideradas no dimensionamento. Quanto menor for o espaçamento entre as barras da grade, maior será a quantidade retida de detritos [11].

As grades estreitas possuem pequenos espaçamentos entre barras e são dimensionadas para efetuar um tratamento efetivo da água residual. Estas são limpas mecanicamente e podem ser instaladas em posição vertical (0 a 30° com a vertical), enquanto que as grossas se encontram normalmente inclinadas (30 a 45° com a vertical) e podem ser limpas manualmente [14].

A velocidade da água através das grades é um dos fatores mais importantes, considerando-se a mais adequada por volta de 0,6 m/s. Caso a velocidade decresça abaixo de 0,3 m/s, a areia deposita-se no canal da grade, enquanto que, se a velocidade for superior a 0,9 m/s pode ocorrer a passagem de sólidos através da grade, reduzindo a eficiência de remoção da unidade [14].

A limpeza das grades deve ser efetuada com alguma regularidade para que não haja acumulação do material na superfície das mesmas, embora não em demasia, uma vez que poderá provocar um acréscimo de água no reservatório onde devem estar os sólidos removidos. Assim sendo, a frequência de limpeza das grades deverá estar relacionada com o caudal de água residual à entrada da estação. A limpeza das grades pode ser efetuada de duas formas diferentes, manual ou mecanizada.

Os sólidos retidos nas grades, os gradados, são normalmente levados para aterros e os detritos são retirados para recipientes de recolha de detritos.

Na figura 2.3 é apresentado um sistema de gradagem.



Figura 2.3 – Gradagem

A tamisagem também é uma técnica utilizada com o intuito de remover sólidos suspensos de diversas dimensões. Existem vários tipos de tamisadores como os rotativos, os estáticos e os “step-screen”. No caso dos tamisadores rotativos, o princípio de funcionamento assenta na rotação contínua de uma tela cilíndrica acionada por um motor redutor. A água residual entra na tela de filtração e contacta sempre com uma zona limpa da mesma, devido ao facto de esta se encontrar em movimento contínuo. Os sólidos que são retidos são enviados para a saída através de uma guia existente na tela, enquanto que o líquido filtrado sai pela parte inferior do equipamento. A filtração ocorre do lado interno para o externo.

O tamisador é compacto, não requer grande manutenção e apresenta grande capacidade de filtração [11].

Na figura 2.4 é apresentado um tamisador rotativo com 3 mm de espaçamento.



Figura 2.4 - Tamisador

- **Desarenação**

A desarenação segue-se à gradagem ou tamisagem por consistir na remoção das areias arrastadas e não removidas nas grades. O seu objetivo é evitar desgastes no equipamento a jusante, principalmente nas bombas [11].

As grandes quantidades de terras, areias e outros sólidos são provenientes dos coletores de águas pluviais; as pequenas quantidades são obtidas de sistemas exclusivos de efluente doméstico. Normalmente os efluentes municipais contêm entre 15 e 90 m³ de areia por milhão de metros cúbicos de água residual [14].

A desarenação consiste na passagem da água residual com velocidade reduzida, por um tanque ou canal (desarenador), onde as areias sedimentam essencialmente por gravidade, através do controlo da velocidade de escoamento no tanque. A remoção de areia depositada no fundo pode ser conseguida por bombas do tipo air-lift [11, 15].

Tal como na gradagem, o controlo da velocidade de escoamento é muito importante. Se a velocidade da água residual diminui para 0,3 m/s (com tolerância típica de $\pm 20\%$), a areia tende a sedimentar no fundo, e para velocidades de escoamento da água inferiores a 0,15 m/s existe deposição de grandes quantidades de material orgânico. Por outro lado, para velocidades superiores a 0,40 m/s há arrastamento e saída dos sólidos mais pequenos que se pretendem remover na unidade [16].

- **Desengorduramento por Flutuação**

O desengorduramento é uma operação física destinada à remoção de óleos e gorduras que por flutuação ascendem à superfície, para depois serem retirados por raspagem [17].

Este processo é realizado através da injeção de bolhas de ar que se associam à matéria em suspensão. As partículas vão ser transportadas até à superfície uma vez que o conjunto ar-gordura possui uma menor densidade do que a água, sendo depois retiradas por raspagem [18].

A operação de desengorduramento é assegurada pela utilização de turbinas de difusão de ar e de pontes raspadoras [17].

A quantidade de óleos e gorduras introduzida diariamente nas águas residuais ronda 10-30 g/hab/dia, o que pode variar tendo em conta a origem da água [18].

2.3.2. Tratamento primário

O tratamento primário é um processo físico que tem como objetivo a separação da matéria poluente da água por sedimentação ou decantação. Nos casos em que são adicionados agentes químicos de modo a facilitar a separação da matéria, o processo torna-se físico-químico (coagulação/floculação). A decantação realiza-se em decantadores primários que possuem eficiências na remoção de sólidos suspensos totais entre 50 e 70 % e entre 25 e 40 % na remoção da carência bioquímica de oxigénio (CBO) [19].

O decantador (figura 2.5) pode ter um braço giratório (ponte raspadora) que remove lentamente os resíduos da superfície e as lamas do fundo.

Após a decantação primária da água residual obtém-se por um lado a água residual decantada e, por outro lado as lamas primárias [11].

Os tanques de decantação primária podem apresentar uma geometria circular ou retangular e diferentes tempos de retenção e velocidade [20].

A velocidade de sedimentação das partículas depende do seu tamanho, forma, densidade e características do líquido. Estes tanques são também um bom ponto de recolha para óleos, gorduras e espumas que flutuam no topo do tanque. Nos tanques de decantação retangulares as substâncias sobrenadantes flutuam até ao topo e são recolhidas numa extremidade. A gordura, deixada com o efluente primário, acumula-se no sistema (por adesão a superfícies) e promove o crescimento de microrganismos nocivos para o tratamento da água, devendo por isso ser removida do processo durante a decantação primária [20].

Uma grande parte das ETAR's utiliza sistemas de limpeza automática nos decantadores primários. A instalação de uma unidade de decantação deve ter no mínimo dois tanques para que o processo não páre enquanto um tanque não se encontra em serviço [19].



Figura 2.5 – Decantador primário

2.3.3. Tratamento secundário

O tratamento secundário consiste, normalmente, num processo biológico e o seu objetivo é a remoção de colóides e matéria dissolvida. Sistemas de lamas ativadas, leitos percoladores, discos biológicos ou sistemas de lagunagem são processos biológicos que podem integrar o tratamento secundário. As lamas biológicas que se formam nos sistemas de biomassa em suspensão e de biomassa fixa sofrem posteriormente um processo de sedimentação nos designados decantadores secundários.

- **Sistemas de biomassa em suspensão**

O tratamento por lamas ativadas é o sistema de biomassa em suspensão mais utilizado. Realiza-se em tanques de arejamento e consiste no desenvolvimento de microrganismos aeróbios, ou biomassa, em condições ambientais favoráveis (pH, oxigénio, temperatura, nutrientes,...). Durante o desenvolvimento dos microrganismos, estes vão assimilando a matéria orgânica presente na água residual, tratando-a [11].

A eficiência deste tratamento pode ser otimizada caso ocorra recirculação de lamas para o tanque de arejamento no fundo do decantador secundário. Uma vez que a matéria orgânica se encontra concentrada, esta recirculação vai aumentar a concentração de biomassa no tanque de arejamento, possibilitando aos microrganismos uma nova oportunidade para degradarem o substrato (matéria orgânica) [21].

O arejamento pode ser feito através de arejadores de superfície (turbinas) ou por injeção de ar difuso. Devido à agitação da água, os sólidos suspensos e os microrganismos não se depositam e passam para o decantador secundário. Aí, depois de sedimentadas, as lamas são extraídas e parte dessa biomassa é recirculada para o tanque de arejamento. No

final a água residual tratada é lançada no meio recetor ou então, caso seja necessário, segue para o tratamento seguinte [3].

A lagunagem é também um sistema de biomassa em suspensão. Constitui um tipo de tratamento de baixa tecnologia para as águas residuais. As lagoas apresentam alternativas vantajosas aos sistemas mais tradicionais, essencialmente quando estão em jogo águas residuais de pequenos aglomerados populacionais de regiões rurais.

Os sistemas de lagunagem são constituídos por grandes bacias com elevados tempos de retenção, limitadas por diques construídos com o próprio material do terreno, nas quais a depuração das águas se processa por meios inteiramente naturais, através da atividade biológica das bactérias e algas.

De acordo com o processo predominante pelo qual ocorre a degradação da matéria orgânica as lagoas podem classificar-se em anaeróbias, aeróbias, facultativas e de maturação.

- **Sistemas de biomassa fixa**

Nos sistemas de tratamento de biomassa fixa a matéria orgânica dissolvida e coloidal é degradada por ação de microrganismos aeróbios que se desenvolvem na superfície de materiais de suporte naturais (godos ou brita) ou sintéticos (plásticos). No caso dos leitos percoladores (figura 2.6), a água entra na parte de cima, através dum braço giratório com furos, designado de distribuidor, e o ar entra por baixo. Já nos biodiscos ou discos biológicos (figura 2.7), usam-se discos parcialmente submersos na água residual ($\pm 40\%$), onde através da sua rotação é promovido o crescimento e a adesão dos microrganismos à sua superfície formando biofilmes [9].



Figura 2.6 – Leito Percolador



Figura 2.7 – Discos Biológicos

- **Decantação Secundária**

A decantação secundária ou sedimentação ocorre em tanques de sedimentação ou clarificadores - decantadores secundários - onde os microrganismos desenvolvidos nos processos de tratamento biológico, juntamente com a matéria orgânica residual, se depositam no fundo, sedimentando. Esta sedimentação, por ação da força gravítica, dá origem às lamas secundárias.

2.3.4. Tratamento terciário

O tratamento terciário tem como objetivo completar os processos de tratamento primário e secundário, de forma a aumentar a eficiência de remoção de poluentes específicos nomeadamente sólidos em suspensão, nutrientes (azoto, fósforo) ou compostos tóxicos que não são eliminados pelos processos de tratamento anteriores, ou ainda proceder à desinfecção do efluente [16].

Consoante o poluente a eliminar pode-se recorrer a diferentes processos de tratamento como a filtração, a osmose inversa, a permuta iónica, a desinfecção, a nitrificação/desnitrificação, entre outras. Todos estes processos são descritos na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Processos de tratamento terciário [3]

Processo de Tratamento	Descrição
Filtração	Remoção dos sólidos suspensos residuais através de filtros de areia e/ou de antracite.
Microfiltração	Remoção dos sólidos suspensos residuais usando tamisadores ou filtrações por membranas de ultrafiltração.
Ultrafiltração	Remoção das substâncias inorgânicas dissolvidas ou coloidais residuais, como moléculas, através de membranas de ultrafiltração sobre pressão moderada (por ex.: 1.034 kN/m ²).
Osmose Inversa	Remoção das substâncias inorgânicas dissolvidas residuais, como os sais, através de membranas de osmose inversa sob pressão elevada (por ex.: 6.900 kN/m ²).

Tabela 2.3 – Processos de tratamento terciário - continuação [3]

Processo de Tratamento	Descrição
Diálise e Eletrodiálise	Remoção dos iões dissolvidos residuais através de membranas semipermeáveis. No caso da eletrodiálise aplica-se uma corrente elétrica na água para separar os aniões dos cationes.
Permuta Iónica	Remoção dos iões dissolvidos residuais através de resinas de permuta iónica. Por exemplo, os iões cálcio e magnésio (dureza) podem ser removidos por permuta com os iões sódio da resina cationica; outras resinas de permuta cationica trocam iões hidrogénio; os aniões podem ser removidos por permuta com os iões hidróxido, presentes numa resina aniónica.
Coagulação/ Floculação (Precipitação Química)	Remoção das substâncias inorgânicas dissolvidas residuais, como os fosfatos e os metais pesados, através da adição de coagulantes (hidróxido de cálcio, cloreto de ferro (III), sulfato de ferro (III), sulfato de alumínio) e de floculantes (polímeros orgânicos, também denominados polieletrólitos). Os coagulantes promovem a coagulação das partículas, favorecendo os contactos entre as partículas e a sua agregação em microflocos. Os floculantes promovem a floculação favorecendo a formação de partículas de maiores dimensões denominadas flocos, que podem ser removidas por decantação ou por filtração. A água deve estar sujeita a uma agitação moderada (com agitadores de hélice ou com injeção de ar), de modo a promover o contacto entre as partículas. A precipitação química também pode ser efetuada durante o tratamento primário e secundário, nomeadamente para remover sólidos suspensos durante a decantação primária e secundária. Uma desvantagem dos processos de coagulação/floculação é a elevada quantidade de lamas produzidas.
Adsorção	Remoção das substâncias orgânicas (por ex. detergentes e pesticidas) e inorgânicas dissolvidas residuais (por ex. fosfatos e metais pesados), usando adsorventes como o carvão ativado. O material adsorvente pode ser colocado em coluna ou em tanques de contacto, nomeadamente nos tanques de arejamento utilizados no tratamento secundário.

Tabela 2.3 – Processos de tratamento terciário - continuação [3]

Processo de Tratamento	Descrição
Desinfeção	Destruição de microrganismos patogénicos através da adição de produtos químicos oxidantes (cloro, dióxido de cloro, hipoclorito de sódio ou ozono) ou através de radiação ultravioleta.
Neutralização	Ajuste do pH da água, de modo a obter um pH próximo de 7, através da adição de bases (hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, carbonato de sódio) ou ácidos.
Nitrificação/ Desnitrificação	<p>Remoção da amónia através da sua conversão em nitratos (nitrificação) e da conversão dos nitratos em azoto gasoso (desnitrificação). Durante a nitrificação, a amónia (NH_4^+) é transformada em nitritos (NO_2^-), através da ação das bactérias <i>Nitrosomonas</i>, e os nitritos são transformados em nitratos (NO_3^-), através da ação das bactérias <i>Nitrobacter</i>.</p> <p>Durante a desnitrificação os nitratos (NO_3^-) são transformados em azoto gasoso (N_2), na ausência de oxigénio e na presença de uma fonte de carbono externa (por ex. metanol, água residual não tratada ou lamas biológicas), através da ação de vários tipos de bactérias heterotróficas (<i>Achromobacter</i>, <i>Aerobacter</i>, <i>Alcaligenes</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Brevibacterium</i>, <i>Flavobacterium</i>, <i>Lactobacillus</i>, <i>Micrococcus</i>, <i>Proteus</i>, <i>Pseudomonas</i> e <i>Spirillum</i>).</p> <p>A nitrificação pode ocorrer juntamente com os processos de oxidação biológica (lamas ativadas) ou separadamente em tanques de nitrificação com arejamento, em leitos percoladores ou em discos biológicos. Em qualquer caso é necessário que a concentração de oxigénio dissolvido na água seja superior a 1,5 mg/L (a quantidade de oxigénio necessária para oxidar a amónia a nitratos é cerca de 4,6 mg O_2/mg N-NH_4^+), que o tempo de residência da água no órgão de tratamento seja adequado, porque as bactérias nitrificantes têm uma taxa de crescimento mais lenta do que as outras bactérias e que o pH se situe entre 7,2 e 8,6.</p> <p>A desnitrificação pode ocorrer no mesmo órgão de tratamento em que ocorre a nitrificação (por ex. vala de oxidação) ou separadamente em tanques de desnitrificação sem arejamento, em reatores de leito fluidizado (com areia ou carvão ativado) ou em discos biológicos. Em qualquer caso, o órgão de tratamento deve ter uma zona anóxica.</p>

2.3.5. Tratamento de lamas

O tratamento de lamas é essencial nos processos de tratamento de águas residuais, uma vez que as lamas não tratadas podem causar problemas ambientais como a contaminação de solos e recursos hídricos, a produção de odores desagradáveis e a criação de um impacto visual negativo.

Este tratamento engloba diversas etapas:

- espessamento das lamas – pode ser realizado em espessadores gravíticos, mais adequados às lamas primárias pois estas sedimentam mais facilmente que as lamas biológicas, ou em centrífugas que permitem o espessamento das lamas biológicas em excesso;
- estabilização biológica das lamas - consiste numa digestão anaeróbia mesófila em dois estágios a uma temperatura média de 35 °C. Esta é uma etapa constituída por digestores primários aquecidos, digestores secundários, recirculação e aquecimento das lamas em digestão, gasómetro de armazenamento do biogás produzido, sistema de aproveitamento do biogás para aquecimento das lamas e sistema de cogeração para valorização energética do biogás [22];
- desidratação das lamas digeridas - as lamas são desidratadas após digestão, até um teor em sólidos de 30 %. Sofrem condicionamento químico com polímero e desidratação em centrífugas ou filtros de banda [23];
- estabilização química - as lamas desidratadas são sujeitas a uma etapa final de estabilização química com óxido de cálcio, de modo a garantir a estabilização perfeita antes do transporte para o destino final [22];
- armazenamento - as lamas irão acumular-se no processo de lamas ativadas caso não sejam processadas com rapidez, sendo desta forma necessário um sistema de armazenamento das mesmas.

Na figura 2.8 é apresentado um exemplo de esquema geral de obtenção e tratamento de lamas de uma ETAR.

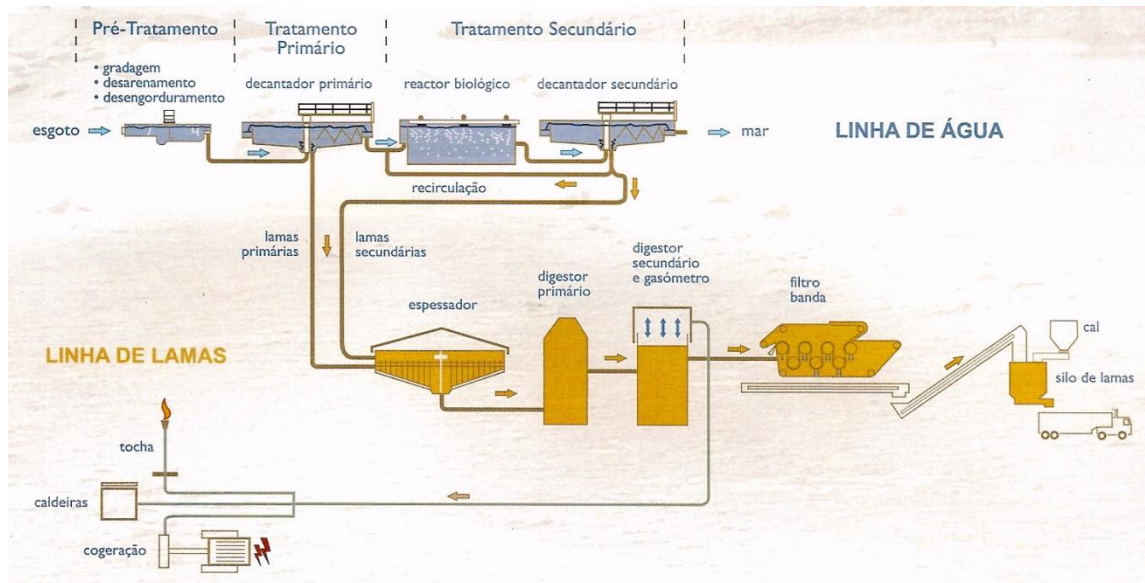


Figura 2.8 – Esquema de obtenção e tratamento de lamas de uma ETAR [24]

2.4. Qualidade do efluente final

Para se proceder à descarga do efluente final no meio recetor é necessário que os valores limite de emissão estabelecidos pela legislação não sejam ultrapassados.

No que diz respeito às ETAR's, estas devem cumprir as imposições vigentes no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, relativas à proteção da qualidade das águas recetoras contra a poluição causada pelas descargas das águas residuais, e no Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, relativas à recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas em meio aquático, em função da sua sensibilidade [21].

O Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade das águas em função dos seus principais usos futuros. No caso da descarga de efluentes, o Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º 236/98 estabelece valores limite com o intuito de proteger o meio aquático recetor [25].

O Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho define níveis de tratamento que deverão constar nos planos a elaborar pelas entidades gestoras, relativamente a todos os sistemas de drenagem pública de águas residuais que descarreguem nos meios aquáticos. Este Decreto-Lei tem como objetivo a proteção das águas superficiais dos efeitos nefastos das descargas de águas residuais urbanas, contribuindo para a defesa do meio ambiente. Neste sentido, os requisitos mínimos de concentração e de percentagem mínima de redução impostos para as descargas efetuadas nos meios recetores estão presentes nos artigos 5º e 6º do Decreto-Lei n.º 152/97.

2.5. Gestão dos resíduos finais

Os efluentes líquidos e sólidos de uma estação de tratamento de águas residuais devem produzir o menor impacto possível para a natureza e, preferivelmente, serem reaproveitados [26].

Os processos mais utilizados na gestão dos resíduos finais do tratamento de águas residuais são a valorização orgânica (aplicação de lamas de depuração em solos agrícolas), a valorização energética (incineração das lamas ou produção de energia a partir da queima do biogás resultante da digestão anaeróbia) e a eliminação (deposição das lamas em aterro sanitário).

- **Valorização orgânica**

Na valorização orgânica das lamas estas são aplicadas como fertilizantes em solos agrícolas pela sua riqueza em matéria orgânica e nutrientes.

A sua aplicação permite economizar na utilização dos fertilizantes químicos [27] e é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de Outubro, que estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, de forma a evitar efeitos nocivos para a natureza e seres vivos, promovendo a sua correta utilização.

- **Incineração**

A incineração é um processo de destruição térmica de resíduos, através da combustão, que permite a redução do volume dos resíduos e a sua valorização energética. Neste processo utilizam-se altas temperaturas em equipamentos próprios, permitindo também a destruição de microrganismos patogénicos que poderiam ser prejudiciais à saúde [28].

- **Digestão anaeróbia e valorização energética do biogás**

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por gás metano e é obtido pela digestão anaeróbia da matéria orgânica presente nas lamas, onde os microrganismos atuam num sistema com controlo de temperatura, pH, nutrientes e teor de humidade.

O biogás é uma fonte de energia renovável utilizada para produzir calor e/ou energia elétrica e, por essa razão, é considerado um biocombustível. Pode ser utilizado ainda como combustível para motores.

- **Aterro**

A deposição em aterro sanitário deverá ser feita apenas quando a presença de metais pesados ou substâncias tóxicas inviabiliza a sua valorização.

É necessário que os resíduos finais sejam previamente estabilizados antes de serem depositados em aterro, de forma a reduzir a perigosidade do resíduo que pode ser classificado como residual inerte, não perigoso ou perigoso, de acordo com os critérios definidos no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto [27].

3. Principais problemas das ETAR's e respetivo controlo

O funcionamento das ETAR's nem sempre corre como esperado, causando inúmeras vezes problemas à população.

Entre inúmeros problemas destacam-se a emissão de odores, os elevados custos operativos e de manutenção, a deterioração de alguns equipamentos, deficiências a nível de controlo operacional, entre outros.

Na tabela 3.1 são apresentados os problemas mais comuns que ocorrem no tratamento biológico, as suas causas, efeitos e os respetivos métodos de controlo.

Tabela 3.1 – Problemas existentes no tratamento biológico das ETAR's e respetivas causas, efeitos e controlo [9]

Problemas	Causas	Efeito	Medidas de controlo
Crescimento disperso	Incapacidade de formação de flocos em lamas ativadas. Deve-se essencialmente a cargas elevadas de CBO, limitações de oxigénio e efeitos tóxicos (metais pesados)	Produção de um efluente turvo	---
“Pinpoint flocs”	Disrupção dos flocos	Produção de um efluente turvo	---
Lamas à superfície	Excessiva desnitrificação (condições anóxicas no decantador secundário)	Formação de manto de lamas originando um efluente turvo com elevada CBO ₅	Aumento da taxa de recirculação de lamas
“Bulking” não filamentososo	Excessiva produção de <i>zooglea</i>	Redução da sedimentação e compactação das lamas	Adição de cloro

Tabela 3.1 – Problemas existentes no tratamento biológico das ETAR's e respetivas causas, efeitos e controlo - continuação [9]

Problemas	Causas	Efeito	Medidas de controlo
“Bulking” filamentoso	<p>Excessivo crescimento de microrganismos filamentosos.</p> <p><u>Razões que podem provocar a excessiva proliferação de bactérias filamentosas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Composição do efluente (rico em hidratos de carbono); - pH ácido → crescimento de fungos; - Concentração de substrato $[S^2]$ (<i>Beggiatoa</i> e <i>Thiotrix</i> oxidam S^2); - Oxigénio dissolvido (<i>Sphaerotilus</i> favorecido por redução do nível de O_2 dissolvido); - Deficiências nutricionais; - Temperatura (favorece crescimento de bactérias filamentosas) 	<p>Redução da sedimentação e compactação das lammas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adição de agentes oxidantes (na linha de lammas recirculadas) <ul style="list-style-type: none"> • Cl_2: 10 a 20 ppm • H_2O_2: 100-200 ppm - Adição de agentes flocculantes (sais de ferro e polieletrólitos); - Controlo biológico (predadores ciliados) - Manipulação da relação F/M

Tabela 3.1 – Problemas existentes no tratamento biológico das ETAR's e respetivas causas, efeitos e controlo - continuação [9]

Problemas	Causas	Efeito	Controlo
Espumas em lammas ativadas	<p>Tipos de espumas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espumas brancas (detergentes fracamente biodegradáveis)-, - Espumas castanhas viscosas → Causas: excessivo crescimento de actinomicetes <p>Ex: <i>Nocardia</i> e <i>Streptomyces</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valores de CBO e sólidos elevados nos efluentes; - Problemas de saúde pública (perigo para os trabalhadores da ETAR); - Cheiros desagradáveis; - Problemas nos digestores anaeróbios <p><u>Razões que podem provocar a excessiva proliferação de actinomicetes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Idade das lammas superior a 9 dias; - Temperaturas elevadas (> 18°C); - Águas residuais ricas em gorduras 	<ul style="list-style-type: none"> - Adição de agentes oxidantes: <ul style="list-style-type: none"> • Cl₂ (sob a forma de sprays); - Aumentar a recirculação das lammas; - Reduzir o fluxo de ar (<i>Nocardia</i> – aeróbia estrita); - Redução do pH e do nível de gorduras; - Chuveiros de água para colapsar as “bolhas”; - Adição de agentes anti-espuma; - Uso de microflora antagonista; - Remoção física da espuma

Na figura 3.1 são apresentadas as imagens dos principais problemas das ETAR's.



Figura 3.1 – “Bulking” filamentoso e Espumas castanhas, respetivamente [9]

Com o intuito de saber qual o problema das ETAR's que mais afeta a população, realizou-se uma questão aos habitantes de uma freguesia próxima de Canelas, Penafiel. Tendo em conta que a freguesia escolhida para a realização do inquérito possui poucos habitantes, cerca de 700, foram abordadas apenas 50 pessoas que colaboraram dando a sua opinião, sendo que os resultados obtidos são apresentados em gráfico na figura 3.2.

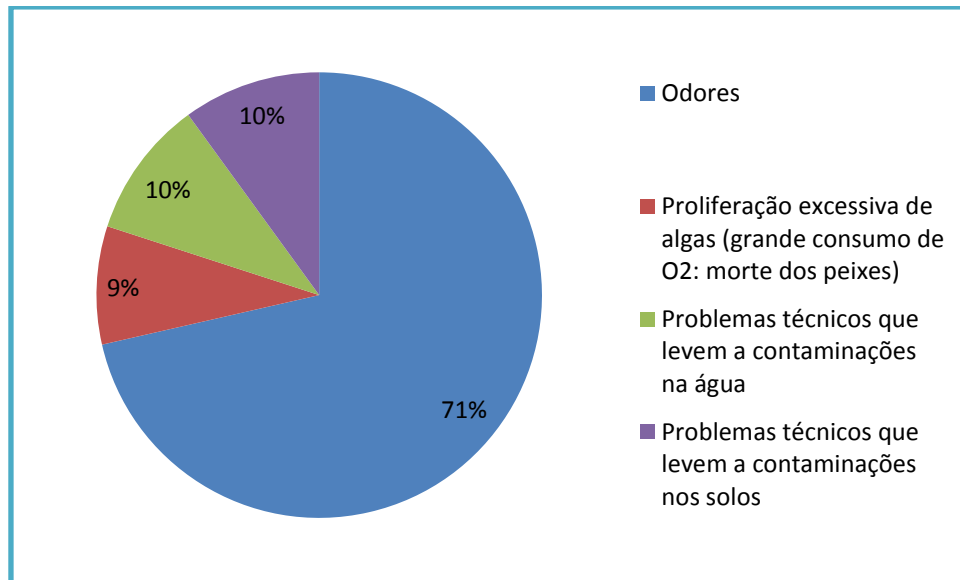


Figura 3.2 – Resultado do inquérito à população

Em análise ao gráfico verifica-se que à pergunta “Quais são, na sua/tua opinião, o/os problema/s que ocorrem nas ETAR's que mais afetam a população?”, a principal resposta foi “odores”.

Os principais agentes responsáveis pela produção de odores são o amoníaco, o sulfureto de hidrogénio, os mercaptanos, as aminas (metilaminas, etilaminas, escatol e indol) e os ácidos gordos voláteis (ácido fórmico, acético e butírico) [29].

Os odores podem afetar a saúde pública e, dependendo da sua composição, esses gases podem provocar corrosão de órgãos e equipamentos metalomecânicos e impactos nos processos de tratamento. Existem parâmetros que condicionam a libertação de odores, sendo eles o oxigénio dissolvido (elevadas concentrações de matéria orgânica; compostos reduzidos), o pH, a temperatura e o regime de escoamento e interface gás-líquido [29].

A produção de odores deve-se, na maior parte das vezes, a problemas na conceção e operação das ETAR's. Na tabela 3.2 são apresentados alguns desses problemas.

Tabela 3.2 – Problemas de odor na conceção e operação das ETAR's [29]

Conceção	Operação
Sistemas de drenagem de águas residuais com elevadas extensões	Funcionamento deficiente de infra-estruturas de ventilação e/ou desodorização
Descargas de efluente bruto com grande dissipação de energia	Falta de confinamento de espaços contaminados
Ventilação inadequada de espaços confinados	Elevados tempos de residência de efluentes, lamas e sub-produtos na instalação
Afluências sobrestimadas (elevados tempos de residência)	Pouca capacidade de arejamento
	Condições de alfluência muito inferiores às nominais

Consoante os diferentes locais de uma ETAR existem diferentes potenciais odoríficos. Alguns destes são apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Fluxos odoríficos e respetivos potenciais odoríficos [29]

Fluxo Odorífico	Potencial Odorífico (ou_E/m³)*
Água residual bruta – típica	200 – 5 000
Água residual séptica de estação elevatória	1 000 000
Efluente industrial	160 000
Alimentação da decantação primária	3 000
Descarregador da decantação primária	25 000
Lamas ativadas	620
Seletor da vala de oxidação	2 000
Efluente final	600
Lama bruta	100 000 – 2 500 000
Lama após digestão, no digestor	300 000
Lama após digestão e após armazenamento	10 000
Sobrenadante do espessamento gravítico (máximo)	4 000 000

* ou_E/m³: odor por metro cúbico de ar

Para contrariar todas as formas possíveis de produção de odores podem ser implementadas medidas de controlo.

Algumas das mais importantes são, ao nível do projeto, a conceção de órgãos e redes e a minimização da turbulência nas chegadas de efluentes, e ao nível operativo, a manutenção das condições aeróbias e a minimização dos tempos de residência de órgãos e coletores. Para além destes são também a adição de reagentes oxidantes, de agentes “mascarantes” e a contenção e ventilação [29].

Quando a produção de odores se intensifica, apesar de terem sido tomadas as medidas de prevenção, é necessário a adoção de tratamentos eficazes. Na tabela 3.4 são apresentados diversos tipos de tratamentos.

Tabela 3.4 – Tipos de tratamento de odores [29]

Tipos de tratamento de odores	Descrição
Desodorização por Biofiltração	Desenvolvimento de uma colónia bacteriana, na maioria autotrófica, num leito filtrante em material inerte. É uma solução mais barata em termos de energia. O meio de enchimento pode ser turfa, casca de pinheiro, entre outros. É apropriado para caudais entre 5 000 e 20 000 m ³ /h. É um processo pouco tolerante a grandes concentrações e variações de concentração, necessita de irrigação do meio ou da torre de pré-lavagem e requer uma superfície elevada (100 Nm ³ /m ² /h).
Desodorização por carvão ativado	Baseia-se num meio poroso de elevada área superficial específica e elevada capacidade de adsorção. Normalmente é usado o carvão ativado granular. Os custos de exploração são elevados (renovação do material) e as performances limitadas, sobretudo ao nível do NH ₃ . É utilizado para caudais até 10 000 m ³ /h.

Tabela 3.4 – Tipos de tratamento de odores - continuação [29]

Tipos de tratamento de odores	Descrição
Desodorização por lavagem química	<p>Consiste na sequência de torres de lavagem com agentes ácidos oxidantes e básicos que reagem com os poluentes de acordo com as suas propriedades químicas.</p> <p>Demonstram elevada eficiência na eliminação de odores, robustez (variações de carga e concentrações elevadas), custos de exploração (reagentes e energia), fluxos de ar e líquido em contracorrente, meio de enchimento com grande superfície específica, torres com vários reagentes, controlo de pH e potencial redox e cloro livre.</p> <p>Este tratamento é adequado para caudais acima de 20 000 m³/h.</p>

Para além dos tratamentos acima referidos existem ainda novas opções de tratamento como a oxidação térmica e termocatalítica, os ultravioletas, a fotocatalise, a insuflação de ar contaminante no tanque de arejamento, entre outros. Na figura 3.3 é apresentada a desodorização por biofiltração e a desodorização por lavagem química, respetivamente.



Figura 3.3 – Tratamentos de odores: a) Desodorização por biofiltração; b) Desodorização por lavagem química [29]

No final do tratamento, as emissões de odores devem garantir o cumprimento de valores específicos à saída das chaminés. Na tabela 3.5 são apresentados os diversos valores, em mg/Nm³, consoante o tratamento efetuado.

Tabela 3.5 – Valores limite de substâncias odoríficas à saída das chaminés após tratamentos específicos[29]

	Lavagem Química	Desodorização Biológica	Adsorção Carvão Ativado	Garantias normalmente exigidas
H ₂ S	0,025 – 0,05	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	0,1
CH ₃ SH	0,025 – 0,05	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	0,07
NH ₃	0,05 – 0,1	0,1 – 1,0	---	1,0

As garantias também podem ser expressas unidades de odor (Uo/Nm³).

4. Projeto da ETAR

4.1. Localização da nova ETAR

O local previsto para a localização da nova ETAR é a freguesia de Canelas, no município de Penafiel.

Na figura 4.1 é apresentado o mapa das freguesias onde é identificada a freguesia de Canelas e a respetiva evolução da rede de saneamento, cuja manutenção é assegurada pela empresa Penafiel Verde, EM.

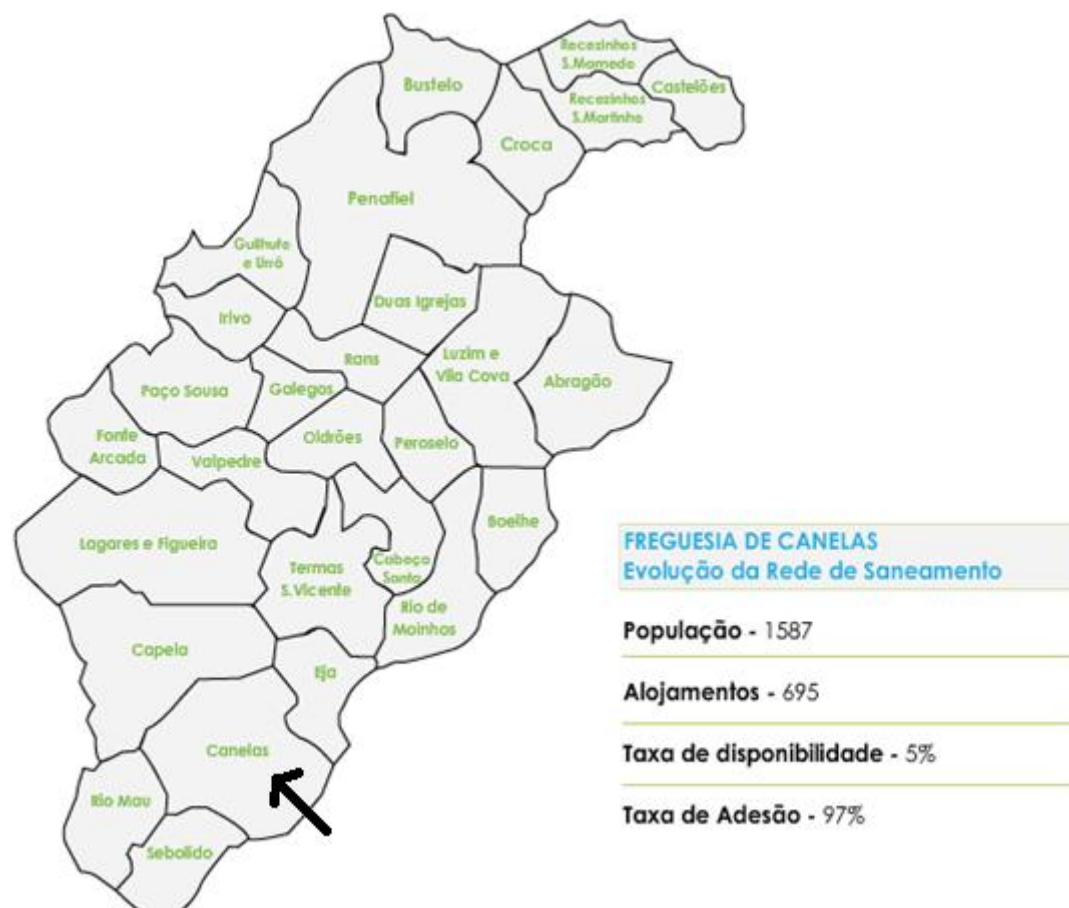


Figura 4.1 – Freguesias da rede de saneamento da empresa Penafiel Verde, E.M. [1]

Como a população da freguesia de Canelas é composta 1587 habitantes (figura 4.1), o dimensionamento da ETAR será realizado tendo como base 2000 habitantes equivalentes.

Na figura 4.2 apresenta-se a rede de saneamento prevista e a atual, e ainda a localização e o local escolhido para a construção da nova ETAR.

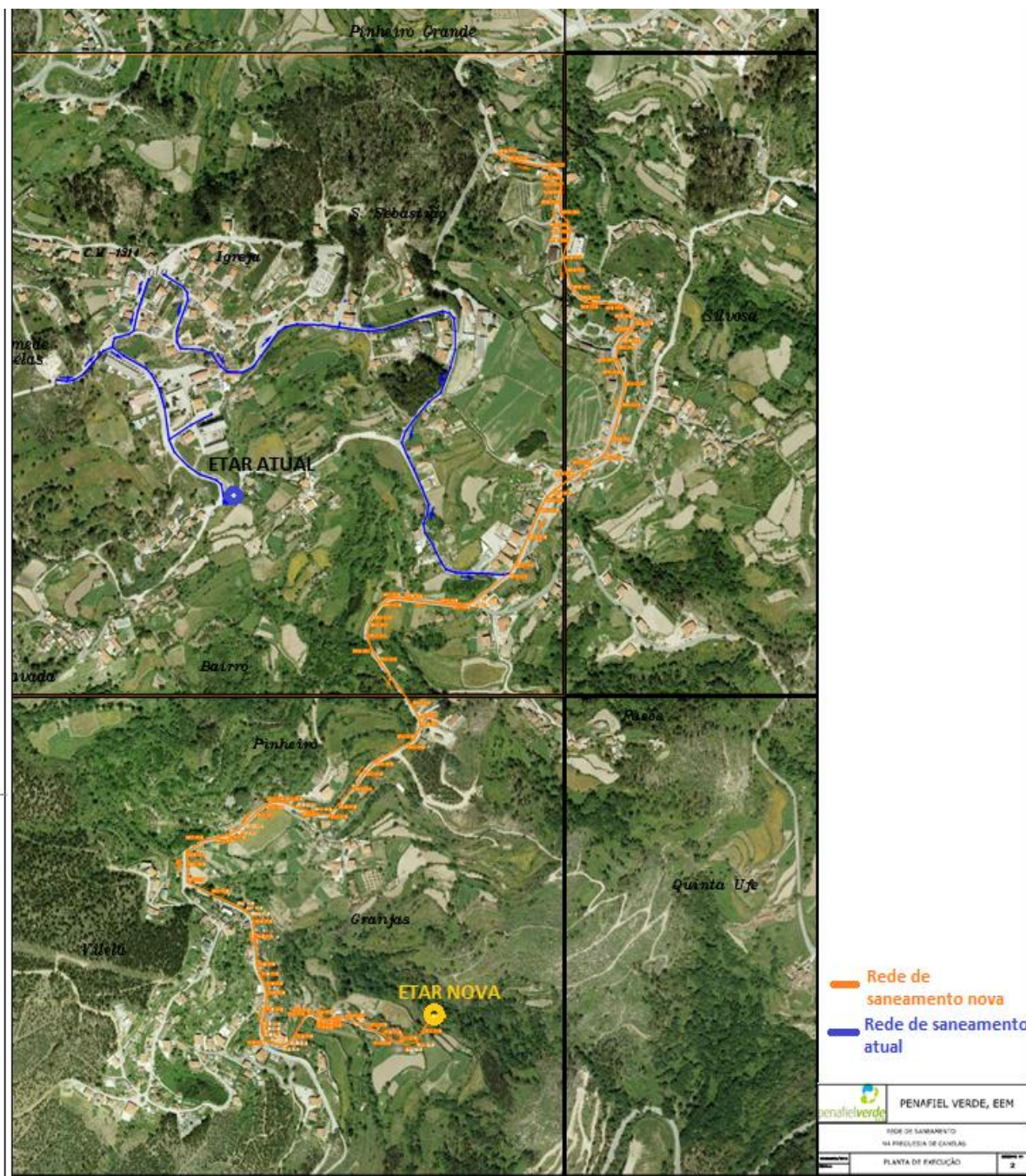


Figura 4.2 – Planta de execução da rede de saneamento da freguesia de Canelas

A escolha do local deve-se à sua proximidade ao rio Douro e ao facto de existir um ribeiro junto ao terreno, para onde se poderá drenar o efluente da ETAR antes de descarregar no rio, caso seja necessário.

4.2. Características do efluente

Para o projeto de dimensionamento da nova ETAR foram considerados 2000 habitantes equivalentes. Este é um valor próximo do número real de habitantes da freguesia de Canelas uma vez que atualmente o crescimento demográfico é baixo e não é expectável um aumento significativo do número de habitantes. Assim, tendo em conta o número considerado e recorrendo a valores típicos de produção per capita, calculou-se o caudal médio. De modo a evitar uma sobrecarga de efluente à entrada da ETAR calculou-se também o caudal de ponta.

Apresentam-se na tabela 4.1 os valores de caudal médio, fator de ponta e caudal de ponta (anexo B.1).

Tabela 4.1 – Caudais considerados para o dimensionamento da ETAR

Caudal médio	400 m ³ /dia
Fator de ponta	2,84 *
Caudal de ponta	1136,7 m ³ /dia

*Valor calculado segundo a equação do artigo 125º do Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto.

Os parâmetros CBO₅, CQO, SST, N total e P total foram calculados tendo por base os valores de concentração obtidos à entrada da ETAR já existente em Canelas, ao longo de um ano. Na tabela 4.2 são apresentados os valores médios para os parâmetros considerados, tendo em conta o caudal médio.

Tabela 4.2 - Parâmetros considerados para o dimensionamento da ETAR e respetivos valores médios, tendo em conta o caudal médio

Parâmetro	Concentração (mg/L)	Carga (kg/dia)
CBO₅	285,8	114,3
CQO	632,2	252,9
SST	225,7	90,3
N total	79,3	31,7
P total	7,7	3,1

4.3. Qualidade do efluente tratado

O Ministério do ambiente, ordenamento do território e energia emite as licenças de descarga tendo por base a legislação em vigor, de onde se destacam os Decretos-Lei n.º 236/98 e n.º 152/97. No caso da ETAR já existente na freguesia de Canelas, o efluente tratado deve cumprir os requisitos de qualidade estabelecidos por uma Licença Ambiental (anexo A). Na tabela 4.3 são apresentados os parâmetros e os respetivos valores limite de emissão.

Tabela 4.3 – Parâmetros e respetivos valores limite de emissão segundo a Licença Ambiental da ETAR já existente em Canelas

Parâmetro	VLE
pH	6 - 9
CBO ₅	40 mg O ₂ /L
CQO	150 mg O ₂ /L
SST	60 mg/L

4.4. Opções ao nível do tratamento

Para o tratamento das águas residuais da freguesia de Canelas foram consideradas duas hipóteses de ETAR: compacta subterrânea e convencional.

A ETAR compacta subterrânea garante apenas o tratamento secundário do efluente, pelo que todas as restantes fases do processo de tratamento serão incluídas sob a forma convencional. Na figura 4.3 é apresentado o modelo compacto.



Figura 4.3 – ETAR compacta subterrânea e respetiva vista exterior [30]

O outro modelo de ETAR considerado compreende as diversas fases de tratamento na forma convencional. A figura 4.4 ilustra um exemplo de uma ETAR convencional.



Figura 4.4 – Exemplo de ETAR convencional [31]

Para além do desenvolvimento do projeto da ETAR para a freguesia de Canelas, pensou-se na possibilidade de reaproveitar equipamentos de uma ETAR já desativada pertencente à empresa Penafiel Verde, EM. Com esse intuito estudou-se a viabilidade da reutilização de um decantador secundário em PRFV (polímero reforçado com fibra de vidro).

4.5. Descrição do processo de tratamento da nova ETAR de Canelas

Devido às características do efluente e do caudal a tratar, o processo de tratamento escolhido envolve, à entrada, uma estação elevatória compacta seguida de um sistema de grades e um tamisador rotativo. A utilização da grade tem o objetivo de proteger o tamisador de danos provocados pela presença de sólidos de maiores dimensões, o qual tem por objetivo a remoção de sólidos grosseiros. Em seguida, optou-se por um sistema de desarenação/desengorduramento onde as areias sedimentam por ação da gravidade e são removidas através de raspadores de fundo, e as gorduras ascendem à superfície devido à insuflação de ar comprimido, e são removidas por um raspador de superfície. A etapa seguinte corresponde ao tratamento biológico por lamas ativadas em regime de arejamento prolongado e inclui um tanque de arejamento seguido de um decantador secundário. A utilização de um decantador primário foi considerada desnecessária uma vez que os sólidos, que seriam removidos como lamas primárias, serão oxidados no processo biológico. Para além disso este funcionará em regime de arejamento prolongado, o que permite obter lamas biológicas mais estabilizadas do que nos regimes de média ou alta carga. Desta forma além de se evitar a construção de um decantador primário, também se obtêm lamas mais estabilizadas o que exclui a necessidade de uma etapa de digestão anaeróbia das lamas. Esta opção traz vantagens em aglomerados populacionais de pequena dimensão, mas é

incomportável para grandes aglomerados populacionais já que o regime de arejamento prolongado implica a construção de um reator biológico de maior dimensão e com maiores necessidades em termos de arejamento. Por fim, o efluente passa por um filtro rápido e por um sistema de desinfecção ultravioleta sendo depois descarregado no meio recetor. A utilização do filtro rápido tem o intuito de evitar a presença de pequenos sólidos para que estes não causem a dispersão da radiação ultravioleta e afetem a eficiência da desinfecção do efluente.

Inicialmente pensou-se também na necessidade de colocar, à entrada da ETAR, um tanque de equalização mas, uma vez que o fator de ponta obtido não é muito elevado (2,84), optou-se por não se incorporar no projeto essa unidade. O caudal de ponta foi considerado no dimensionamento de todas as etapas do tratamento, excepto no tratamento biológico, já que considerando o seu elevado tempo de retenção o efeito de ponta fica dissipado. No entanto, isso foi tido em conta ao nível dos descarregadores superficiais do decantador secundário para evitar o arrastamento de sólidos.

Relativamente aos resíduos produzidos pela ETAR a projetar, optou-se pela utilização de um silo espessador de lamas para posterior recolha e tratamento na ETAR das Termas de S.Vicente e envio para destino final adequado (aplicação em solos agrícolas, compostagem ou aterro sanitário). Quanto aos gradados e areias, serão enviados para aterro.

O diagrama de processo da ETAR projetada é apresentado na figura 4.5.

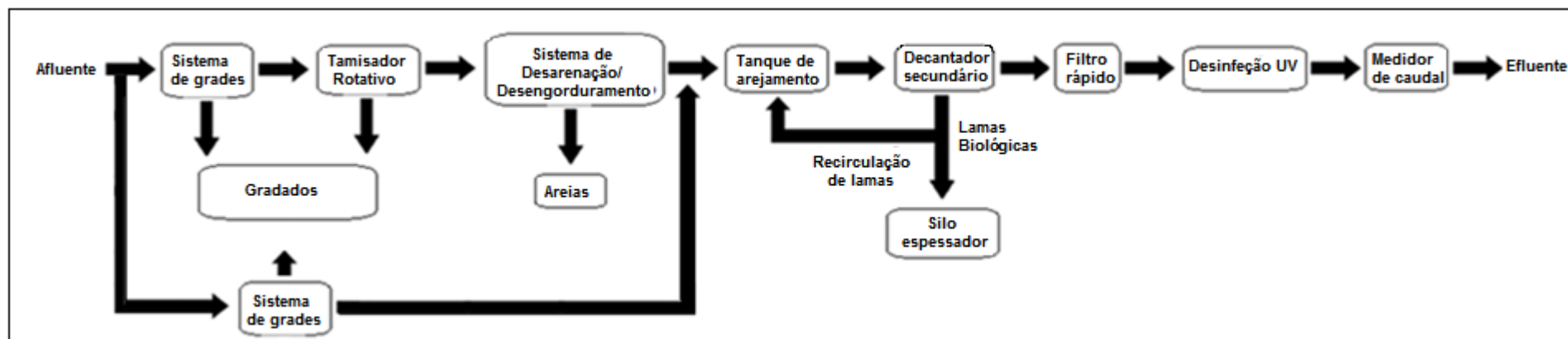


Figura 4.5 – Diagrama de processo da ETAR projetada

Na figura 4.6 está presente o diagrama de fluxo da ETAR projetada.

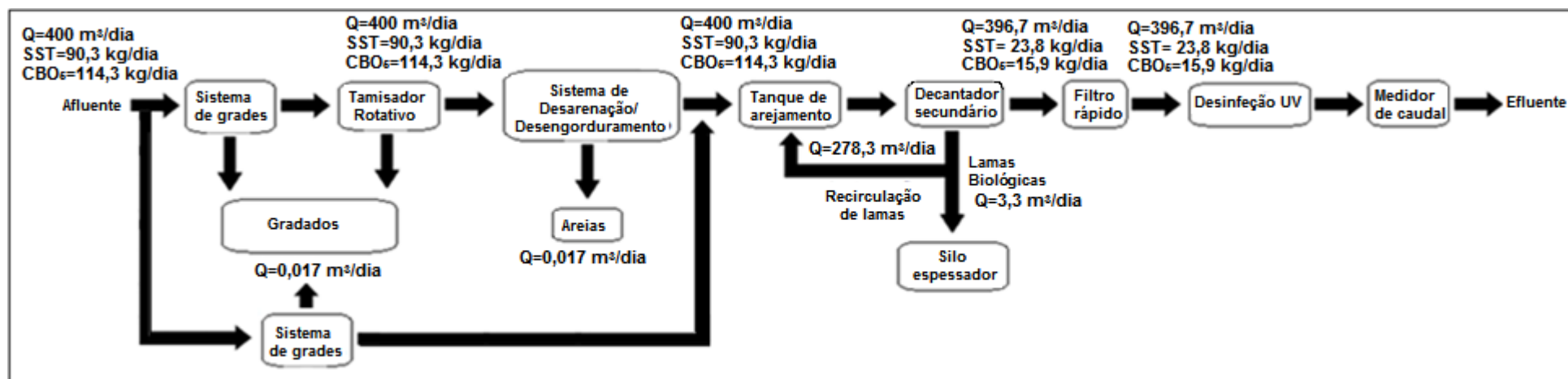


Figura 4.6 – Diagrama de fluxo da ETAR projetada

O layout representativo da ETAR a construir é apresentado na figura 4.7.

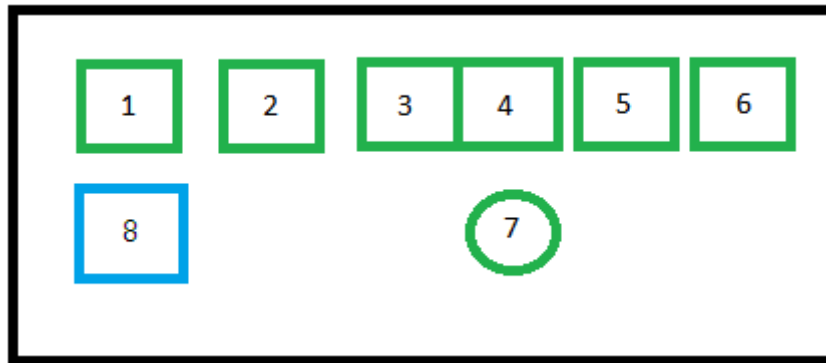


Figura 4.7 – Layout da ETAR projetada

Legenda:

1-Gradagem/Tamisagem

2-Desarenação/Desengorduramento

3-Tanque de arejamento

4-Decantador secundário

5-Filtração/Desinfeção

6-Medidor de caudal

7-Armazenamento de lamas

8-Casa de controlo

Todos os cálculos considerados para o dimensionamento da ETAR estão presentes no anexo B. Os balanços materiais (caudais mássicos e volumétricos) encontram-se no anexo C. Os critérios de dimensionamento utilizados foram baseados na bibliografia.

4.5.1. Descrição detalhada das várias etapas do tratamento

4.5.1.1. Gradagem/ Tamisagem

Para a primeira fase de tratamento do efluente optou-se por um tamisador rotativo (figura 4.8) em aço inoxidável com espaçamentos de malha de 3 mm.



Figura 4.8 - Tamisador rotativo [32]

Este tamisador possui um sistema de limpeza automático duplo, composto por um raspador e limpeza do tambor filtrante com água da rede sob pressão. Possui ainda tubagens de entrada, saída, transbordo de segurança em aço inoxidável e tubagem de vazamento inferior [32].

Pela análise da tabela 4.4, e para o caudal de ponta calculado ($1136,7 \text{ m}^3/\text{dia} = 47,4 \text{ m}^3/\text{h}$) optou-se pelo tipo Taro-300 uma vez que nos concede uma boa retenção de sólidos, embora não exagerada e uma boa margem para o caudal máximo de água limpa.

Tabela 4.4 – Caudais e espaçamento a considerar para os diferentes tamisadores rotativos [32]

ESPAÇAMENTO [mm]	3,00
TIPO	CAUDAL MÁXIMO ÁGUA LIMPA (M3/H)
TARO – 300	110
TARO – 600	190
TARO – 1200	375

De modo a proteger o tamisador rotativo de grandes objetos optou-se ainda por colocar a montante uma grade de limpeza manual com 7 barras e com espaçamento de 20 mm.

Os valores obtidos para o dimensionamento do sistema de grades é apresentado na tabela 4.5, e os repetivos cálculos encontram-se no anexo B.2.

Tabela 4.5 - Dados obtidos do dimensionamento do sistema de gradagem

Grade	
Área útil	0,04 m ²
Eficiência	74,1%
Superfície total da grade	0,06 m ²
Comprimento molhado da grade	0,36 m
Largura do canal	0,16 m
Nº de barras por grade	7

4.5.1.2. Desarenação/ Desengorduramento

O processo de desarenação será efetuado num tanque retangular, onde a sedimentação das areias ocorre por ação da gravidade, apenas sendo necessário controlar a velocidade de escoamento no tanque. A remoção das areias é feita através de raspadores de fundo.

Para o processo de desengorduramento há a necessidade de insuflar ar comprimido no fundo do tanque, fazendo com que os óleos e as gorduras ascendam à superfície mais facilmente (têm menor densidade que a água), devido à formação das bolhas de ar. A remoção destes à superfície é feita por um raspador.

Os valores obtidos para o dimensionamento desta fase do tratamento são apresentados na tabela 4.6, e os seus cálculos estão presentes no anexo B.3.

Tabela 4.6 – Dados obtidos do dimensionamento do sistema de desarenação/desengorduramento

Tanque retangular	
Volume	3,95 m ³
Área	1,88 m ²
Largura	2,1 m
Comprimento	0,89 m
Fluxo de ar a usar	17,90 m ³ /h

4.5.1.3. Tanque de arejamento e decantador secundário

Para a segunda fase de tratamento da água residual optou-se pela utilização de um tanque de arejamento seguido de um decantador secundário (figura 4.9). Esta escolha deveu-se ao facto de se considerar um regime de arejamento prolongado, permitindo obter as lamas estabilizadas sem a necessidade de um decantador primário.

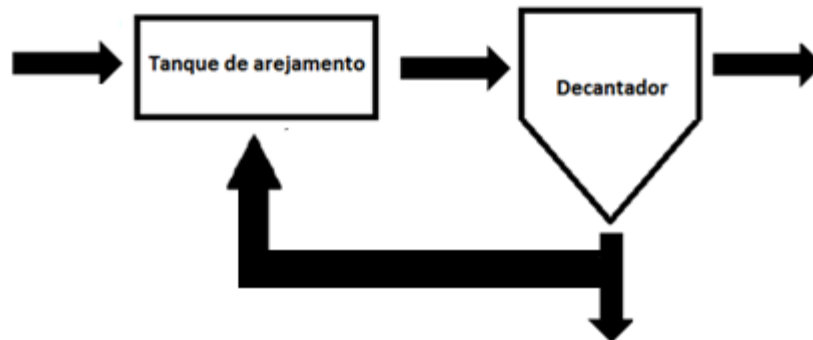


Figura 4.9 - Sistema de tratamento secundário adotado

No dimensionamento do tanque de arejamento, presente no anexo B.4., obteve-se um volume de 245,8 m³.

Para o arejamento do tanque considerou-se um arejador do tipo submersível automático (figura 4.10).

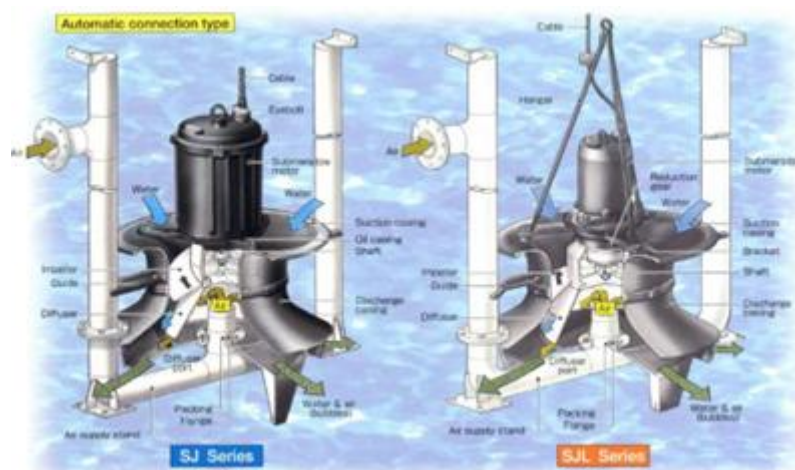


Figura 4.10 – Fisionomia do arejador submersível automático [33]

Os resultados obtidos para o arejador do tanque de arejamento são apresentados na tabela 4.7. O dimensionamento é apresentado no anexo B.9.

Tabela 4.7 - Valores obtidos para os arejadores

Arejamento	
Quantidade de O ₂ necessária	4,71 kg O ₂ /h
Número de arejadores	1

Em análise à tabela 4.7 verifica-se que apenas será necessário um arejador, no entanto considerar-se-ão dois arejadores em que um deles funcionará como reserva.

A verificação dos nutrientes é necessária para averiguar se existem nutrientes suficientes, no que diz respeito ao tratamento biológico.

Segundo os cálculos efetuados no anexo C.4., o consumo necessário de azoto é de 39,8 mg/L e o de fósforo é de 8,9 mg/L. Considerando que inicialmente a carga destes dois nutrientes é, respetivamente, 79,3 e 7,7 mg/L, pode concluir-se que o fósforo presente poderá não ser suficiente para o tratamento, devendo posteriormente ser verificada a real necessidade de adição deste nutriente ao processo de tratamento biológico, já que não seria expectável numa água residual doméstica.

Relativamente ao dimensionamento do decantador secundário, apresentado no anexo B.5., este foi realizado para um tanque com geometria circular e considerou-se ainda uma ponte raspadora para remoção automática dos sobrenadantes.

Na tabela 4.8 são apresentados os valores obtidos.

Tabela 4.8 – Valores obtidos para o dimensionamento do decantador secundário, considerando o caudal médio

Decantador secundário circular	
Volume	33,33 m ³
Área	26,67 m ²
Diâmetro	5,83 m
Altura Lateral	1,25 m

Quanto aos descarregadores, os cálculos foram realizados para o caudal de ponta, de modo a evitar o arrastamento das lamas em conjunto com o efluente tratado em situações de excessivo caudal.

Os valores obtidos encontram-se na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Valores obtidos para os descarregadores

Carga hidráulica do descarregador	5 m ³ /m.h
Perímetro do decantador	18,31 m
Perímetro de descarga	9,47 m

As lamas produzidas nesta ETAR serão armazenadas num silo espessador de 30 m³ (anexo B.6.) para posterior recolha, por parte de um camião cisterna de 5 em 5 dias, para tratamento na ETAR das Termas de S.Vicente, também gerida pela empresa Penafiel Verde, E.M.

O tratamento das lamas na ETAR das Termas de S.Vicente é constituído por um filtro de banda (figura 4.11), onde ocorre a desidratação, que possui um órgão de espessamento acoplado. No final as lamas são enviadas para compostagem ou para aterro.



Figura 4.11 – Filtro de banda da ETAR das Termas de S.Vicente

4.5.1.4. Desinfecção

Quanto ao tratamento terciário optou-se por um sistema de desinfecção por ultravioleta, uma vez que é um método eficaz e ecológico.

Para o dimensionamento deste sistema de tratamento obtiveram-se os valores da tabela 4.10, cujos respetivos cálculos são apresentados no anexo B.8.

Tabela 4.10 - Valores obtidos para o dimensionamento do sistema de desinfecção

Desinfecção por ultravioleta	
Número de lâmpadas necessárias	20
Número de secções	2
Número de lâmpadas por secção	10
Área secção transversal	0,056 m ²
Área canal	0,052 m ²
Velocidade máxima no canal	0,25 m/s
Perda de carga no canal	0,018 m

Tendo em conta que apenas existem módulos de 2, 4, 6, 8 ou 16 lâmpadas optou-se por escolher 5 módulos de 2 lâmpadas cada, perfazendo um total de 10 lâmpadas por secção.

A montante do sistema de desinfecção foi considerado um filtro rápido para reter eventuais sólidos evitando que afetem o desempenho do tratamento, ao causar dispersão da radiação ultravioleta.

Os cálculos do dimensionamento do filtro rápido estão presentes no anexo B.7. e os respetivos resultados encontram-se na tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Valores obtidos para o dimensionamento do filtro rápido

Filtro rápido	
Área	3,95 m ²
Diâmetro	2,24 m

4.5.1.5. Medição de caudal

O medidor de caudal a utilizar à saída da ETAR será constituído por um canal Parshall em PRFV 2” com um medidor ultrassónico da marca *Hycontrol*, modelo Miniplex LR.

A figura 4.12 exemplifica o tipo de medidor de caudal escolhido.



Figura 4.12 – Medidor de caudal tipo Parshall

4.5.1.6. Bombas e Válvulas

Para a entrada do efluente na ETAR, uma vez que poderá não ser suficiente a ação da gravidade, propõe-se a instalação de uma estação elevatória, tendo sido considerada na forma compacta. Para além disso a estação elevatória permitirá a uniformização do caudal e dos restantes parâmetros que caracterizam a água residual.

É ainda necessária uma bomba para a recirculação das lamas à saída do decantador secundário, tendo sido considerado o modelo apresentado na figura 4.13, cuja curva característica é apresentada na figura 4.14.

MODELO 3057											
Bomba submersível Flygt, com motor refrigerado pelo líquido circundante. Corpo de bomba em Ferro Fundido GG 20, impulsor em poliamida 66 (curva 25x), impulsor em AISI 304 (curva 26x) e impulsor resistente à abrasão (curva 27x) Cabo eléctrico Subcab com 10 metros Classe de protecção IP68 Classe de isolamento H (180°)											B4
											
MODELO	PREÇO €	CÓDIGO	TENSÃO	IMPULSOR	POTÊNCIA kW	DN saída / sólidos	CURVA	CORRENTE A	(a)	PESO kg	
INSTALAÇÃO FIXA											
DP 3057.181 MT	1.160	30571811283	3 x 400 V	Vortex	1,70	ISO 2*	48	234	3,8	**	34

Figura 4.13 – Especificações da bomba escolhida para recirculação do caudal [34]

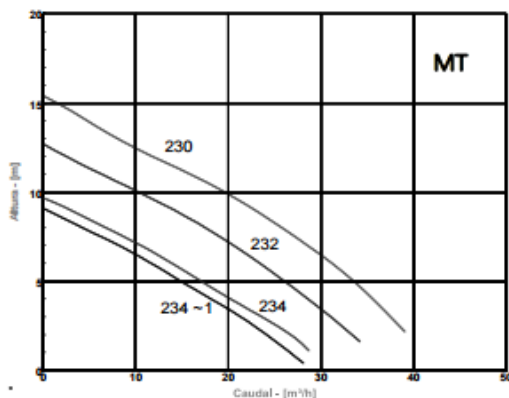


Figura 4.14 - Curva característica da bomba [34]

Relativamente às válvulas a utilizar no projeto, optou-se por válvulas de cunha elástica flangeadas com sistema de bypass DN80. Na figura 4.15 é apresentada a válvula e respetivas características.



Figura 4.15 – Válvulas de cunha elástica flangeadas [35]

A quantidade de válvulas necessária para o projeto é apresentado na figura 4.16.

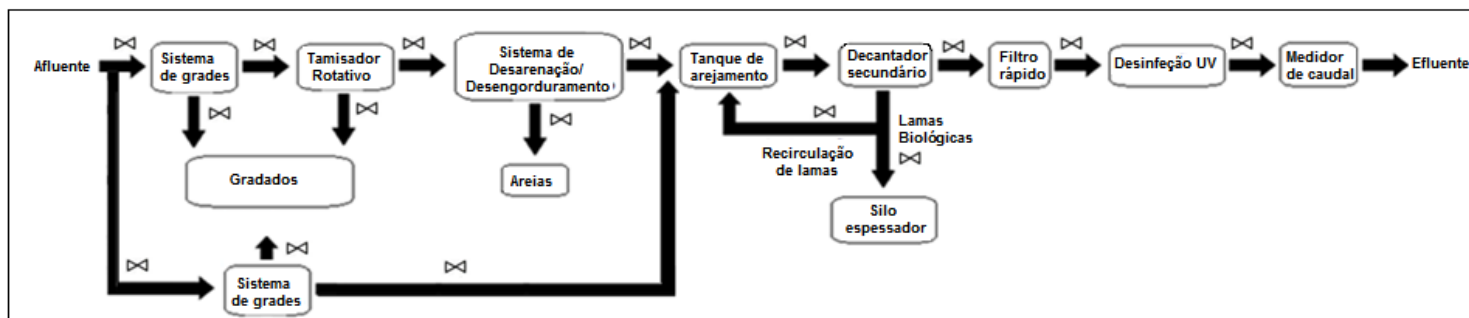


Figura 4.16 – Esquema de colocação de válvulas na ETAR

Por questões de segurança foi colocada uma válvula à entrada/saída de cada sistema de tratamento, considerando-se assim 16 válvulas.

4.6. Estudo do reaproveitamento de equipamentos da ETAR de Milhundos

Para além da desativação da ETAR existente na freguesia de Canelas para implementação de uma nova, a empresa Penafiel Verde, E.M, procedeu também à desativação da ETAR da freguesia de Milhundos.

Por esse motivo pensou-se num possível reaproveitamento do decantador existente na ETAR de Milhundos, para a nova ETAR de Canelas. Para analisar a sua viabilidade foi necessário avaliar as propriedades do material constituinte que neste caso é PRFV.

O PRFV é um material composto termoestável que resulta da aglomeração de pequenos filamentos de vidro, não rígidos e altamente flexíveis, com resina [36, 37].

Na tabela 4.12 são apresentadas as especificações técnicas para todos os tipos de PRFV.

Tabela 4.12 – Especificações técnicas para o PRFV [38]

Especificações técnicas para todos os tipos de perfis PRFV	
Resistência específica	$10^{10} - 10^{15}$ Ohm/cm
Resistência do isolamento superior	$10^{10} - 10^{15}$ Ohm
Rigidez dielétrica	5^{-10} kV/mm
Coeficiente de extensão térmica	12×10^{-6} 1/K
Condutividade térmica	0,2 – 0,6 W/m.K
Capacidade de temperatura específica	1,0 – 1,2 kJ/kg.K
Resistência à temperatura	-100 – +155 (180°C)
Absorção de água	0,15 %
Resistência à temperatura (Marten)	200°C
Resistência ao fogo	B2, UL94 V1, UL94 V0, DIN 5510 S4 SR2 ST2, ASTM E84 < 25, ASTM D635

O PRFV é um material que apresenta alta resistência à tração, flexão e impacto sendo por isso muito utilizado em aplicações estruturais. Pode também ser usado como isolante estrutural, devido ao facto de não conduzir corrente elétrica e permitir uma ampla

flexibilidade de projetos, possibilitando a moldagem de peças complexas, grandes ou pequenas, sem emendas e com grande valor funcional e estético [39].

Este material foi usado, durante muito tempo, como material básico para pranchas de surf ou barcos de passeio e, mais recentemente utilizado também em asas e outros componentes para aviões. A sua aplicação em pontes é estudada desde os anos 80 [40].

No que diz respeito às águas residuais, este material é muito utilizado em sistemas de gradagem, decantadores (figura 4.17), espessadores, entre outros.



Figura 4.17 – Decantador em PRFV

Relativamente aos custos de manutenção, estes são elevados apesar da sua alta inércia química e resistência às mudanças de tempo.

Outras características são:

- baixo peso;
- grande resistência mecânica;
- elevado tempo de vida útil;
- resistência à corrosão;
- baixo coeficiente de condutividade térmica;
- proteção aos raios ultravioleta;
- grande durabilidade
- material inerte, adequado ao contacto com uma grande variedade de produtos, nomeadamente os alimentares [36].

Pela análise das características do material do decantador atual, tendo em conta os custos que uma operação deste nível (escavação cuidadosa) pode acarretar e a possibilidade de ocorrerem danos no equipamento durante o processo, conclui-se que o reaproveitamento do decantador não é viável. A opção mais vantajosa é adquirir um novo decantador.

4.7. Descrição da ETAR compacta alternativa à nova ETAR de Canelas

A ETAR compacta considerada (figura 4.18) é em aço e adequada para 1000 habitantes equivalentes. Garante o tratamento secundário do efluente através de um sistema de lamas ativadas em arejamento prolongado (baixa carga) e é composta por duas unidades distintas: o tanque de arejamento e o decantador secundário. É composta por um ou mais módulos, permitindo a sua instalação faseada [41].



Figura 4.18 – ETAR compacta [41]

O efluente é arejado através de dispositivos de insuflação de ar, assegurando o suporte de vida dos microrganismos necessários para o tratamento biológico. O ar é insuflado por um arejador submersível. A colocação em funcionamento e paragem deste grupo é automatizada. Após estágio no compartimento de arejamento, o efluente é conduzido para o segundo compartimento onde ocorrerá a decantação. As lamas sedimentadas no decantador (lamas biológicas) serão então recirculadas, para o compartimento de arejamento de forma a manter uma concentração de população microbiana capaz de assegurar a degradação dos constituintes da água residual afluente ao sistema. O efluente tratado é descarregado por gravidade, através de um defletor laminar [41].

A figura 4.19 apresenta o equipamento que constitui a ETAR compacta subterrânea.

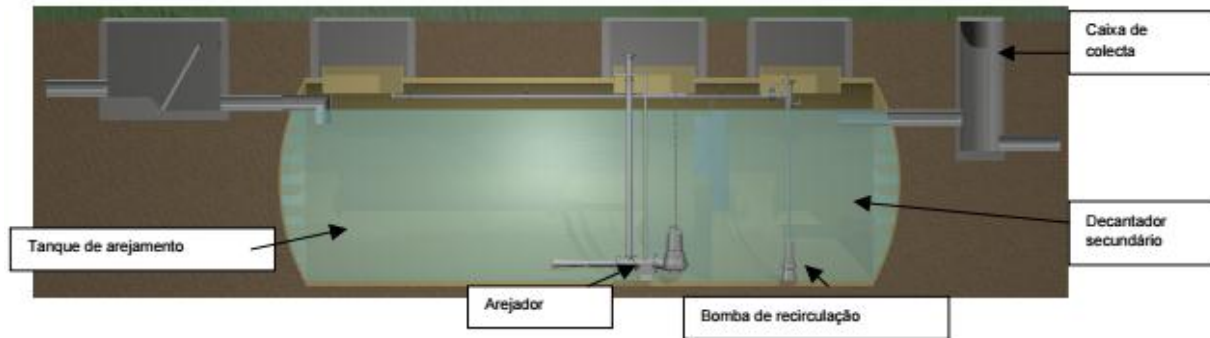


Figura 4.19 – Constituição da ETAR compacta [41]

Uma vez que um módulo desta ETAR compacta é adequado para 1000 habitantes equivalentes, serão necessários dois módulos da mesma para satisfazer os 2000 habitantes equivalentes estipulados no projeto. Quando instalados dois módulos em paralelo, é necessária ainda a existência de caixas de distribuição do efluente, localizadas entre a gradagem e os módulos onde se realiza o tratamento biológico. Estas caixas permitem a distribuição do caudal equitativamente pelos vários módulos.

Para verificar se este modelo de ETAR satisfaz as necessidades de tratamento pretendidas, foram fornecidos pela empresa vendedora os seguintes critérios de projeto:

- Capitação de água residual: $150 \text{ l/hab.dia} = 150 \text{ m}^3/\text{dia}$ (1000 habitantes equivalentes)
- Capitação unitária de CBO_5 : $60 \text{ g}_{\text{CBO}_5}/\text{hab.dia}$
- Capitação unitária de CQO: $150 \text{ g}_{\text{CQO}}/\text{hab.dia}$
- Capitação unitária de SST: $90 \text{ g}_{\text{SST}}/\text{hab.dia}$

Tendo em conta o caudal médio calculado inicialmente ($400 \text{ m}^3/\text{dia}$) e uma vez que a capitação de água residual para os dois módulos da ETAR em conjunto é $300 \text{ m}^3/\text{dia}$, conclui-se que os critérios de dimensionamento são cumpridos em relação à carga dos parâmetros CBO_5 , CQO e SST, mas não no que se refere ao caudal. Esta diferença de caudais implica um tempo de retenção mais curto podendo prejudicar a eficiência do tratamento. Apesar de se considerar uma alternativa menos adequada, esta foi uma solução apresentada por uma empresa com conhecimento das características do efluente à entrada, pelo que se considerou no projeto.

Para além destes dois módulos de ETAR compacta será necessário ainda um sistema de gradagem/tamisagem, de desarenação/desengorduramento, de desinfecção e de armazenamento de resíduos produzidos. Pelo facto de ser uma ETAR enterrada, devem ser considerados ainda os custos associados e escavações.

Objetivos de tratamento após tratamento secundário:

- $\text{CBO}_5 < 40,0 \text{ mg/L}$
- $\text{CQO} < 150,0 \text{ mg/L}$
- $\text{SST} < 60,0 \text{ mg/L}$

4.8. Análise de custos das alternativas

Para a realização da análise económica foram pedidos alguns orçamentos a empresas diferentes, relativamente às ETAR's que fornecem, compactas e convencionais.

Neste caso foram consideradas duas opções de ETAR: compacta subterrânea e convencional.

A primeira opção consiste em duas ETAR's compactas subterrâneas para 1000 habitantes equivalentes cada uma. Na tabela 4.13 são apresentados os preços dos equipamentos.

Tabela 4.13 – Investimento necessário para a ETAR compacta

Equipamento	Quantidade	Preço Unidade	Preço
ETAR compacta em aço (subterrânea)	2 módulos	68 400 €	136 800 €
Caixas de distribuição do efluente à entrada dos dois módulos	1	3 000 €	3 000 €
Caixa para junção do efluente à saída dos dois módulos	1	3 000 €	3 000 €
Válvulas/ Bypass	14	1 043 €	14 602 €
Instalação, acessórios e escavações			30 000 €
Total			187 402 €

Para a segunda opção foram considerados equipamentos para uma ETAR convencional. Na tabela 4.14 são apresentados os equipamentos necessários e respetivos preços.

Tabela 4.14 – Investimento necessário para uma ETAR convencional

Equipamento	Quantidade	Preço Unidade	Preço
Tanque de arejamento	1	20 000 €	20 000 €
Decantador secundário e acessórios	1	25 000 €	25 000 €
Bomba para recirculação de lamas	1	1 160 €	1 160 €
Arejador	2	8 550 €	17 100 €
Válvulas/ Bypass	16	1 043 €	16 688 €
Instalação, acessórios e escavações			20 000€
Total			99 948 €

Para além do equipamento apresentado especificamente para cada uma das duas opções anteriormente descritas, são necessários outros equipamentos comuns às duas opções para que o efluente seja tratado adequadamente. Na tabela 4.15 são apresentados os preços obtidos para o equipamento necessário comum às opções apresentadas, compacta subterrânea e convencional.

Tabela 4.15 - Lista de equipamento necessário comum às opções de ETAR apresentadas

Equipamento	Quantidade	Preço Unidade	Preço
Estação elevatória	1	15 000 €	15 000 €
Grades limpeza manual	2	700 €	1 400 €
Tamisador rotativo	1	7 900 €	7 900 €
Contentor de gradados 800 L	1	150 €	150 €
Unidade de Desarenação/Desengorduramento	1	22 000 €	22 000 €
Contentor de areias 800 L	1	150 €	150 €
Medidores de caudal	1	2 200 €	2 200 €
Silo espessador de lamas 30 m ³	1	15 000 €	15 000 €
Filtro rápido	1	2 000 €	2 000 €
Sistema de desinfecção	1	20 404 €	20 404 €
Edifício da casa de controlo (108 m ³)	1	10 €/m ³	1 080 €
Total			87 284 €

O preço do edifício da casa de controlo foi calculado com base na unidade de volume, fornecido pela empresa Belmiro Ferreira Simões, LDA. que consiste em 10 €/m³. Considerando uma casa de controlo com as dimensões 6 x 6 x 3, temos um volume de 108 m³.

Uma vez que não se conseguiu um orçamento para o sistema de desinfecção dimensionado, considerou-se o preço de um equipamento com as características apresentadas na figura 4.20.

A série A-B PE, com corpo em polietileno de alta densidade (HDPE), com lâmpadas de baixa pressão e alta eficiência de longa duração, com quadro eléctrico com protecção IP54, dimensionada para uma Dose de 45mJ/cm², apresenta-se como a solução ideal para desinfecção de água salgada fresca em Aquaculturas.



UV UNIT	CÓDIGO	CAUDAL	Nº LÂMPADAS	CONSUMO POR LÂMPADA	VIDA ÚTIL LÂMPADA	PN	DN FLANGE	PESO	PVP
SÉRIE A-B PE		m ³ /h		w	h	bar		kg	EUR
B112DLPE	76 0000 402503	42,0	5	185	10.000	6	200	43	20.404

Figura 4.20 – Especificações das lâmpadas UV [34]

Assim, para a opção da ETAR compacta o valor do investimento total (187 402 € + 87 284 €) é 274 686 €, enquanto que para a opção convencional (99 948 € + 87 284 €) é 187 232 €.

Aliando à avaliação económica a avaliação técnica, conclui-se que a melhor opção a adotar é a da ETAR convencional, que para além de ser uma solução específica para o tratamento da água residual com as características apresentadas, requer também um menor investimento.

5. Conclusão e Sugestões de Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como principal objetivo a conceção e o desenvolvimento de um projeto para construção de uma ETAR na freguesia de Canelas, Penafiel.

Complementarmente foi feito um levantamento dos problemas mais comuns existentes nas ETAR's e verificou-se que na generalidade o problema nas ETAR's que mais incomoda a população são os odores. Estes podem ser originados de várias maneiras, apesar de já existirem formas de tratamento e de controlo. Para além dos odores, os outros grandes problemas surgem ao nível operativo, sendo eles o *bulking* e a existência de espumas.

No processo de dimensionamento foram tomadas decisões relativamente ao processo de tratamento adequado ao efluente em questão. Tendo em conta as suas características, optou-se por um processo constituído por um sistema de gradagem seguido de tamisagem, depois um sistema de desarenação/desengorduramento, em seguida um tanque de armazenamento e um decantador secundário e por fim um sistema de desinfecção por ultravioleta. As lamas produzidas pela ETAR serão armazenadas num silo espessador e enviadas para tratamento adequado na ETAR das Termas de S.Vicente, enquanto que os gradados e as areias, encaminhados para aterro.

A nível económico foram consideradas duas opções, uma ETAR compacta e uma ETAR convencional. Da avaliação final é possível concluir que a mais económica é a segunda, dando de igual forma garantias de qualidade no efluente final cumprindo os respetivos VLE's estipulados pela licença ambiental.

Foi ainda realizada uma pequena pesquisa relativamente ao reaproveitamento de um decantador em PRFV de uma ETAR desativada e verificou-se que não seria economicamente viável, uma vez que acarrearia elevados custos de exploração e transporte, e haveria risco de danos ao desenterrá-lo.

Como sugestões para trabalhos futuros pode considerar-se a adoção de uma unidade de compostagem das lamas biológicas produzidas pelo conjunto das ETAR's a cargo da empresa Penafiel Verde, E.M., para posterior venda do composto, dando rentabilidade ao projeto. Outra sugestão seria a adoção de sistemas ou equipamentos que permitissem uma diminuição de energia e consequentemente de custos, como por exemplo a colocação de sondas de oxigénio no tanque de arejamento.

Bibliografia

1. <http://www.penafielverde.pt> – Consultado em 16/02/2015;
2. Vinhas, Ana; Silva, Ana; Sousa, Cátia; Barbosa, Joana, Projecto e manutenção de ETAR's Projecto. Trabalho de Mestrado em Projecto e Análise Económica de Projectos, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013;
3. Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 1991 (McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering).ISBN 0-07-100824-1;
4. <http://csgquiagua.webnode.pt/etar/tratamentos-de-aguas-residuais/> - Consultado em 17/10/2015;
5. Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho, *Diário da República n.º 139 – I Série A*, Ministério do Ambiente, Lisboa;
6. Tchobanouglos, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D., Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Ed., Metcalf & Eddy, McGraw Hill, University of Washington, Seattle, 2004;
7. Myers, Stephen D, Sistemas de Águas Residuais Urbanas – Um guia para não especialistas; Agencia Europeia do Ambiente em colaboração com a Associação Europeia da Água (EWA), Braga, 1998;
8. <http://www.newton.pt/pt/blog/201111/analise-depositos-circulares-betao-grandes-dimensoes.aspx> - Consultado em 28/02/2015;
9. Soares, Eduardo V.; Apontamentos de Biologia e Processos Biológicos, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014;
10. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qCDudu6loGQJ:www.netpr.of.pt/biologia_geologia/apoiocomplaula/mataaudiomulti/etar.ppt+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt - Consultado em 15/10/2015;
11. Pita, Fernando Antunes, Volume II - Tratamento de Águas Residuais Domésticas. Disciplina Armazenamento e Tratamento de Resíduos. Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2002;
12. http://www.instituto-camoes.pt/lextec/por/domain_1/definicao/17210.html - Consultado em 09/03/2015;
13. <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/65694/1/MQAgua%20014%20a%20MQA%20028.pdf> - Consultado em 09/03/2015;
14. Teodoro; Sistemas de Tratamento de Efluentes – Remoção de Sólidos Grosseiros, Setembro 2006;

15. Cruz, Pedro Nascimento; Tratamento de Águas Residuais- Estação de Tratamento de Palmarejo; Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, 2009;
16. Teodoro; Sistemas de Tratamento de Efluentes – Remoção de Sólidos Inertes, Outubro 2006;
17. <http://www.inndes.es/pt/tratamientoquimico.html> - Consultado em 09/03/2015;
18. <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/569418/1/Projecto%20base%20da%20Reabilitacao%20da%20ETAR%20do%20Magoito%20Recorrendo%20a%20Reactores%20Biologicos%20por%20Membranas.pdf> – Consultado em 10/03/2015;
19. Ramalho, R., Introduction to Wastewater Treatment Processes, 2nd Edition- Academic Press, 1984;
20. Teodoro; Sistemas de Tratamento de Efluentes – Clarificação Primária, Setembro 2006;
21. <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Gestao-Ambiental/content/Tecnologias-de-Tratamento-de-aguas-Residuais-Urbanas/section/2?bl=1> – Consultado em 17/10/2015;
22. http://www.aguadoporto.pt/publico/m2_empresa/25_drenagem_ETARFreixo_introducao.htm - Consultado em 10/03/2015;
23. Dias, José Cardoso Soveral; Guia de boas práticas - Aplicação de Lamas na Agricultura; Reciclamas; Lisboa; Agosto 2004;
24. <http://agua-de-todos.blogspot.pt/2011/03/esquema-do-tratamento-das-linhas-de.html> - Consultado em 17/10/2015;
25. Cerdeira, Lara. Acompanhamento do arranque/exploração de uma ETAR. Tese de Mestrado desenvolvida no âmbito da disciplina de Projecto de desenvolvimento em Ambiente Empresarial. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008;
26. http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/tratamento_de_aguas.pdf - Consultado em 10/03/2015;
27. <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11160/2/Texto%20integral.pdf> – Consultado em 10/03/2015;
28. <http://www.incineracao.online.pt/incineracao-incineracaoonlinept> - Consultado em 10/03/2015;
29. Brôco, Nuno; Odores em ETAR – Problema e Soluções Implementadas. Águas de Portugal Serviços Ambientais, S.A. – Direção de Engenharia, Aveiro, 2011 - Consultado em 19/09/2015;
30. <http://www.ambiagua.pt/pt/etar-compactas> - Consultado em 18/10/2015;
31. http://www.icsa.pt/client/skins/a_negocio.asp?page=47 - Consultado em 18/10/2015;

32. <http://www.salher.com/pt/Sistemas-de-gradagem-automatica/Tamisador-rotativo-TA-RO.html> - Consultado em 04/08/2015;
33. http://www.shinmaywa.co.jp/pump/english/Catalogue/SJ_SJL_SU.pdf - Consultado em 05/08/2015;
34. http://www.hidraulicart.pt/wp-content/uploads/bombas_xylem_itt_lowara_2014.pdf - Consultado em 05/08/2015;
35. http://www.hidrenki.pt/produtos/valv_acess_ferro/Tabela_2009_AVK.pdf - Consultado em 10/08/2015;
36. <http://www.orbisource.pt/empresa/> - Consultado em 02/09/2015;
37. <http://www.estilglass.com.br/produto/equipamentos-para-tratamento-de-efluentes/item/decantador> - Consultado em 02/09/2015;
38. http://www.step.pt/especificacoes_tecnicas_1.htm - Consultado em 02/09/2015;
39. <http://acquafibra.com.br/produtoseservicos.aspx> - Consultado em 02/09/2015;
40. <http://techcomposites.com.br/aplicacoes-prfv/> - Consultado em 02/09/2015;
41. <http://www.aquaquimica.pt/produto/aguas-residuais/etar-compacta-domestica> - Consultado em 12/08/2015;
42. W. Wesley Eckenfelder Jr.; Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill, 1989.

Anexos

Anexo A. Licença Ambiental da ETAR existente em Canelas, Penafiel



12

Processo n.º: 450.10.04.01.007135.2014.RH3

Utilização n.º: L008049.2014.RH3

Início: 2014/08/07

Validade: 2016/08/07

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais

Identificação

País*	Portugal
Número de Identificação fiscal*	507700651
Nome/Denominação Social*	Penafiel Verde, EEM
Morada*	Rua Abílio Miranda, Apartado 94
Localidade	Penafiel
Código Postal	4560-501
Concelho*	Penafiel
Telefones	255710130
Fax	255710139

Caracterização do(s) tratamento(s)

Designação	ETAR Canelas (Penafiel Verde, EEM)
Nível de tratamento implementado	Secundário
Tipo de tratamento	Obra de entrada com gradagem manual, decantador primário, sistema de leito percolador e decantador secundário
Caudal Máximo descarga	60.00 m3/dia
Nut III – Concelho – Freguesia	Tâmega / Penafiel / Canelas
Longitude	-8.318143
Latitude	41.075881
Ano de arranque	2002
População servida (e.p.)	300

Caracterização da rejeição

Origem das águas residuais

Urbanas

Características do Afluente Bruto

Volume máximo mensal	1800.0 (m3)
CBO5	400.0 (mg/L O2)
CQO	800.0 (mg/L O2)
N	80.0 (mg/L N)
P	10.0 (mg/L P)

Designação da rejeição	ETAR Canelas (Penafiel Verde, EEM)
Meio Recetor	Solo
Sistema de Descarga	Órgão de infiltração




Nut III – Concelho – Freguesia	Tâmega / Penafiel / Canelas
Longitude	-8.31814
Latitude	41.07588
Região Hidrográfica	RH3 :: Douro
Bacia Hidrográfica	12 :: Douro
Sub-Bacia Hidrográfica	03DOU0407 :: Albufeira Crestuma
Tipo de massa de água	SUBTERRANEA
Massa de água	A0x1RH3 :: Macico Antigo Indiferenciado da Bacia do Douro

Condições Gerais

- 1ª A rejeição de águas residuais será exclusivamente realizada no local e nas condições indicadas nesta licença, não estando autorizadas quaisquer outras descargas de efluentes, firm que não pode ser alterado sem prévia autorização da entidade licenciadora.
- 2ª O titular obriga-se a cumprir o disposto na presente licença, bem como todas as leis e regulamentos vigentes, na parte em que lhe for aplicável, e os que venham a ser publicados, quer as suas disposições se harmonizem ou não com os direitos e obrigações que à presente licença sejam aplicáveis.
- 3ª O titular fica sujeito, de acordo com o Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de junho, ao pagamento da Taxa de Recursos Hídricos (TRH) calculada de acordo com a seguinte fórmula: $TRH = E + O$, em que E – descarga de efluentes e O – ocupação do domínio público hídrico do Estado, se aplicável.
- 4ª A matéria tributável da componente E é determinada com base no Anexo – Programa de autocontrolo a implementar.
- 5ª Sem prejuízo das sanções aplicáveis, sempre que o registo atualizado dos valores do autocontrolo, referido na cláusula 4ª, não seja entregue com a periodicidade definida na Licença, a componente E será aplicada tendo por base as características do efluente bruto estabelecidas no projeto de execução da ETAR e incluídas no anexo à presente licença.
- 6ª O pagamento da taxa de recursos hídricos devida é efetuado no ano seguinte àquele a que a taxa respeite até ao termo disposto na Nota de Liquidação respetiva e pode ser feito de acordo com o previsto no número 4 do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de junho.
- 7ª A falta de pagamento atempado fica sujeito a juros de mora à taxa legal em vigor, conforme dispõe o número 5 do artigo 16º do Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de junho.
- 8ª Para efeitos de fiscalização ou inspeção, o titular fica obrigado a facultar, às entidades competentes, esta licença, bem como o acesso à área, construções e equipamentos a ela associados.
- 9ª As despesas com vistorias extraordinárias inerentes à emissão desta licença, ou as que resultarem de reclamações justificadas, serão suportadas pelo seu titular.
- 10ª A presente licença pode ser revista ou revogada nos casos previstos nos artigos 28º e 32º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.
- 11ª A entidade licenciadora reserva o direito de restringir excecionalmente o regime de utilização dos recursos hídricos, por período a definir em situações de emergência, nomeadamente secas, cheias e acidentes.
- 12ª A licença só poderá ser transmitida mediante autorização da entidade licenciadora de acordo com o disposto no artigo 26º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.
- 13ª A licença só poderá ser transacionada e temporariamente cedida mediante autorização da entidade licenciadora de acordo com o disposto no artigo 27º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.
- 14ª A licença caduca nas condições previstas no artigo 33º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.
- 15ª O titular obriga-se a solicitar a renovação desta licença, no prazo de 6 meses antes do seu termo, caso se mantenham as condições que determinaram a sua atribuição.
- 16ª Esta licença não confere direitos contra concessões que vierem a efetuar-se nos termos da legislação vigente.
- 17ª O titular fica obrigado a informar a entidade licenciadora, no prazo máximo de 24 horas, de qualquer acidente ou anomalia ocorrido nas instalações que afete o cumprimento das condições indicadas nesta licença.
- 18ª Em caso de incumprimento da presente licença, o seu titular fica sujeito às sanções previstas no Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.
- 19ª O titular deverá respeitar todas as leis e regulamentos aplicáveis e munir-se de quaisquer outras licenças exigíveis por outras Entidades.




Outras Condições

1º No prazo máximo de 30 dias após a data de atribuição do presente título, deverá ser apresentada uma apólice de seguro ou prestada uma caução no valor de 2000,00 € (dois mil euros) a favor da entidade licenciadora, para recuperação ambiental, de acordo e nos termos previstos no número 2 do artigo 49º e alínea A) do Anexo I do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, que garanta o pagamento de indemnizações por eventuais danos causados por erros ou omissões do projeto relativamente à drenagem e tratamento de efluentes ou pelo incumprimento das disposições legais e regulamentares a ele aplicáveis (minutas disponíveis no sítio da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. na internet em www.apambiente.pt – Instrumentos > Licenciamento das utilizações dos recursos hídricos > Formulários).

Anexos

Localização e caracterização da obra

Condições de descarga das águas residuais em condições normais de funcionamento

As condições de descarga do efluente final, de acordo com o disposto na legislação aplicável, a respeitar pelo titular da licença são as seguintes.

Parâmetro	VLE
pH (Escala de Sørensen)	6-9
Carência Química de Oxigénio (mg/L O ₂)	150
Carência Bioquímica de Oxigénio (mg/L O ₂)	40
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	60

Legislação

Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto

Avaliação de conformidade (descrição dos critérios de avaliação)

De acordo com o n.º 6 do artigo 69º do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto

Autocontrolo

Programa de autocontrolo a implementar

Observações

Os resultados do programa de autocontrolo quantitativo e qualitativo serão enviados à entidade licenciadora, em formato digital, para o e-mail arhn.trh@apambiente.pt, até ao dia 15 do mês seguinte ao trimestre a que respeitam as medições ou serão reportados no Sistema Integrado de Licenciamento do Ambiente (SILiAmb), que pode ser acedido em <https://siliamb.apambiente.pt>.

Monitorização dos parâmetros azoto total e fósforo total para efeitos do cálculo da TRH nos termos do Decreto-Lei n.º 97/2008 de 11 de junho.

As determinações analíticas conducentes à verificação do cumprimento do presente programa de autocontrolo devem ser preferencialmente realizadas por laboratórios acreditados para o efeito, devendo, nos restantes casos, ser realizadas por laboratórios que mantenham um sistema de controlo de qualidade analítica devidamente documentado e atualizado, à semelhança das orientações descritas na Diretiva 2009/90/CE, transposta para direito interno pelo Decreto-Lei n.º 83/2011, de 20 de junho. Os boletins analíticos terão de vir acompanhados da indicação dos limites de deteção, de quantificação e da incerteza.

Os procedimentos de amostragem deverão ser efetuados aplicando boas práticas internacionais de laboratório a fim de reduzir ao mínimo a degradação das amostras entre a colheita e a análise.

Periodicidade de reporte:

Os resultados do programa de autocontrolo, bem como as cópias dos boletins analíticos deverão ser reportados à Entidade Licenciadora com uma periodicidade trimestral.

Descrição do equipamento de controlo instalado:

Medidor de caudal

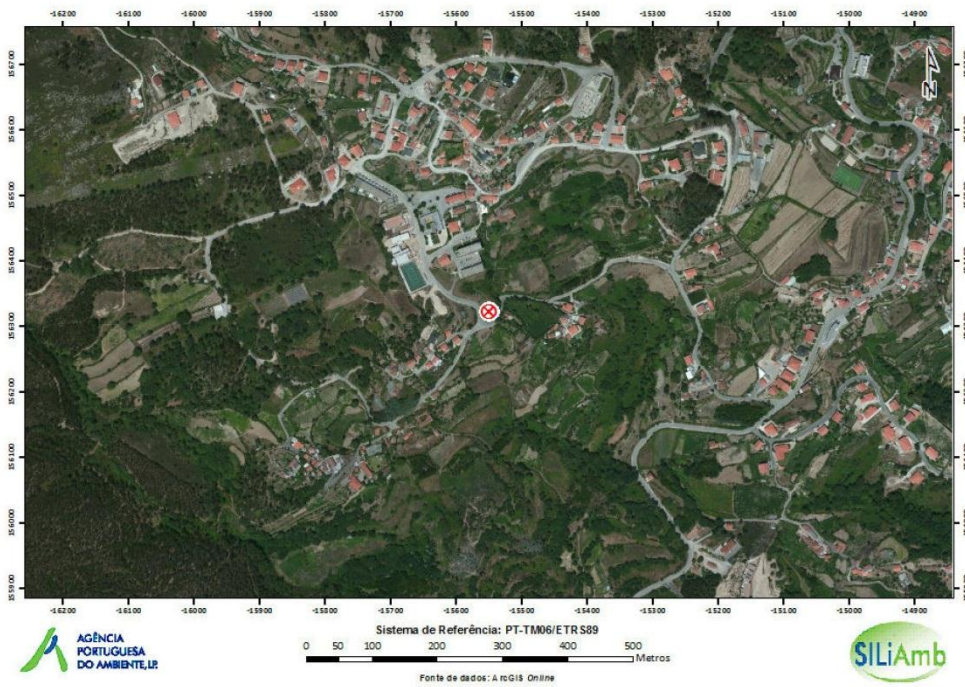
Local de amostragem	Parâmetro	Metodo analítico	Frequência de amostragem	Tipo de amostragem
Saída	pH (Escala de Sørensen)	Metodologia aplicável em conformidade com o disposto na legislação em vigor e de acordo com a	Mensal	Composta (ii)



Handwritten signature or initials

Localização e caracterização da obra

Peças desenhadas com a localização da obra



Nota: A versão completa desta Licença Ambiental pode ser visualizada no site da Agência Portuguesa do Ambiente.

Anexo B. Cálculos do dimensionamento

B.1. Caudais de água residual à entrada da ETAR

Cálculo do caudal médio:

$$Q_0 \text{ médio} \left(\frac{m^3}{dia} \right) = nr \text{ habitantes equivalentes} \times \text{capitação} \left(\frac{m^3}{hab. dia} \right) = 2000 \times 0,2$$

$$= 400 m^3 / dia$$

Cáculo do fator de ponta:

$$fator \ de \ ponta = 1,5 + \frac{60}{\sqrt{nr \text{ habitantes equivalentes}}} = 1,5 + \frac{60}{\sqrt{2000}} = 2,84$$

Cálculo do caudal de ponta:

$$Q_0 \left(\frac{m^3}{dia} \right) \times fator \ de \ ponta = 400 \times 2,84 = 1136,7 m^3 / dia$$

B.2. Gradagem

Tabela B.1 – Valores típicos de dimensionamento para a gradagem [12]

Valores típicos de dimensionamento para a Gradagem		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	[0,3–0,9]	m/s
Espaçamento	[10–20]	mm
Espessura	[6,8–10]	mm
Altura média da água no canal	[0,1–0,5]	m
Inclinação	<33	%

Tabela B.2 - Valores usados para o dimensionamento da gradagem

Valores usados para o dimensionamento		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	0,3	m/s
Espaçamento	20	mm
Espessura	7	mm
Altura média de água no canal	0,2	m
Inclinação	32	%

Cálculos efetuados para o caudal de ponta:

$$\text{Área útil} = \frac{Q_0 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{V_s} = \frac{1136,7}{(24 \times 60 \times 60) \times 0,3} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{espaçamento}}{\text{espaçamento} + \text{espessura}} \times 100 = \frac{20}{20 + 7} \times 100 = 74,1\%$$

$$\text{Superfície total da grade} = \frac{\text{Área útil}}{\text{Eficiência}} = \frac{0,04}{0,741} = 0,06 \text{ m}^2$$

$$\text{Comprimento molhado da grade} = \frac{\text{altura média de água no canal}}{\text{sen}(\text{inclinação})} = \frac{0,2}{\text{sen}(32)} = 0,36 \text{ m}$$

$$\text{Largura do canal} = \frac{\text{Superfície total da grade}}{\text{Comprimento molhado da grade}} = \frac{0,06}{0,36} = 0,16 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de barras por grade} = \frac{\text{largura do canal}(\text{mm}) + \text{espaçamento}}{\text{espaçamento} + \text{espessura}} = \frac{0,16 \times 1000 + 20}{20 + 7} = 6,8$$

≈ 7 barras

Desta forma, será considerada uma grade com 7 barras.

B.3. Desarenação/ Desengorduramento

Tabela B.3 - Valores típicos de dimensionamento para a desarenação/ desengorduramento [16]

Valores típicos de dimensionamento para a Desarenação/ Desengorduramento		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	[0,15-0,40]	m/s
Tempo retenção	[2-5]	min
Altura	[2,1-4,9]	m
Razão W/H	[1-5]	---
Fluxo ar	[5-25]	(m ³ /h)/m comprimento tanque
Geometria	Retangular ou Quadrada	---

Tabela B.4 - Valores usados para o dimensionamento da desarenação/desengorduramento

Valores usados para o dimensionamento		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	0,3	m/s
Tempo retenção	5	min
Altura	2,1	m
Razão W/H	1	---
Fluxo ar	20	(m ³ /h)/m comprimento tanque
Geometria	Retangular	---

Cálculos efetuados para o caudal de ponta:

$$Volume (m^3) = tempo de retenção (s) \times Q_0 \left(\frac{m^3}{s} \right) = (5 \times 60) \times \frac{1136,7}{24 \times 60 \times 60} = 3,95 m^3$$

$$Área (m^2) = \frac{Volume (m^3)}{Altura (m)} = \frac{3,95}{2,1} = 1,88 m^2$$

$$Largura (W) = Razão \frac{W}{H} \times Altura (H) = 1 \times 2,1 = 2,1 m$$

$$Comprimento (m) = \frac{Volume}{Largura \times Altura} = \frac{3,95}{2,1 \times 2,1} = 0,89 m$$

$$Fluxo de ar = Fluxo médio \left(\frac{\frac{m^3}{h}}{comprimento} \right) \times Comprimento(m) = 20 \times 0,89 = 17,90 \frac{m^3}{h}$$

B.4. Tanque de arejamento

Cálculos efetuados para o caudal médio:

$$CBO_5 \text{ inicial}, Sf = \frac{carga CBO_5 \left(\frac{kg}{dia} \right)}{Q_0 \text{ médio} \left(\frac{m^3}{dia} \right)} = \frac{114,3}{400} = 0,29 \frac{kg}{m^3}$$

Segundo o Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, assim como a Licença Ambiental existente (anexo A) o valor limite de emissão para a CBO₅ para descarga de águas residuais é 40 mgO₂/L. Então:

$$CBO_5 \text{ final}, Se = \frac{40 \times 1000}{1000000} = 0,040 \frac{kg}{m^3}$$

Para o cálculo do volume do tanque de arejamento são necessários alguns valores tabelados que são apresentados abaixo.

Tabela B.5 – Parâmetros típicos do processo de lamas ativadas [3]

Parâmetros	SSV		Factor de carga	Coeficientes			
				Biomassa		Oxigénio	
	β (%)	$X_{v,a}$ (g/L)	a/m (kg CBO ₅ /kg SSV.dia)	Y kg SSV prod./ kg CBO ₅ removido	k_d (kg SSV destr./ dia. kg SSV no reactor)	a (kg O ₂ / kg CBO ₅ removido)	b (kg O ₂ / dia.kg SSV no reactor)
Baixa carga (arejamento prolongado)	60 – 70	3,0 – 6,0	0,03 – 0,135	0,60	0,05	0,55	0,06
Média carga (arejamento convencional)	70	2,0 – 3,0	0,2 – 0,5	0,57	0,05	0,50	0,08
Alta carga (arejamento rápido)	70	0,6 – 1,0	1,5 – 5,0	0,55	0,07	0,40	0,10

Considerando um sistema de baixa carga (arejamento prolongado) adotaram-se os seguintes valores:

$\frac{a}{m}$	$X_{v,a}$
0,1 kg _{CBO₅} / kg _{SSV} .dia	4 g/L

$$\text{Volume tanque arejamento} = \frac{Q_0 \text{ médio} \left(\frac{m^3}{\text{dia}} \right) \times (S_f - S_e)}{\frac{a}{m} \times X_{v,a}} = \frac{400 \times (0,29 - 0,040)}{0,1 \times 4} = 245,8 m^3$$

B.5. Decantador secundário

Tabela B.6 - Valores típicos de dimensionamento para o decantador secundário [20]

Valores típicos de dimensionamento para o Decantador Secundário		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	[15-50]	m/dia
Tempo retenção	[1,5-2,5]	h
Diâmetro	[10-40]	m
Declive do fundo	[1-5]	%
Geometria	Circular	---

Tabela B.7 - Valores usados para o dimensionamento do decantador secundário

Valores usados para o dimensionamento		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade superficial (Vs)	15	m/dia
Tempo retenção	2	h
Geometria	Circular	---

Cálculos efetuados para o caudal médio:

$$\text{Área} = \frac{Q_0 \text{ médio} \left(\frac{m^3}{\text{dia}} \right)}{\text{Velocidade superficial} \left(\frac{m}{\text{dia}} \right)} = \frac{400}{15} = 26,67 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Tempo retenção} \times Q_0 \text{ médio} = \frac{2}{24} \times 400 = 33,33 \text{ m}^3$$

$$\text{Diâmetro} = \sqrt{\frac{4 \times \text{Área}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 26,67}{\pi}} = 5,83 \text{ m}$$

$$\text{Altura Lateral} = \frac{\text{Volume}}{\text{Área}} = \frac{33,33}{26,67} = 1,25 \text{ m}$$

Considerando que a carga hidráulica dos descarregadores (CHD) é 5 (m³/m/h), para o caudal de ponta, temos:

$$\text{Perímetro do decantador} = \pi \times \text{Diâmetro} = \pi \times 5,83 = 18,3 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro de descarga} = \frac{Q_0 \left(\frac{m^3}{h} \right)}{CHD} = \frac{1136,7}{\frac{24}{5}} = 9,47 \text{ m}$$

B.6. Silo espessador de lammas

Considerando, segundo o anexo C.3.2., um caudal de lammas secundárias de 5,47 m³/dia e um período de recolha de lammas a cada 5 dias:

$$\text{Volume silo espessador} = 5,47 \frac{m^3}{\text{dia}} \times 5 \text{ dias} = 27,33 \text{ m}^3$$

B.7. Filtro Rápido

Assumindo uma taxa de aplicação superficial de 200 L/m².min, considerando o caudal de ponta:

$$\text{Área filtro} = \frac{Q_0 \left(\frac{L}{\text{min}} \right)}{\text{Taxa de aplicação superficial}} = \frac{1136,7 \times 1000}{\frac{24 \times 60}{200}} = 3,95 \text{ m}^2$$

$$\text{Diâmetro} = \sqrt{\frac{4 \times \text{Área}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3,95}{\pi}} = 2,24 \text{ m}$$

B.8. Desinfeção UV

Para a desinfeção por UV foi considerado um sistema com configuração horizontal das lâmpadas constituído por 2 secções e um caudal tratado por lâmpada de 43 L/min.lamp. [3]

Cálculos efetuados para o caudal de ponta:

$$\text{Nr lâmpadas} = \frac{Q_0 \left(\frac{L}{\text{min}} \right)}{Q_{\text{tratado por lâmpada}}} = \frac{1136,7 \times \frac{1000}{(24 \times 60)}}{43} = 18,36 \approx 19 \text{ lâmpadas}$$

$$\text{Nr lâmpadas por secção} = \frac{\text{Nr lâmpadas}}{\text{Nr secções}} = \frac{19}{2} = 9,18 \approx 10 \text{ lâmpadas por secção}$$

Uma vez que só existem módulos de 2, 4, 6, 8 ou 16 lâmpadas optou-se por escolher cinco módulos de duas lâmpadas, ou seja, 10 lâmpadas por secção.

Considerando um espaçamento entre lâmpadas de 0,075m, então:

Área secção transversal

$$\begin{aligned}
 &= (nr \text{ lâmpadas por módulo} \times \text{espessamento lâmpadas}) \\
 &\times (nr \text{ módulos} \times \text{espessamento lâmpadas}) = (2 \times 0,075) \times (5 \times 0,075) \\
 &= 0,056 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Assumindo uma área da secção transversal da manga de quartzo igual a $4,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$:

Área canal = Área secção trasversal

$$\begin{aligned}
 &- [(nr \text{ módulos} \times nr \text{ lâmpadas por módulo}) \\
 &\times \text{Área secção transversal da manga}] = 0,056 - [(5 \times 2) \times 4,15 \times 10^{-4}] \\
 &= 0,052 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$v \text{ máx canal} = \frac{Q_0 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{nr \text{ canais} \times \text{Área canal}} = \frac{1136,7}{1 \times 0,052} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perda de carga no canal} &= 1,8 \frac{v^2}{2g} \times (nr \text{ secções} + 1) = 1,8 \times \frac{0,25^2}{2 \times 9,8} \times (2 + 1) = 0,0176 \text{ m} \\
 &= 17,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

B.9. Arejamento

Considerando pela tabela B.5:

$$a = 0,55 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgCBO}_5 \text{ removido}};$$

$$b = 0,06 \frac{\text{kgO}_2}{\text{dia. kgSSV reator}};$$

$$X_{v,a} = 4 \text{ g/L}$$

Para o caudal médio temos:

$$\begin{aligned}
 \text{Quantidade de O}_2 &= a \times (Sf - Se) \times Q_0 \text{ médio} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right) + b \times X_{v,a} \times V \text{ tanque arejamento} \\
 &= 0,55 \times (0,29 - 0,040) \times 400 + 0,06 \times 4 \times 245,8 = 113,08 \frac{\text{kgO}_2}{\text{dia}} = 4,71 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Tabela B.8 – Valores típicos para o arejador submerso [33]

Model	Output	Discharge Water Volume	Airflow Range	Reference Performance		Necessary Blowing Pressure at Air Supply Connection Port	Applicable Tank Size			Main Body Weight	Inlet Stand Weight
				Airflow	Oxygen Transfer Rate		Max. Volume	Max. Surface Area	Max. Length of Rectangle		
				m ³ /min (Normal)	kgO ₂ /h		m ³	m ²	m		
SJ37	3.7	17	1.1 ~ 6.8	3.76	14.3	Installation water depth + 3.5 (+300)	670	124	12.8	250	22

Considerando, segundo a tabela acima, uma taxa de transferência de oxigénio de 14,3 kgO₂/h:

$$Nr \text{ arejadores} = \frac{\text{Quantidade de } O_2}{14,3} = \frac{4,71}{14,3} = 0,33 \approx 1 \text{ arejador}$$

A figura que se segue é referente à curva característica do arejador.

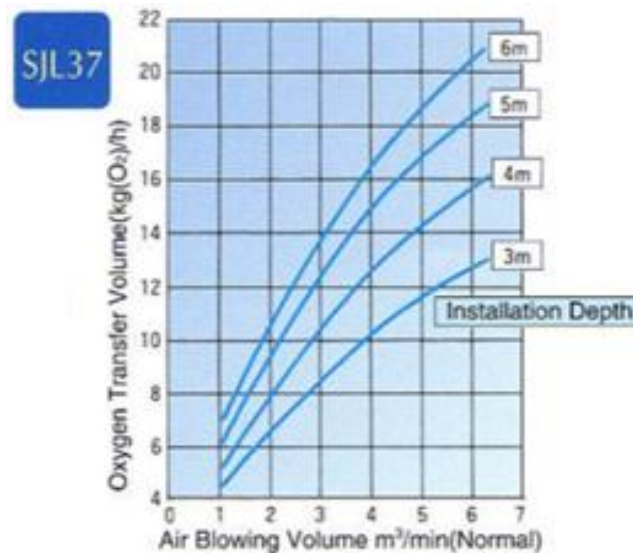


Figura B.1 – Curva característica do arejador [33]

Anexo C. Balanços materiais (caudais mássicos e volumétricos)

C.1. Gradagem

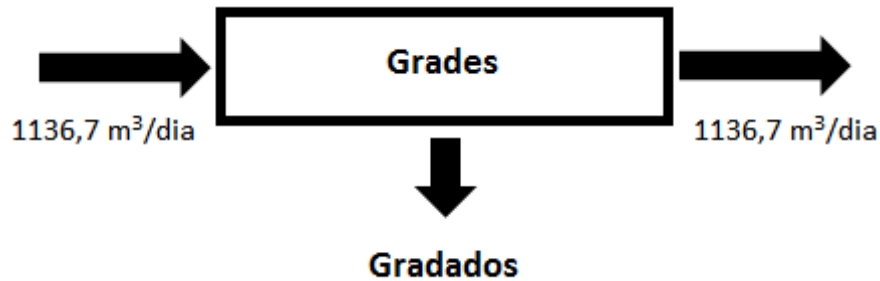


Figura C.1 – Diagrama de fluxo da etapa da gradagem

Considerando um fluxo médio de gradados de $15 \text{ m}^3/\text{Mm}^3$ de efluente: [42]

$$\begin{aligned} \text{Volume de gradados retirados} &= \text{Fluxo de gradados} \times \text{Caudal de ponta} = 15 \times 1136,7 \\ &= 0,017 \text{ m}^3/\text{dia} \end{aligned}$$

C.2. Desarenação



Figura C.2 – Diagrama de fluxo da desarenação

Considerando um fluxo de areias de $15 \text{ m}^3/\text{Mm}^3$ de efluente: [42]

$$\begin{aligned} \text{Volume de areias retiradas} &= \text{Fluxo de areias} \times \text{Caudal de ponta} = 15 \times 1136,7 \\ &= 0,017 \text{ m}^3/\text{dia} \end{aligned}$$

C.3. Decantador secundário

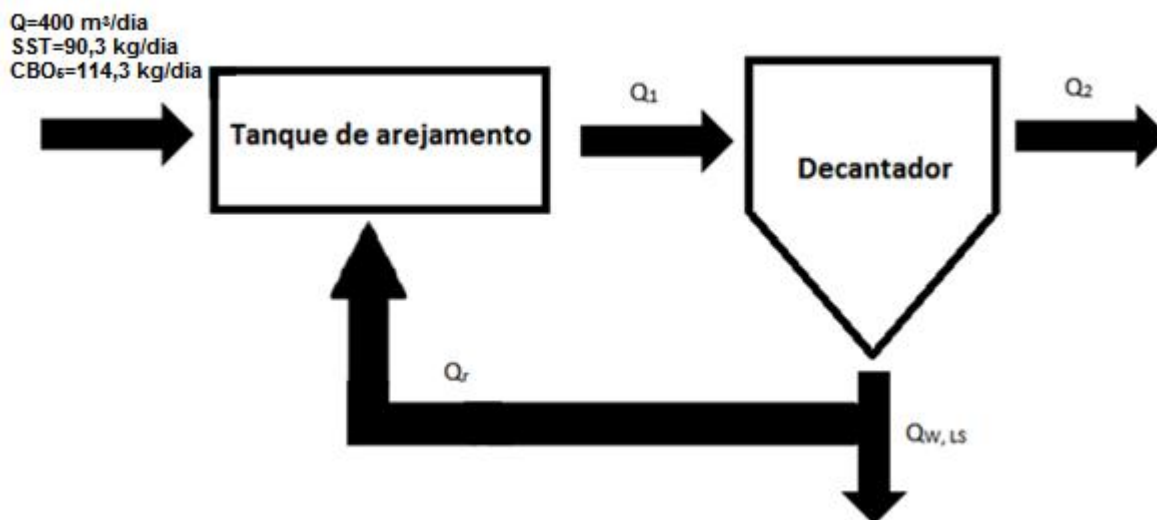


Figura C.3 – Diagrama de fluxo do tratamento secundário

C.3.1. Balanço ao caudal de recirculação

Tendo em conta o caudal médio e considerando:

$$\beta = 0,65;$$

$$X_{(t,u)} \text{ (SST nas lamias à saída do decantador)} = 15 \text{ g/L};$$

$$X_{(v,a)} = 4 \text{ g/L};$$

$$Y=0,6 \text{ kg}_{\text{SSV}};$$

$$K_d=0,05 \text{ kg}_{\text{SSV destr./dia}}.\text{kg}_{\text{SSV no reator}}$$

$$\text{Razão de refluxo} = [0,25-0,75]$$

$$X_{v,u} = \beta \times X_{t,u} = 0,65 \times 15 = 9,75 \text{ g/L}$$

$$\text{Razão de refluxo} = \frac{X_{v,a}}{X_{v,u} - X_{v,a}} = \frac{4}{9,75 - 4} = 0,696$$

$$\text{Caudal de recirculação, } Q_r = \text{Razão de refluxo} \times Q_{0 \text{ médio}} = 0,696 \times 400 = 278,26 \text{ m}^3/\text{dia}$$

C.3.2. Balanço ao decantador

Caudal lamias secundárias, $Q_{w,LS}$, tendo em conta o caudal médio:

$$\begin{aligned} \Delta X_v &= Y(S_f - S_e) \times Q_{0 \text{ médio}} - k_d \times X_{v,a} \times V_{\text{tanquearejamento}} \\ &= 0,6 \times (0,29 - 0,040) \times 400 - 0,05 \times 4 \times 245,8 = 9,83 \end{aligned}$$

$$Q_{W,LS} \cdot X_{v,w} + Q_2 \cdot X_{v,2} = Q_{0 \text{ médio}} \cdot X_{v,0} + \Delta X_v \leftrightarrow Q_{W,LS} = \frac{400 \times 0,056 + 9,83}{9,75} = 3,31 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Caudal à saída do decantador, Q_2 :

$$Q_{0 \text{ médio}} = Q_2 + Q_{W,LS} \leftrightarrow Q_2 = 400 - 3,31 = 396,69 \text{ m}^3/\text{dia}$$

C.3.3. Balanço à CBO₅ à saída do decantador

Pela licença ambiental: VLE (CBO₅)=40 mgO₂/L=0,04 kg/m³ = Se(CBO₅)

$$Q_{0 \text{ médio}} \times Se_{CBO_5} = 396,69 \times 0,04 = 15,87 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \text{ CBO}_5$$

C.3.4. Balanço aos SST à saída do decantador

Pela licença ambiental: VLE(SST)=60 mg/L=0,06 kg/m³ = Se(SST)

$$Q_{0 \text{ médio}} \times Se_{SST} = 396,69 \times 0,06 = 23,80 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \text{ SST}$$

C.4. Balanços para a verificação das necessidades dos nutrientes

Azoto:

$$\text{Concentração Azoto} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 0,5 + 0,02 \times \Delta X_v = 79,25 \times 0,5 + 0,02 \times 9,83 = 39,82 \text{ mg/L}$$

Fósforo:

$$\text{Concentração Fósforo} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 1 + 0,12 \times \Delta X_v = 7,7 \times 1 + 0,12 \times 9,83 = 8,88 \text{ mg/L}$$