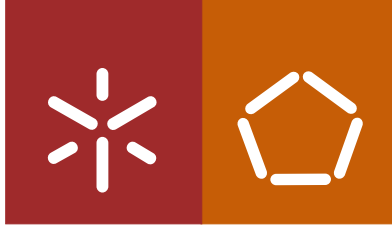


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carla Isabel Pires Louro

**Avaliação do Desempenho e Monitorização
das Estações de Tratamento de Águas
Residuais de Serzedo e do Sousa**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carla Isabel Pires Louro

**Avaliação do Desempenho e Monitorização
das Estações de Tratamento de Águas
Residuais de Serzedo e do Sousa**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Biológica
Ramo Tecnologia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação da
**Professora Doutora Maria Alcina Alpoim
de Sousa Pereira**

e da
Engenheira Vera Lúcia Costa Amaro

outubro de 2014

DECLARAÇÃO

Carla Isabel Pires Louro

Endereço eletrónico: a51098@alunos.uminho.pt Telefone: 964890939

Número do Bilhete de Identidade: 12252701

Título da Dissertação:

Avaliação do Desempenho e Monitorização das Estações de Tratamento de Águas Residuais de Serzedo e do Sousa

Orientadores:

Maria Alcina Alpoim de Sousa Pereira

Vera Lúcia Costa Amaro

Ano de conclusão: 2014

Dissertação submetida na Universidade do Minho para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biológica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:_____

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à Professora Doutora Maria Alcina Alpoim de Sousa Pereira pelo apoio, orientação, e disponibilidade prestada durante o estágio curricular e na realização deste trabalho.

Gostaria igualmente de expressar os meus agradecimentos à Engenheira Vera Lúcia Costa Amaro e à Engenheira Maria José pela orientação, tempo e disponibilidade prestadas durante o estágio curricular na empresa.

À empresa Águas do Noroeste, S.A. pela possibilidade da realização do estágio curricular e a todos os colaboradores da empresa pelo excelente acolhimento e apoio prestado.

À minha família, namorado e amigos por toda a motivação, apoio e compreensão durante todo o percurso académico.

Sumário

O presente trabalho teve como objetivo a monitorização da ETAR de Serzedo e da ETAR do Sousa, ambas pertencentes à empresa Águas do Noroeste S. A.. Através de trabalho de campo e laboratorial, realizado em cada ETAR e nos laboratórios internos de cada uma, foram avaliados e controlados os processos de tratamento de cada ETAR.

A análise aos parâmetros da ETAR de Serzedo mostrou uma água residual de entrada com elevada carga orgânica e nutrientes sendo que o posterior tratamento foca estas características. Verificou-se que tanto a água residual de entrada como a de saída cumpriram, de uma maneira geral, os valores limite de alerta propostos pela empresa e também os valores limite de emissão a cumprir pela legislação.

Relativamente à ETAR do Sousa a avaliação dos parâmetros de entrada permitiu constatar que a água residual de entrada apresentava uma elevada carga orgânica com uma elevada biodegradabilidade e uma elevada concentração de azoto total, maioritariamente composto por azoto amoniacal. Esta ETAR estava ainda em início de exploração por parte desta empresa, contudo cumpriu os requisitos legais à saída.

As eficiências de remoção dos sistemas de tratamento para a remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes mostraram que a ETAR de Serzedo e a ETAR do Sousa apresentaram um bom funcionamento no tratamento destes parâmetros. As eficiências dos sistemas de desidratação de ambas as ETAR's foram elevadas e rondaram a eficiência estimada do equipamento.

De uma forma geral, pode dizer-se que tanto a ETAR do Sousa como a ETAR de Serzedo tiveram um bom funcionamento e que o controlo analítico destes parâmetros e processos é indispensável na avaliação e monitorização de uma ETAR.

Abstract

The present study aimed to monitor the performance of two Wastewater Treatment Plants (WWTPs), Serzedo's and Sousa's, both belonging to the company Águas do Noroeste SA. The processes in each WWTP were evaluated and controlled through field and laboratory work, performed in both facilities.

The analysis of the parameters indicated that Serzedo's WWTP effluent input had high organic and nutrients load. The subsequent treatment focused on these features. It was found that both the wastewater inlet and the outlet fulfilled, in general, the warning limit values proposed by the company and also the limit values to meet the emission legislation.

The Sousa's WWTP evaluation of input parameters indicated that the wastewater inlet had a high organic load with a high biodegradability and a high concentration of total nitrogen, this last one mainly ammoniacal nitrogen. This WWTP was still in early exploration by this company but already fulfilled the legal requirements.

Summarizing, it was found that both WWTPs had a good performance and that the control of the chemical and physicals parameters and processes are essential to evaluate and monitor the WWTP's.

Índice

| | |
|---|-----|
| Agradecimentos | iii |
| Sumário | v |
| Abstract | vii |
| Índice | ix |
| Lista de Figuras | xii |
| Lista de Tabelas | xiv |
| Lista de Siglas e Abreviaturas | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento..... | 1 |
| 1.2. Objetivos do estágio curricular | 3 |
| 1.3. A empresa Águas do Noroeste S. A..... | 3 |
| 1.4. Estrutura da dissertação | 5 |
| 2. Revisão bibliográfica | 7 |
| 2.1. Tratamentos de águas residuais | 7 |
| 2.1.1. Tratamento preliminar | 8 |
| 2.1.2. Tratamento primário..... | 9 |
| 2.1.3. Tratamento secundário | 9 |
| 2.1.4. Tratamento terciário | 9 |
| 2.2. Processo biológico – Tratamento por Lamas Ativadas | 10 |
| 2.2.1. Parâmetros do processo | 11 |
| 2.2.1.1. Idade das lamas..... | 11 |
| 2.2.1.2. Índice volumétrico de lamas | 12 |
| 2.2.1.3. Razão A/M..... | 12 |
| 2.2.1.4. Biodegradabilidade | 13 |
| 2.2.1.5. Oxigénio Dissolvido | 13 |
| 2.2.1.6. pH e Temperatura | 13 |
| 2.3. Remoção de Nutrientes | 14 |
| 2.4. Tratamento de lamas | 15 |
| 2.4.1. Espessamento | 15 |
| 2.4.2. Estabilização | 16 |
| 2.4.3. Digestão anaeróbia | 16 |
| 2.4.4. Desidratação de lamas | 17 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3. | Descrição dos processos de tratamento | 18 |
| 3.1 | ETAR de Serzedo..... | 18 |
| 3.1.1 | Obra de entrada e Tratamento Preliminar..... | 19 |
| 3.1.2 | Tratamento biológico – Vala de oxidação | 21 |
| 3.1.3 | Tratamento Terciário – Remoção de cor | 23 |
| 3.1.4 | Tratamento de lamas | 25 |
| 3.2 | ETAR do Sousa..... | 27 |
| 3.2.1 | Elevação inicial e tratamento preliminar | 28 |
| 3.2.2 | Tratamento secundário | 29 |
| 3.2.3 | Reutilização do efluente tratado..... | 31 |
| 3.2.4 | Tratamento das lamas em excesso | 31 |
| 3.2.5 | Desodorização | 33 |
| 3.3 | Enquadramento legal | 33 |
| 4. | Metodologias | 37 |
| 4.1 | Trabalho de campo..... | 37 |
| 4.2 | Controlo Laboratorial | 38 |
| 4.3 | Protocolos Laboratoriais | 41 |
| 4.3.1 | Sólido Suspensos Totais e Sólidos Suspensos Voláteis | 41 |
| 4.3.2 | Matéria seca e Matéria volátil | 42 |
| 4.3.3 | Sólidos totais e Sólidos voláteis | 43 |
| 4.3.4 | Carência Química de Oxigénio (CQO)..... | 43 |
| 4.3.5 | Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅) | 44 |
| 4.3.6 | Azoto Amoniacal e dos Nitratos..... | 45 |
| 4.3.7 | Azoto total..... | 45 |
| 4.3.8 | Fósforo total | 46 |
| 4.3.9 | pH | 46 |
| 5. | Apresentação e discussão de resultados | 47 |
| 5.1 | ETAR de Serzedo..... | 47 |
| 5.1.1 | Caudal de afluência | 47 |
| 5.1.2 | Água Residual Bruta | 48 |
| 5.1.3 | Vala de oxidação | 52 |
| 5.1.4 | Recirculação | 56 |
| 5.1.5 | Água Residual Tratada..... | 57 |
| 5.1.6 | Tratamento de Lamas | 61 |
| 5.2 | ETAR do Sousa..... | 62 |
| 5.2.1 | Caudal de afluência | 62 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.2 | Água residual bruta | 62 |
| 5.2.3 | Decantador Primário | 66 |
| 5.2.4 | Reator Biológico | 67 |
| 5.2.5 | Recirculação | 69 |
| 5.2.6 | Tratamento de lamas | 69 |
| 5.2.7 | Biogás | 71 |
| 5.2.8 | Água residual tratada | 72 |
| 5.3 | Eficiências de remoção dos tratamentos | 76 |
| 6. | Conclusão | 79 |
| 7. | Bibliografia | 81 |
| 8. | Anexos | 83 |

Lista de Figuras

- Figura 1. Mapa geográfico das Águas do Noroeste S.A.
- Figura 2. Representação esquemática de um sistema de lamas ativadas.
- Figura 3. Imagem geral da ETAR de Serzedo.
- Figura 4. Elevação inicial (parafusos de Arquimedes) ETAR de Serzedo.
- Figura 5. Vala de oxidação da ETAR de Serzedo.
- Figura 6. Decantador secundário da ETAR de Serzedo.
- Figura 7. Tambor de espessamento do tratamento de lamas da ETAR de Serzedo.
- Figura 8. Centrífuga de desidratação da ETAR de Serzedo.
- Figura 9. Imagem da ETAR do Sousa.
- Figura 10. Vala de oxidação da ETAR do Sousa.
- Figura 11. Digestor anaeróbio e gasómetro da ETAR do Sousa.
- Figura 12. Caudal de entrada da água residual bruta da ETAR de Serzedo.
- Figura 13. Variação do pH (escala de Sorensen) da água residual bruta na ETAR de Serzedo.
- Figura 14. Variação da CQO e CBO na água residual bruta da ETAR de Serzedo.
- Figura 15. Variação dos SST e SSV na água residual bruta da ETAR de Serzedo.
- Figura 16. Variação do Fósforo total e Azoto total na água residual bruta na ETAR de Serzedo.
- Figura 17. Variação do azoto amoniacal e nitratos na água residual bruta na ETAR de Serzedo.
- Figura 18. Variação do índice volumétrico de lamas (IVL) no reator biológico da ETAR de Serzedo.
- Figura 19. Variação da biodegradabilidade e da razão A/M no reator biológico da ETAR de Serzedo.
- Figura 20. Variação do TRS no reator biológico da ETAR de Serzedo.
- Figura 21. Variação dos SST e dos SSV no Licor Misto 1 da ETAR de Serzedo.
- Figura 22. Variação dos SST e dos SSV no Licor Misto 2 da ETAR de Serzedo e respetivos VLA.
- Figura 23. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 1 da ETAR de Serzedo.
- Figura 24. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 2 da ETAR de Serzedo.
- Figura 25. Variação do pH (escala de Sorensen) da água residual tratada na ETAR de Serzedo.
- Figura 26. Variação da CQO e CBO na água residual tratada da ETAR de Serzedo.
- Figura 27. Variação dos SST e SSV na água residual tratada da ETAR de Serzedo.
- Figura 28. Variação do fósforo total e azoto total na água residual tratada da ETAR de Serzedo.
- Figura 29. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos na água residual tratada da ETAR de Serzedo.

Figura 30. Variação da % MS e MV das lamas desidratadas e lamas espessadas da ETAR de Serzedo.

Figura 31. Caudal de entrada da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 32. Variação do pH (Escala de Sorensen) água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 33. Variação da CQO e CBO da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 34. Variação do fósforo total e do azoto total da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 35. Variação dos SST e SSV da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 36. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Figura 37. Variação do Índice Volumétrico de Lamas do reator biológico da ETAR do Sousa.

Figura 38. Variação do Tempo de Retenção de Sólidos no reator biológico da ETAR do Sousa.

Figura 39. Variação da razão A/M e da biodegradabilidade no reator biológico da ETAR do Sousa.

Figura 40. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 1 e 2 da ETAR do Sousa.

Figura 41. % MS e % MV das lamas espessadas do tratamento de lamas da ETAR do Sousa.

Figura 42. % MS e % MV das lamas digeridas e desidratadas do tratamento de lamas da ETAR do Sousa.

Figura 43. Variação do pH (Escala de Sorensen) da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Figura 44. Variação da CQO e CBO da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Figura 45. Variação do fósforo total e do azoto total da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Figura 46. Variação dos SST e SSV da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Figura 47. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valores limite de emissão (VLE) para a descarga de águas residuais no meio hídrico.

Tabela 2. Infra – estruturas de Abastecimento de água.

Tabela 3. Infra – estruturas de Saneamento de Águas Residuais.

Tabela 4. Sumário dos contaminantes a remover nas águas residuais.

Tabela 5. Métodos de espessamento e a sua respetiva descrição.

Tabela 6. Descrição dos processos de desidratação de lamas de ETAR.

Tabela 7. Valores limite de emissão (VLE) para a ETAR de Serzedo.

Tabela 8. Valores limite de emissão (VLE) para a ETAR do Sousa.

Tabela 9. Valores limite de alerta (VLA) para todos os parâmetros da ETAR de Serzedo.

Tabela 10. Locais e tipo de parâmetros a analisar pelos operadores na ETAR de Serzedo e do Sousa.

Tabela 11. Plano com os tipo de amostra e parâmetros a analisar na ETAR de Serzedo.

Tabela 12. Plano com os tipo de amostra e parâmetros a analisar na ETAR do Sousa.

Tabela 13. Volumes de amostra a utilizar de acordo com os valores estimados para a análise da CBO_5 .

Tabela 14. Médias e desvio padrão das características da água residual bruta da ETAR de Serzedo.

Tabela 15. Médias e desvio padrão e VLE dos parâmetros da água residual tratada da ETAR de Serzedo.

Tabela 16. Médias e desvio padrão das características da água residual bruta da ETAR do Sousa.

Tabela 17. Médias dos $SST_{Entrada}$, $SST_{Decantador}$ e do rendimento do processo de Decantação Primária.

Tabela 18. Características do Biogás produzido pelo digestor na ETAR do Sousa.

Tabela 19. Médias e desvio padrão e VLE dos parâmetros da água residual tratada da ETAR o Sousa.

Tabela 20. Resumo das eficiências de remoção da matéria orgânica e dos nutrientes e percentagens de captura de sólidos no tratamento de lamas da ETAR de Serzedo.

Tabela 21. Resumo das eficiências de remoção da matéria orgânica, nutrientes, sólidos e percentagens de captura de sólidos no tratamento de lamas da ETAR do Sousa.

Lista de Siglas e Abreviaturas

% - Percentagem;

°C - Graus centígrados;

APA - Agencia Portuguesa do Ambiente;

CBO₅ - Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias;

CH₄ - Metano;

CO₂ - Dióxido de carbono;

CQO - Carência Química de Oxigénio;

ETA - Estação de Tratamento de Águas;

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais;

g - Gramas;

g PE/kg MS - gramas de polieletrólito por quilograma de matéria seca;

IVL - índice volumétrico de lamas;

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico;

km - Quilómetros;

L - Litros;

m - Metros;

m/s - Metros por segundo;

m³ - Metros cúbicos;

mg/L - miligramas por litro;

mg_{CBO}/(mg_{SST}.d) - miligramas de CBO por miligramas de SST por dia;

ml - mililitros;

mm - Milímetros;

MS - Matéria seca;

MV - Matéria volátil

mV - milivoltes;

NH₄⁺ - Azoto amoniacal;

NO₃⁻ - Nitratos;

N_{total} - Azoto total;

O₂ - Oxigénio;

OD - Oxigénio dissolvido;

P_{total} - Fósforo total;

Q - Caudal

Razão A/M - razão alimento/ microrganismo;

SST - Sólidos suspensos totais;

$SST_{Decantador}$ - Sólidos suspensos totais à saída do decantador primário;

$SST_{Entrada}$ - Sólidos suspensos totais à entrada do decantador primário;

SSV - Sólidos suspenso voláteis;

ST - Sólidos totais;

SV - Sólidos voláteis;

TKN - Azoto de Kjeldahl;

TRS - Tempo de retenção de sólidos;

UV - Ultravioleta;

V - Volume

VLA - Valor limite de alerta;

VLE - Valor limite de emissão

Introdução

1.1 Enquadramento

A água é um bem essencial à vida, pelo que a sua conservação constitui um dos pilares mais importantes para o desenvolvimento sustentável, e como tal a poluição deste recurso natural domina o interesse e preocupação mundial sobre a qualidade da água [1]. Na maioria dos países desenvolvidos, em especial os que são densamente povoados e industrializados, as necessidades de água para o uso doméstico e para as atividades industriais aumentam o consumo de água e contribuem para um aumento de descargas poluentes cada vez mais diversificadas o que exige um grau de tratamento mais específico e sofisticado [2].

São fatores como o contínuo crescimento populacional e o aumento do desenvolvimento industrial que levaram as descargas poluentes a atingir proporções alarmantes. Assim é necessário um aumento do investimento no controle e tratamento das águas para que possamos usufruir deste bem para os diversos fins sem constituir danos para a saúde pública e para o meio ambiente [1, 3].

Uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) tem como função acelerar os processos naturais de purificação de água que devido aos fatores referidos anteriormente, aumentou o volume de águas residuais e mudou as características biológicas e químicas das águas a tratar [1].

Os principais objetivos de uma ETAR são o tratamento das águas residuais com vista a cumprir os requisitos legais para descarga e a qualidade das águas depende de um conhecimento profundo do tratamento e tecnologias existentes nas instalações de tratamento e também das capacidades dos operadores das ETAR's de reconhecer e dar resposta aos tratamentos lá existentes [4].

A exploração de uma ETAR para além dos objetivos referidos anteriormente deve seguir várias medidas para uma boa gestão e bom funcionamento como [5]:

- Gerir adequadamente os resíduos maximizando a sua valorização e evitando um destino final incorreto;
- Minimizar os odores;

- Otimizar o funcionamento dos equipamentos, como por exemplo com o aproveitamento de biogás caso exista um tratamento anaeróbio para o aproveitamento de energia;
- Reduzir os consumos de água com o aproveitamento do efluente tratado;
- Garantir o bom funcionamento dos órgãos, obtendo o grau de tratamento para o qual foi projetado;
- Nunca efetuar uma descarga direta no meio hídrico sem o cumprimento dos requisitos legais.

Para se uniformizar os tratamentos nas estações de tratamento de águas residuais, bem como o licenciamento das descargas de águas residuais domésticas e industriais tem-se em conta o Decreto – Lei 152/97 de 19 de Junho [6] e também o Decreto – Lei 236/98 de 1 de Agosto [7], que diz respeito às normas com a finalidade de proteger o meio aquático e ajudar na melhoria da qualidade das águas. Os VLE segundo este Decreto – Lei encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Valores limite de emissão (VLE) para a descarga de águas residuais no meio hídrico.

[adaptado DL n.º 236/98] [7]

| Parâmetros | Expressão dos resultados | VLE |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| pH | Escala de Sorensen | 6,0 – 9,0 |
| Temperatura | °C | Aumento de 3°C |
| CBO ₅ , 20°C | mg /L | 40 |
| CQO | mg/L | 150 |
| SST | mg/L | 60 |
| Cheiro | - | Não detetável na diluição 1:20 |
| Cor | - | Não visível na diluição 1:20 |
| Azoto amoniacal | mg/L NH ₄ | 10 |
| Azoto total | mg/L N | 15 |
| Nitratos | mg/L NO ₃ | 50 |
| Fósforo | mg/L P | 10 |

Assim, para se produzir uma água residual tratada de alta qualidade que respeite todos os VLE decretados é necessário o bom funcionamento das estações de tratamento tendo sempre

como objetivos principais realizar todas estas operações sem causar incómodo para a saúde pública e para o meio ambiente e fazê-lo de uma maneira eficiente e económica, respeitando todas as normas e monitorizando de uma forma adequada os processos de cada ETAR [2].

1.2 Objetivos do estágio curricular

O estágio curricular ocorreu na empresa Águas do Noroeste S.A., mais especificamente em duas ETAR's distintas, a ETAR de Serzedo e a ETAR do Sousa. Este estágio teve como objetivos adquirir conhecimentos e experiências no tratamento de águas residuais, aprendendo a lidar com problemas e situações que acontecem diariamente no funcionamento de uma ETAR. Teve como objetivos mais específicos, que contribuíram para a recolha de material para a presente dissertação, a realização de trabalho laboratorial e de campo que permitiram adquirir conhecimentos e monitorizar a ETAR.

1.3 A empresa Águas do Noroeste S. A.

A empresa Águas do Noroeste S.A. iniciou a sua atividade a 4 de junho de 2010 no seguimento da publicação do Decreto – Lei nº 41/2010 de 29 de Abril e assim criou o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Noroeste. A Empresa resultou de um processo de fusão das Sociedades Águas do Cávado, S.A., Águas do Minho e Lima, S.A. e Águas do Ave, S.A. [5].

A missão desta empresa visa conceber, construir, e explorar as infraestruturas de abastecimento de água e de saneamento do sistema multimunicipal, num quadro de sustentabilidade económica, social e ambiental, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e para o desenvolvimento económico sustentável [5].

As Águas do Noroeste têm como objetivo a captação de água e o respetivo tratamento e fornecimento aos utilizadores e também o tratamento e rejeição de águas residuais domésticas e industriais em 32 municípios da região do norte, sendo estes, predominantemente da região do Minho, numa área de intervenção de cerca de 6000 km² (figura 1) [5].

O sistema multimunicipal de abastecimento de águas, que inclui 13 ETA's, está presente nos municípios de Arcos de Valdevez, Barcelos, Caminha, Esposende, Fafe, Maia (Norte), Melgaço, Monção, Mondim de Basto, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Póvoa de Lanhoso,

Tabela 2. Infra – estruturas de Abastecimento de água [adaptada de 5]

| Abastecimento de Água | |
|------------------------------|-------|
| Captações | 14 |
| ETA | 13 |
| Conduatas Adutoras (Km) | 1,196 |
| Estações Elevatórias | 104 |
| Reservatórios | 273 |

Tabela 3. Infra – estruturas de Saneamento de Águas Residuais [adaptada de 5]

| Saneamento de Águas Residuais | |
|--------------------------------------|-------|
| ETAR | 95 |
| Interceptores (Km) | 1,415 |
| Estações Elevatórias | 267 |
| Reservatórios | 273 |

A operação para o abastecimento de água está dividida em diferentes atividades como a captação da água no meio hídrico, o tratamento, ou seja, correção das características físicas, químicas e bacteriológicas da água por forma a torna-la adequada para consumo, seguido do transporte da zona de captação e tratamento para zonas de consumo (adução), armazenamento e distribuição. Relativamente a operação de saneamento de águas residuais esta envolve atividades como a recolha, transporte desde o ponto de recolha até às ETAR´s, o tratamento com correção das características físicas, químicas e biológicas, processamento de lamas (fase sólida) geradas no tratamento das águas, destino final, reutilização e distribuição das águas para usos compatíveis com a sua qualidade nomeadamente para rega de espaços verdes [5].

1.4 Estrutura da dissertação

No capítulo 1 encontra-se a introdução com o enquadramento sobre o tema abordado, os objetivos do trabalho e com uma breve apresentação da empresa.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica sobre os tratamentos de águas residuais, o sistema de lamas ativadas e o tratamento de lamas de uma ETAR, respetivamente.

O capítulo 3 refere-se à descrição e apresentação do processo de tratamento da ETAR de Serzedo e do Sousa e o enquadramento legal de cada ETAR.

O capítulo 4 é referente às metodologias usadas durante o estágio curricular para o controlo das duas ETAR's.

No capítulo 5 estão apresentados e discutidos todos os resultados recolhidos durante o estágio.

Finalmente no capítulo 6, 7 e 8 apresenta-se a conclusão da dissertação, seguida das referências bibliográficas e anexos.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Tratamentos de águas residuais

Existem inúmeros processos para o tratamento de águas residuais, contudo estes têm que ser adequadamente escolhidos para produzir um efluente dentro dos requisitos de descarga [9]. A escolha dos tratamentos dependem das características das águas residuais a tratar, estas podem ser de ordem física, química e biológica, sendo estas as características que vão ditar a natureza do tratamento [10].

As características das águas residuais dependem do uso que se dá à água e podem resultar de diversas fontes como domésticas, industriais, irrigação, agricultura. De uma forma geral são as águas residuais domésticas e industriais que são prioritárias no tratamento de águas. O esgoto doméstico contém 99,9 % de água sendo a restante percentagem, de uma forma geral, formada por matéria orgânica e inorgânica, sólidos suspensos e microrganismos [21]. A água residual industrial depende da natureza da indústria e muitos dos seus poluentes devem ser retirados antes da descarga numa estação de tratamento [22]. Os principais poluentes deste tipo de água são matéria orgânica solúvel responsável pela diminuição do oxigénio dissolvido, sólidos suspensos, metais pesados, cor, turbidez e nutrientes como o fósforo e azoto [22].

Na tabela 4 estão apresentados os principais contaminantes a analisar e a remover numa estação de tratamentos de água residuais e breves descrições [10, 21].

Tabela 4. Sumário dos contaminantes a remover nas águas residuais [adaptado de 21]

| Contaminante | | Descrição |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| Sólidos suspensos | | Parte orgânica e inorgânica dos sólidos que não são filtráveis. Os sólidos suspensos voláteis representam os compostos orgânicos, oxidáveis. |
| Matéria orgânica | Carência Química de Oxigénio - CQO | Representa a quantidade de oxigénio necessária para estabilizar a matéria orgânica carbonácea. |
| | Carência Bioquímica de Oxigénio - CBO | Representa fração de matéria orgânica biodegradável. É o oxigénio consumido pelos |

| | | |
|---------------|--|---|
| | | microrganismos para estabilização bioquímica da matéria orgânica. |
| Azoto total | | Inclui o azoto orgânico, azoto amoniacal, nitratos e nitritos. O azoto orgânico e o amoniacal são chamados de azoto de Kjeldahl (TKN) |
| Fosforo total | | Constituído pelo fósforo orgânico e o fosforo inorgânico (ortofosfatos e polifosfatos) |
| Temperatura | | Varia com as estações do ano ou a indústria. Importante na atividade dos microrganismos |
| pH | | Indicador da acidez ou alcalinidade da água residual. Normalmente os processos biológicos têm tendência a diminuir o pH. |

Os tratamentos de uma ETAR são necessários para remover os compostos referidos anteriormente contudo um processo unitário por si só não é suficiente para a remoção de todos estes poluentes, logo uma consequente combinação de vários tratamentos é necessária [9].

Os processos de tratamento de uma ETAR podem ser classificados e divididos em tratamento preliminar, primário, secundário ou biológico e terciário, abordados nas seguintes secções [9, 10].

2.1.1 Tratamento preliminar

O Pré- tratamento ou tratamento preliminar corresponde a operações unitárias realizadas numa ETAR com o objetivo de se retirarem os resíduos mais grosseiros que possam entupir ou danificar os equipamentos seguintes como por exemplo as bombas e tubagens e são também os processos que preparam o efluente para os tratamentos subseqüentes, o tratamento secundário ou biológico [10].

Os tratamentos preliminares caracterizam-se pela sua natureza química e física. A gradagem, equalização, remoção de inertes, desengordurador, coagulação, flotação, neutralização são alguns exemplos deste tipo de tratamento. A gradagem é normalmente constituída por grades de barras de modo a recolher os objetos de maiores dimensões, e os

desarenadores/desengorduradores para remover as partículas de areias e/ou os óleos e as gorduras. O efluente está também sujeito nesta etapa à correção do pH, homogeneização do caudal e à adição de nutrientes se necessário [10].

2.1.2 Tratamento primário

O objetivo do tratamento primário é produzir um efluente líquido clarificado de qualidade mais adequada para os tratamentos seguintes. São usados nesta etapa os desarenadores para separação de areias, os decantadores primários para a remoção. Os principais benefícios deste tipo de tratamento são a redução da concentração de sólidos, carga orgânica e do material flutuante [10].

2.1.3 Tratamento secundário

Os objetivos principais do tratamento secundário no tratamento de águas residuais domésticas e industriais é a remoção da matéria orgânica biodegradável, sólidos em suspensão e coloidais e remover nutrientes como o fósforo e o azoto [9, 10].

Os processos biológicos podem ser aeróbios em que os microrganismos dependem da presença de oxigénio, anaeróbios quando envolvem microrganismos com um metabolismo fermentativo que só resistem na ausência de oxigénio e também anóxicos que ocorre praticamente na ausência de oxigénio e o aceitador final de eletrões são compostos inorgânicos [10].

2.1.4 Tratamento terciário

Os tratamentos terciários ou de afinação são tratamentos muito específicos, localizados na última etapa de tratamento de uma ETAR, com o objetivo de uma afinação do efluente ou da retenção de um poluente específico. Destinam-se a aumentar a eficiência de remoção de sólidos em suspensão, de microrganismos, nutrientes ou até de compostos tóxicos específicos que possam não ter sido eliminados nos processos anteriores [10].

Os tratamentos físico – químicos que podem ser encontrados neste tipo de tratamento são: adsorção, permuta iónica, desinfecção por ozono, radiação UV, oxidação química, filtração com areia ou carvão, osmose inversa e oxidação avançada [10]

2.2 Processo biológico – Tratamento por Lamas Ativadas

As lamas ativadas são os processos biológicos mais utilizados para tratar águas residuais provenientes da atividade doméstica e industrial [11]. No presente capítulo vão ser abordadas as vantagens, desvantagens e os processos biológicos que ocorrem neste tipo de tratamento por ser o processo usado como tratamento secundário nas duas ETAR's onde decorreu o estágio curricular.

Um sistema de lamas ativadas é constituído por um reator arejado seguido de um decantador secundário com recirculação e purga das lamas em excesso [11] (figura 2).

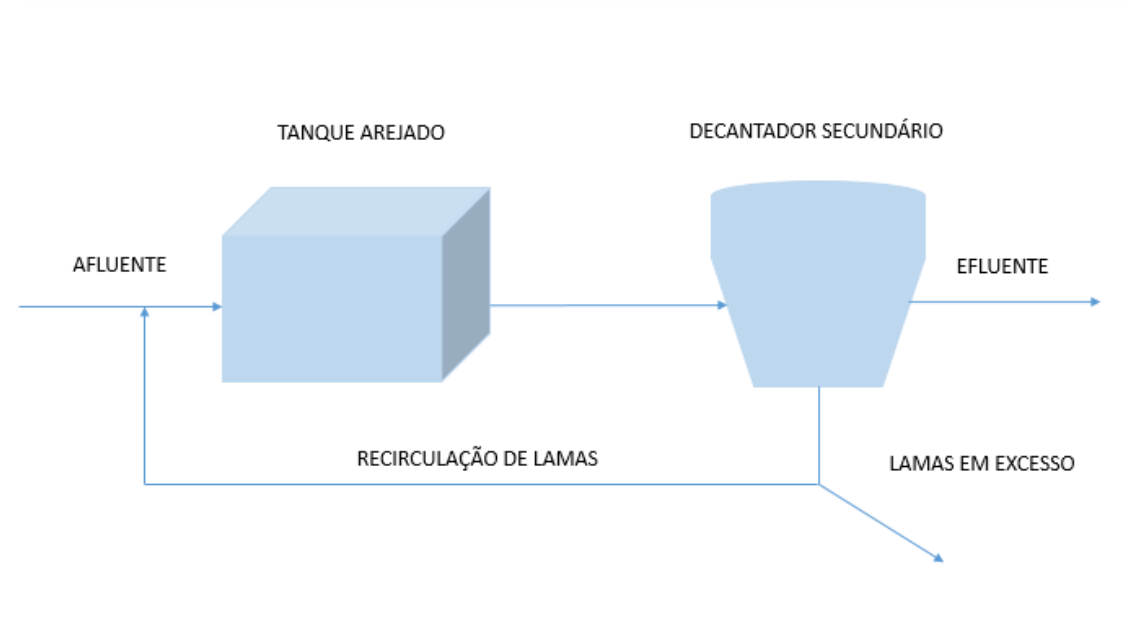


Figura 2. Representação esquemática de um sistema de lamas ativadas.

Neste sistema os microrganismos estão em constante contacto com o efluente a tratar para a remoção da matéria orgânica na presença de oxigénio [12]. As reações químicas associadas a esta remoção acontecem no reator biológico (arejado), onde a biomassa se desenvolve usando o efluente como substrato e posteriormente segue para o decantador para a separação da biomassa obtendo-se assim o efluente clarificado [11].

Dentro do sistema de lamas ativadas existem vários tipos de processos e modificações como por exemplo o convencional, mistura completa, SBR (*Sequencing Batch Reactor*), as valas de oxidação de arejamento prolongado, tipo de reator usado na ETAR de Serzedo e do Sousa [10]. Contudo, este não é o único fator a ter em conta no projeto de um sistema de lamas ativadas, é preciso ter em atenção a carga aplicada, a produção de lamas, as necessidades de oxigénio e

nutrientes, as características do efluente a tratar e controlar o tipo de microrganismos presentes, principalmente as bactérias filamentosas [10].

As valas de oxidação merecem especial atenção neste trabalho por ser a configuração de reator usada em ambas as ETAR's. Estes reatores funcionam com um regime de mistura completa para a maior parte das variáveis e têm fluxo de pistão. Relativamente ao arejamento este deve ser fornecido consoante as necessidades de oxigénio e para garantir uma velocidade horizontal de 0,30 a 0,50 m/s para evitar a sedimentação de sólidos no reator [13].

As valas de oxidação são caracterizadas por longos tempos de retenção de sólidos e são muitas vezes utilizadas para a remoção de nutrientes alternando zonas anóxicas com zonas arejadas para promover a nitrificação e desnitrificação [12].

As principais vantagens da operação em valas de oxidação são [12]:

- Elevado desempenho de remoção;
- Características de mistura completa o que minimiza o impacto de cargas elevadas;
- Menor produção de lamas quando comparado com outro processo biológico;

Esta modificação tem a desvantagem de ter elevadas concentrações de sólidos em suspensão e requerer grandes áreas para a sua implementação, sendo os custos de aquisição elevados [12].

2.2.1 Parâmetros do processo

O processo de lamas ativadas é um sistema biológico complexo e para a sua operação são vários os parâmetros que afetam a sua performance como o tempo de residência dos sólidos, arejamento, razão A/M, pH, temperatura [12]. Nesta secção serão abordadas as variáveis que afetam este processo.

2.2.1.1 Idade das lamas

A idade das lamas ou o tempo de retenção de sólidos (TRS) é um parâmetro fundamental para a operação de um sistema de lamas ativadas e está relacionado com o volume do reator, a produção de sólidos e com o consumo de oxigénio [10]. Este parâmetro representa o tempo que os sólidos permanecem dentro do reator e é representado pela equação:

$$\text{TRS} = \frac{\text{SST}_L \times V}{Q_p \times \text{SST}_R} \quad \text{Equação 1}$$

Os SST_L (mg/L) são os sólidos suspensos totais no licor misto, ou seja dentro do reator biológico, o V (m^3) é o volume do reator, Q_p (m^3/dia) é o caudal de purga das lamas em excesso e os SST_R (mg/L) são os sólidos suspensos totais das lamas recirculadas.

2.2.1.2 Índice volumétrico de lamas

O índice volumétrico das lamas (IVL) é um parâmetro que mede a capacidade de sedimentação das lamas e valores que ultrapassem os 150 ml/g são associados a bactérias filamentosas que dificultam a sedimentação. Ele é definido como o volume em ml ocupado por 1 g de lamas após 30 minutos numa proveta de 1 L e é dado pela equação 2 [10]:

$$\text{IVL} = \frac{\text{VLS} \times 1000}{\text{SST}} \quad \text{Equação 2}$$

Os SST (mg/L) são os sólidos dentro do reator biológico e o VLS é o volume de lamas sedimentadas é dado em ml/g.

2.2.1.3 Razão A/M

A razão A/M (alimento/microrganismo), também chamada de razão F/M (*Food/Microrganism*) é a carga orgânica aplicada ao sistema expressa em $\text{mg}_{\text{CBO}}/(\text{mg}_{\text{SST}} \cdot \text{d})$ e é dada pela equação 3 [10]:

$$\text{Razão A/M} = \frac{Q \times [\text{CBO}_5]}{[\text{SST}] \times V} \quad \text{Equação 3}$$

Em que o Q é o caudal de entrada no reator em m^3/dia , $[\text{CBO}_5]$ é a concentração de CBO em mg/L de entrada, $[\text{SST}]$ é a concentração de sólidos suspensos totais em mg/L dentro do reator e V é o volume em m^3 do reator biológico.

2.2.1.4 Biodegradabilidade

A biodegradabilidade do sistema expressa pela equação 4 é calculada a partir da CQO e da CBO₅ do efluente de entrada. Esta relação expressa a matéria orgânica biodegradável no sistema biológico e para águas residuais municipal este valor pode variar de 0,4 a 0,8. Quanto maior esta razão maior será a facilidade do funcionamento do tratamento biológico [10].

$$\text{Biodegradabilidade} = \frac{\text{CBO}}{\text{CQO}} \quad \text{Equação 4}$$

2.2.1.5 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido necessário para o funcionamento de um tanque de lamas ativadas é calculado consoante as necessidades dos microrganismos para oxidar a matéria orgânica. Os valores típicos de arejamento devem situar-se entre os 1,5 e os 4 mg/L, contudo o valor normalmente usado são os 2 mg/L de oxigênio dissolvido. Este é um fator importante pois um défice de oxigênio promove o crescimento de bactérias filamentosas o que dificulta a sedimentação da biomassa [10].

2.2.1.6 pH e Temperatura

A temperatura é um fator muito importante na operação com um sistema de lamas ativadas, pois tem grande influência no metabolismo microbiano. De uma forma geral, um aumento da temperatura promove as reações químicas e biológicas mas esta influência da temperatura pode diminuir com o aumento da idade das lamas. Contudo, comparativamente com outros processos biológicos, o sistema de lamas ativadas é que o tratamento em que a temperatura tem menos impacto [11].

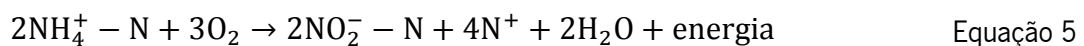
O pH é também um parâmetro de relevância pois este afeta as reações químicas no reator, particularmente as reações de nitrificação. Baixos valores de pH podem inibir as reações de nitrificação e favorecem o crescimento de bactérias filamentosas. Muitas estações de tratamento necessitam de um ajuste de pH antes de prosseguir para tratamento biológico [10].

2.3 Remoção de Nutrientes

Dependendo da natureza da água residual pode ser necessária a remoção de nutrientes como o azoto e o fósforo, que quando em excesso podem causar fenómenos de eutrofização nos rios e lados [11]. Esta remoção pode acontecer em sistemas de lamas ativadas se forem criadas condições para o efeito.

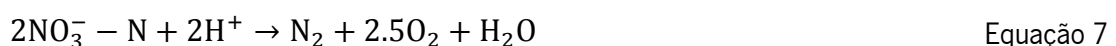
O azoto total é formado por azoto orgânico (proteínas, ureia) e azoto inorgânico representado pelo azoto amoniacal, nitratos e nitritos. O azoto amoniacal é produzido na primeira fase da decomposição do azoto orgânico, os nitritos são produzidos numa fase intermedia da oxidação do azoto amoniacal e os nitratos são um produto final da oxidação do azoto amoniacal, praticamente ausentes na água residual [22].

Para remoção do azoto total é necessário incluir zonas no reator arejadas para ocorrer nitrificação e zonas anóxicas para a ocorrência da desnitrificação. Na nitrificação a amónia (NH_4^+) na presença de oxigénio e de bactérias por exemplo as *Nitrosomonas* passa a nitritos (equação 5) e posteriormente a nitratos (NO_3^-) pelo auxílio de bactérias do género *Nitrobacter* (equação 6) [11].



As bactérias nitrificantes são extremamente sensíveis a mudanças no reator como a temperatura, pH, concentração de oxigénio e compostos inibidores [12, 14]. Os iões de hidrogénio produzidos durante a nitrificação resultam numa destruição da alcalinidade e a gama ótima de pH para a ocorrência da nitrificação encontra-se entre os 7,8 e 8,0. A taxa de nitrificação diminui para um pH de 6 e é completamente inibida para valores mais baixos. Em relação ao oxigénio este não deve ser inferior a 2 mg/L para ocorrerem processos de nitrificação enquanto valores inferiores de 0,2 mg/L inibem o processo [12].

A desnitrificação ocorre em condições anóxicas ou seja na ausência de oxigénio onde os nitratos formados pela nitrificação são usados por microrganismos heterotróficos como aceitadores de eletrões e são reduzidos a azoto gasoso (N_2) descrito na equação 7.



2.4 Tratamento de lamas

Do tratamento das águas residuais resultam sólidos concentrados num pequeno volume de líquido, as lamas. Existem diversos tipos de lamas, as lamas primárias resultantes do tratamento primário, as lamas em excesso produzidas pelo tratamento biológico, e se existir tratamento terciário podem originar também lamas a tratar [15].

Estas para serem enviadas para o destino final precisam de passar por uma série de tratamentos que implicam um custo elevado, que em alguns casos pode significar cerca de 50% dos gastos de uma ETAR [16]. Durante este capítulo vão ser apresentados alguns tratamentos aplicados as lamas como o espessamento, digestão anaeróbia e desidratação [10].

2.4.1 Espessamento

O espessamento tem como objetivo diminuir a parte líquida das lamas com vista à do seu volume, contudo o resultado deste tratamento ainda é um fluido mas com uma concentração de sólidos mais elevados. Esta redução de volume permitida pelo espessamento é de extrema importância para os tratamentos que se seguem no tratamento de lamas como por exemplo a digestão anaeróbia e a desidratação [10].

Existem vários métodos de espessamento que são aplicados dependendo do tipo de lamas a tratar, uns mais frequentes que outros. Na tabela 5 encontram-se enumerados alguns tipos de tratamentos de espessamento e a sua descrição.

Tabela 5. Métodos de espessamento e a sua respetiva descrição [adaptado de 10]

| Métodos de Espessamento | Descrição |
|----------------------------|---|
| Espessador Gravítico | Usados frequentemente, podem atingir uma concentração de sólidos dos 4 aos 6% MS. Podem libertar odores. |
| Tambor rotativo | Usados para lamas resultantes das lamas ativadas, bons resultados de espessamento (3 a 6% MS). |
| Flotação por ar dissolvido | Uso limitado devido aos elevados custos de operação, liberta odores. |

2.4.2 Estabilização

Processos de estabilização são usados para reduzir os agentes patogénicos, eliminar odores e reduzir ou eliminar uma potencial decomposição. O sucesso destes objetivos prende-se no efeito que processos de estabilização tem sobre a fração volátil dos biosólidos [10].

Os principais métodos de estabilização são: estabilização alcalina, digestão aeróbia, compostagem e digestão anaeróbia [10], sendo este último o utilizado na ETAR do Sousa.

2.4.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia em lamas de ETAR é um processo cada vez mais utilizado nas estações de tratamento de grandes dimensões. Este processo envolve o tratamento por microrganismos que na ausência de oxigénio transformam a matéria orgânica no chamado biogás composto maioritariamente constituído por metano [16].

As etapas principais do processo de degradação anaeróbia são [16]:

- Hidrólise de proteínas, hidratos de carbono e lípidos nos seus monómeros usando enzimas extracelulares, é um processo lento e a velocidade da reação depende da superfície específica do substrato.
- Fermentação, onde os produtos da hidrólise são transformados em acetato, propionato e butirato, envolvendo bactérias anaeróbias facultativas e estritas.
- Acetogénese, formando-se nesta etapa acetato, dióxido de carbono e hidrogénio, pela transformação de ácidos orgânicos.
- Metanogénese, em que as arqueas metanogénicas convertem os produtos obtidos na etapa anterior em metano.

Os processos podem ser mesófilicos com temperaturas a rondarem os 30 a 38°C e termófilicos com temperaturas entre os 50 a 60°C, a maioria funciona em condições mesófilicas. A temperatura é um parâmetro essencial neste processo pois os microrganismos envolvidos, principalmente os produtores de metano são sensíveis a mudanças de temperatura [10].

2.4.4 Desidratação de lamas

A desidratação é um tratamento que tem como objetivo retirar a água das lamas para diminuir o volume e peso destas devido aos custos envolvidos no transporte e deposição no destino final das lamas.

Os processos de desidratação incluem a utilização de centrifugadoras, leitos de secagem, lagoas e filtros de prensa. As vantagens e desvantagens destes processos encontram-se na tabela 6.

Tabela 6. Descrição dos processos de desidratação de lamas de ETAR [adaptado 10]

| Processo de desidratação | Vantagens e desvantagens |
|--------------------------|---|
| Centrifugação | Contenção do odor e baixo custo de inicial mas com custos elevados de manutenção, e necessidade de operadores especializados. |
| Leitos de secagem | Baixo capital inicial, sem necessidade de operadores especializados, baixo consumo de energia contudo requer uma grande área. |
| Lagoas | Baixo consumo de energia e químicos, baixo capital inicial, problemas de odores, potencial de poluição das águas subterrâneas. |
| Filtros de prensa | Maquinas de elevada pressão, elevada percentagem de matéria seca, baixo consumo de energia, liberta odores, sensíveis às características das lamas alimentadas. |

3 Descrição dos processos de tratamento

3.1 ETAR de Serzedo

A ETAR de Serzedo (figura 3) foi dimensionada para servir cerca de 97000 habitantes equivalentes e tratar um caudal médio diário de 13772 m³/d de efluente. O sistema de tratamento realizado nesta ETAR tem em vista a qualidade final do efluente tratado para descarga no rio Vizela assim como a reutilização deste como água de serviço [8].



Figura 3. Imagem geral da ETAR de Serzedo.

A ETAR de Serzedo é constituída por duas linhas de tratamento: a linha líquida e a linha sólida.

A linha líquida concretiza o tratamento das águas residuais através das seguintes etapas [8]:

- Tratamento preliminar, destinado á remoção de sólidos de grandes e pequenas dimensões através da gradagem e tamisadores e remoção de areias, óleos e gorduras, realizado por um desarenador/desengordurador;
- Receção e trasfega de lamas provenientes de fossas sépticas, que chegarão à ETAR através de um camião cisterna que descarregará as referidas lamas para uma estação compacta de pré tratamento de lamas. O efluente resultante afluirá para um tanque provido de agitação mecânica e de dois grupos

eletrobomba submersíveis, os quais elevarão o efluente para montante do canal de gradagem;

- Tanque de neutralização para eventuais correções de pH;
- Bacia de emergência com o objetivo de, em situação de sobrecarga hidráulica e poluente se garantir a proteção do tratamento biológico. As águas residuais, armazenadas na bacia, devem retornar ao sistema de tratamento de forma doseada em função de uma caracterização analítica detalhada que se venha a realizar;

- Tratamento biológico realizado segundo um sistema de lamas ativadas, onde se realiza a remoção de compostos de natureza orgânica e nutrientes existentes nas águas residuais;

- Tratamento terciário com o objetivo da remoção da cor do efluente é constituído por duas etapas (linha 1 e 2) de flotação/ozonização;

- Reutilização do efluente tratado. Após o tratamento terciário uma parcela da água tratada será utilizada como água de serviço, como por exemplo para a lavagem dos equipamentos e a rega dos espaços verdes. A água tratada, antes de ser reutilizada, passa por um filtro mecânico de limpeza automática e para garantir o grau de desinfecção adequado à reutilização, foi instalado um sistema compacto de desinfecção por UV.

A linha sólida é constituída pelo tratamento de lamas e recolha de areias e gorduras e é constituída pelos seguintes processos [8]:

- Classificador de areias;
- Concentrador de gorduras;
- Tratamento de lamas em excesso, constituídos pelo espessamento mecânico e pela desidratação mecânica.

3.1.1 Obra de entrada e Tratamento Preliminar

O tratamento de águas residuais inicia-se com a elevação inicial através de 3 parafusos de Arquimedes (figura 4). A altura desta estação de elevação inicial foi calculada para que as águas residuais fossem elevadas até a uma cota, que permitisse a partir desta o escoamento gravítico

ao longo de todos os órgãos que compõem a fase líquida da ETAR. Esta estação de bombagem inicial evita a necessidade de uma elevação adicional a montante do tratamento biológico diminuindo assim os gastos energéticos [8].



Figura 4. Elevação inicial (parafusos de Arquimedes) ETAR de Serzedo.

Existe ainda uma câmara de aspiração que recebe as escorrências provenientes do tratamento de lamas, escumas produzidas nos decantadores secundários e a descarga da bacia de emergência [8].

O tratamento preliminar inicia-se com a gradagem, constituída por dois canais de gradagem mecânica. Esta operação é efetuada em dois estágios distintos: uma grade de limpeza manual e com espaçamento entre as barras de 40 mm e por um tamisador/compactador de tambor rotativo com malha de 5 mm que garante uma eficiência elevada na remoção dos materiais fibrosos que caracterizam estas águas residuais. A acumulação progressiva de sólidos dentro do tambor rotativo origina uma perda de carga, provocando uma elevação lenta do nível, o qual, através de uma vareta de nível, aciona o raspador rotativo que recolhe resíduos e descarrega-os por gravidade no recetor. Durante o seu transporte, estes resíduos são compactados e desidratados até um teor de sólidos de 40 % e as escorrências resultantes desta compactação e desidratação voltam graviticamente para o canal de gradagem. Por fim, de forma a automatizar a entrada em serviço dos canais de gradagem foram consideradas duas comportas monitorizadas. O acionamento automático da comporta em função do caudal efluente permitirá garantir velocidades de aproximação nos canais de gradagem inferiores a 0,3 m/s para assim se evitar a deposição precoce de areias [8].

Para a recolha dos gradados compactados são utilizados dois contentores com a capacidade de 1100 L cada [8].

Para proteger os equipamentos mecânicos do desgaste, evitar a deposição de areias nos equipamentos e evitar problemas operacionais no tratamento biológico foi instalado um desarenador/desengordurador provido de arejamento para a lavagem das areias e flutuação dos óleos. O desarenador/desengordurador está equipado com uma ponte raspadora, de funcionamento contínuo, onde se encontram fixados raspadores de superfície para a remoção dos óleos e gorduras e um raspador de fundo para a recolha das areias. O arejamento deste equipamento, feito por difusores de membrana de ar comprimido garantido por três sopradores, existe para a manutenção das velocidades adequadas e para evitar a extração excessiva de matéria orgânica com as areias. As areias são conduzidas por duas bombas centrífugas submersíveis até a um classificador de areias e os óleos são conduzidos graviticamente para um poço de bombagem, provido de agitação mecânica onde são elevados por um grupo eletrobomba para um concentrador mecânico. Tanto as areias como os óleos são armazenados em contentores de 10 m³ [8].

Uma das características do efluente que chega a ETAR de Serzedo é o pH predominantemente alcalino devido à contribuição das indústrias têxteis. A neutralização do efluente é realizada pela injeção direta de dióxido de carbono, através de uma grelha difusora instalada no fundo do tanque de neutralização e provido de agitação mecânica. A par do tanque existe um dispositivo de armazenamento e dosagem de dióxido de carbono com funcionamento automático, em que o processo de dosagem é controlado pelo pH lido. Assim, quando o medidor de pH lê um valor de 8,5 o dispositivo injeta CO₂ [8].

3.1.2 Tratamento biológico – Vala de oxidação

O tratamento secundário das águas residuais afluentes à ETAR de Serzedo é feito por um sistema de lamas ativadas com dois reatores do tipo vala de oxidação (figura 5), cada um deles, providos de um sistema de difusão de bolha fina e agitadores submersíveis que operam num regime de arejamento prolongado. Estes reatores permitem, desta forma, a eficiente depuração das águas residuais, maioritariamente industriais, a ocorrência simultânea do processo de nitrificação/desnitrificação, para a remoção de compostos azotados, a eficiente amortização de eventuais cargas poluentes e a estabilização simultânea das lamas nos próprios reatores [8].



Figura 5. Vala de oxidação da ETAR de Serzedo.

A configuração das valas de oxidação permitem que águas residuais sejam instantaneamente diluídas pelo elevado caudal de recirculação interna inerente ao próprio sistema. Esta característica conjugado com o arejamento prolongado permite que as elevadas cargas hidráulicas e poluentes sejam absorvidas sem que estas afetem o processo de tratamento. As valas de oxidação permitem ainda, obter um gradiente de concentração de oxigénio elevado (zona arejada) e zonas deficientes de oxigénio (zona anóxica), responsáveis pela nitrificação/desnitrificação [8].

As zonas anóxicas permitem a redução do consumo energético, porque para além do O_2 libertado pela desnitrificação, uma fração da matéria orgânica será consumida como fonte de carbono pelos microrganismos desnitrificantes. O processo de desnitrificação permite ainda repor a alcalinidade perdida durante o processo de nitrificação diminuindo assim a ocorrência de fenómenos de desnitrificação na decantação secundária [8].

Na zona arejada, rica em oxigénio, ocorre a redução do teor em matéria orgânica e à nitrificação das formas reduzidas de azoto por oxidação biológica aeróbia. Os microrganismos que efetuam esta oxidação são produzidos continuamente nos reatores devido à síntese de matéria biológica e seguem depois para os decantadores secundários, onde é efetuada a separação da fase sólida da fase líquida [8].

Para se manter a quantidade de biomassa necessária nos reatores secundários, faz-se a recirculação de lamas dos decantadores secundários para as valas de oxidação.

A alimentação das águas residuais e da recirculação é realizada nas zonas anóxicas de forma a se disponibilizar CQO mais facilmente biodegradável aos microrganismos desnitrificantes.

A regulação do caudal de ar fornecido é feita automaticamente, em função de um determinado set-point de oxigénio dissolvido definido na supervisão e monitorizado em contínuo por medidores de oxigénio instalados nas duas linhas do tratamento biológico. Independentemente do arejamento, são ainda fornecidas condições de agitação através de 4 agitadores por reator, que garantem uma velocidade mínima de escoamento de 0,28 m/s de efluente [8].

Como já foi mencionado, para a clarificação do efluente proveniente dos reatores existem dois decantadores secundários circulares (figura 6) equipados com uma ponte raspadora de fundo e de superfície que encaminharão as lamas para o respetivo compartimento de lamas. Para o dimensionamento destes decantadores teve-se em conta a concentração de lamas a manter nos reatores biológicos, cerca de 5 kg/m³ [8].



Figura 6. Decantador secundário da ETAR de Serzedo.

3.1.3 Tratamento Terciário – Remoção de cor

O tratamento terciário em funcionamento na ETAR de Serzedo é constituído por duas linhas de tratamento, cada uma, com um tanque de ozonização/flotação, equipado com um

módulo cilíndrico interno, no fundo do qual se vai injetar o ozono. Este tratamento tem as seguintes vantagens [8]:

- Isenção de formação de lamas devido à descoloração;
- Total flexibilidade e facilidade de operação e intervenção;
- Redução por flotação de SST e tensioativos;
- Redução de CQO;
- Qualidade elevada do efluente final com teores elevados de O₂ dissolvido;
- Desodorização do efluente final.

O fluxo hidráulico do efluente é gravítico desde a saída dos decantadores até à descarga no meio hídrico. O módulo interno referido anteriormente tem como função promover a mistura de ar com o efluente. O efluente entra tangencialmente no órgão central, de forma a permitir a colocação de efluente tratado saturado com ar, abaixo da entrada do efluente, permitindo uma maior eficiência da flotação. Quando o efluente entra no tratamento terciário, proveniente da decantação secundário, arrasta consigo alguns sólidos, que em contacto com o efluente tratado e saturado com ar tem a capacidade de arrastar esses sólidos até à superfície, ocorrendo a flotação. Os SST flotados são encaminhados para um poço de lamas flotadas, através de uma ponte raspadora de superfície instalada no tanque e são novamente recirculadas aos reatores biológicos [8].

O efluente a tratar desce entre os módulos internos e as paredes do flotador e ao chegar à parte inferior entra em contacto com o ozono, iniciando-se o processo de descoloração. O ozono incide sobre os compostos que conferem cor ao efluente, sendo estes constituídos por moléculas complexas não biodegradáveis. O processo de ozonização tem o propósito de atacar estas moléculas, quebrando as ligações, das quais resultam moléculas mais pequenas já sem características de corante [8].

Sempre que se verificar desnecessária a descoloração do efluente, interromper-se a alimentação de ozono ao sistema terciário, ficando apenas a funcionar a flotação e sempre que se verificar, à saída dos decantadores secundários, o cumprimento das condições exigidas de descarga, todo o sistema terciário é desligado [8].

3.1.4 Tratamento de lamas

O tratamento de lamas é constituído por duas operações: o espessamento mecânico (figura 7) e a desidratação mecânica, ambos com a adição de um polímero de espessamento e outro de desidratação. Da fase sólida do tratamento de lamas ativadas, resultam as lamas em excesso que são extraídas e elevadas, através de bombas centrífugas, a partir dos reatores biológicos para os tambores de espessamento instalado no edifício reservado ao tratamento de lamas. O espessamento é efetuado em duas linhas cada uma com dois tambores de espessamento que permite obter uma concentração de lamas na ordem de 4% a 6% (p/v) e com uma eficiência de captura de sólidos estimada em 95 %. A adição do polieletrólito é realizada em linha antes da entrada para o tambor de espessamento, onde é promovida a mistura das lamas em excesso com o polímero de espessamento. No que se refere à etapa de espessamento, a solução do polieletrólito é preparada por uma unidade automática com 1000 L de capacidade e doseada através de bombas [8].



Figura 7. Tambor de espessamento do tratamento de lamas da ETAR de Serzedo.

A água necessária à lavagem dos tambores será pressurizada por duas bombas verticais multicelulares, que farão a aspiração da água a partir do tanque de serviço. Cada um dos espessadores está associado a uma centrífuga de desidratação de alto rendimento. Entre estes dois equipamentos existe uma tremonha, com a função de garantir a alimentação de lamas espessadas à centrífuga.

A centrífuga (figura 8) permite obter lamas desidratadas com uma concentração na ordem dos 20 a 22% (p/v), sendo a eficiência do equipamento estimado para 95% [8].



Figura 8. Centrífuga de desidratação da ETAR de Serzedo.

Todos os equipamentos associados ao espessamento/desidratação, como as bombas de lamas em excesso, bombas das lamas espessadas, desidratadas e a dosagem de polímero para espessamento e desidratação são controlados a partir de autômatos instalados nos quadros elétricos. O caudal de lamas na alimentação da linha de desidratação será definido automaticamente pelo sistema automático, em função do caudal de lamas em excesso alimentadas ao tambor e em função do nível de lamas na tremonha de lamas espessadas [8].

As escorrências do espessamento e da desidratação e a água de lavagem dos dois equipamentos são encaminhadas para a elevação inicial [8].

Relativamente ao polieletrólito usado na etapa de desidratação, este é preparado numa unidade automática de 1500 L e doseado através de bombas. A dosagem para a qual todo o equipamento foi dimensionado de polímero usado na desidratação é de 9 a 12 g PE/kg MS e de polímero de espessamento a dosagem encontra-se entre os 4 a 6 g PE/kg MS [8].

3.2 ETAR do Sousa

A ETAR do Sousa (Figura 9) está localizada no Concelho de Lousada e foi dimensionada para servir um equivalente populacional de 89 913 habitantes e um caudal médio diário de 13 855 m³/d, ano horizonte de projeto, tendo-se em conta que a população no ano de arranque foi apenas de 23 867 habitantes equivalentes e um caudal de 3419 m³/d [23].



Figura 9. Imagem da ETAR do Sousa.

O sistema de tratamento presente nesta ETAR desenvolve-se segundo duas linhas de tratamento e está dividido em duas fases, a líquida e a sólida.

A fase líquida é constituída pelas seguintes operações [23]:

- Elevação inicial realizada através de parafusos de Arquimedes;
- Gradagem grossa mecânica e gradagem fina em tamisadores de tambor filtrante rotativo;
- Decantação Primária;
- Tanques de contacto;
- Tanques de arejamento do tipo Carrousel® 2000, integrando cada um deles um tanque de pré-desnitrificação e zonas de arejamento alternadas com zonas anóxica;
- Decantação secundária em órgãos circulares.

O processo de tratamento da linha sólida inclui [23]:

- Espessamento gravítico das lammas primárias;

- Espessamento mecânico das lamas em excesso provenientes dos reatores biológicos, em tambores de espessamento;
- Mistura das lamas espessadas;
- Digestão anaeróbia das lamas mistas;
- Desidratação mecânica das lamas digeridas em centrifugas;
- Armazenamento em silos das lamas desidratadas.

3.2.1 Elevação inicial e tratamento preliminar

A fase líquida do tratamento indicado inicia-se com a elevação inicial das águas residuais através de 2 estágios de 3 parafusos de Arquimedes, totalmente confinados, sendo a altura de elevação desta estação de bombagem calculada para que a água residual de entrada seja elevada a uma cota tal que permita o escoamento gravítico ao longo dos restantes tratamentos [23].

As instalações da elevação inicial encontram-se integradas no edifício de tratamento de preliminar que inclui todo o equipamento necessário às operações de gradagem, desarenamento e desengordoramento, receção de lamas de fossa séptica e ainda elevação de mas primárias e gorduras [23].

O tratamento preliminar inicia-se com a gradagem que é feita em dois estágios: a gradagem mecânica com 40 mm de espaçamento entre as barras, com a função de conter os sólidos de maiores dimensões e salvaguardar proteção ao equipamento seguinte, e por dois tamisadores filtrantes rotativos com uma malha de 3 mm. O sistema de gradagem proposto acumula também as funções de compactação, lavagem e transporte dos gradados. Os gradados recolhidos são armazenados num contentor com 3 m³ de capacidade e de forma a automatizar o sistema de gradagem em função do caudal afluente, foram consideradas duas comportas automáticas, que são acionada de modo a garantir velocidades superiores a 0,3 m/s para evitar a deposição das areias [23].

Depois deste sistema segue-se o desarenamento/desengorduramento, que tem com função a remoção de areias para assim proteger as operações que se seguem a este tratamento e relativamente aos óleos e gorduras a sua remoção pretende proteger os órgão e tubagens a jusante de eventuais problemas de colmatação e até distúrbios no tratamento biológico. A remoção das areias e gorduras é feita em dois tanques, com arejamento de bolha fina instalados junto ao fundo dos tanques, para promover a flotação dos óleos e gorduras e garantir uma velocidade de

escoamento de 0,3 m/s para assim evitar a deposição excessiva das areias. Cada um destes tanques está equipado com uma ponte raspadora de funcionamento contínuo, à qual estão fixados dois dispositivos de extração de areias e de remoção de óleos à superfície. Os óleos e as gorduras são conduzidos para um poço de recolha para posteriormente serem aproveitados para o tratamento de digestão anaeróbia das lamas da ETAR, enquanto as areias vão para um classificador de areias com capacidade de hidráulica de 50 m³/h onde as areias são concentradas e lavadas com a água de serviço e posteriormente depositadas num contentor com 10 m³ [23].

A decantação primária realiza-se após o tratamento referido anteriormente, em dois decantadores quadrados com módulos de lamelas. A utilização destes tanques com lamelas permite aumentar a área de decantação. O efluente clarificado pelos decantadores primários são conduzidos para a caixa de saída da decantação primária e as lamas primárias depositadas são tiradas por pontes raspadoras no fundo dos tanque e direcionadas para as tremonhas de recolha das lamas primárias [23].

3.2.2 Tratamento secundário

Depois do tratamento preliminar e da decantação primária o efluente segue para o tratamento secundário. As águas residuais são alimentadas a dois reatores biológicos de lamas ativadas com a configuração de valas ativadas (figura 10). Cada reator é composto pelos seguintes órgãos [23]:

- Um tanque seletor operado em condições anóxicas e no qual se realiza a seleção da biomassa, controlando-se a proliferação de bactérias filamentosas;
- Um tanque de pré – desnitrificação, onde se mistura as águas residuais e a recirculação do licor misto rico em nitratos proveniente da zona arejada, para assim favorecer o processo desnitrificação essencial no controle da concentração de azoto no efluente final;
- Um tanque de arejamento com 4 canais em que as águas residuais são submetidas a condições aeróbias e anóxicas, para promover a conversão de azoto amoniacal em nitratos (nitrificação) e a desnitrificação (simultânea) dos nitratos produzidos nas zonas arejadas.



Figura 10. Vala de oxidação da ETAR do Sousa.

Cada uma das duas valas de oxidação tem um volume de 6600 m³ com uma profundidade de 4 m e os quatro canais com uma largura de 8 m [23].

O tanque de pré desnitrificação corresponde a cerca de 20% do reator biológico (1320 m³) e a manutenção da biomassa é feita através de um agitador do tipo *banana blade*. A recirculação interna de nitratos é assegurada pelo fluxo orbital das águas residuais nos próprios reatores, sendo o caudal controlado através de uma comporta giratória. Esta comporta é controlada e o seu grau de abertura varia através da definição de um *set point* de nitratos, definido pelo operador, medidos em contínuo, através de uma sonda de nitratos inserida no tanque [23].

Após a pré – desnitrificação, a mistura das águas residuais com as lamas ativadas é feita através de zonas arejadas e anóxicas nos canais do reator biológico. Neste reator ocorrem processo de nitrificação e pré – desnitrificação, para além da remoção da carga orgânica e estabilização aeróbia das lamas. O arejamento necessário para a degradação biológica, em cada tanque, é fornecido por um arejador de superfície numa estrutura parcialmente fechada para que os problemas de ruído sejam minimizados e para garantir a manutenção da biomassa em suspensão e a circulação do efluente estão instalados dois agitadores do tipo *bana blade* [23].

À saída de cada um dos reatores biológicos, o efluente é alimentado a uma caixa de descarga para seguir para a decantação secundária. Também é nestas caixas de saída que são extraídas as lamas em excesso [23].

Os decantadores secundários, com um diâmetro de 29 m, têm uma configuração circular, e promovem a separação da biomassa da fase líquida. Cada decantador está equipado com uma ponte raspadora de fundo para retirar as lamas secundárias e uma ponte raspadora de superfície

para a remoção de escumas. O efluente de saída dos decantadores segue para uma caixa de saída para ser posteriormente lançado no meio hídrico [23].

3.2.3 Reutilização do efluente tratado

Após a decantação secundária, uma parcela da água é lançada para o meio hídrico e outra parcela é reutilizada como água de serviço para rega dos espaços verdes, lavagem de pavimentos e equipamentos e diluição das soluções de polímero. A água tratada para ser utilizada como água de serviço segue para um tanque de armazenamento e é pressurizada por um grupo hidropressor, filtrada num filtro mecânico e desinfetada num sistema de desinfecção por UV [23].

3.2.4 Tratamento das lamas em excesso

O tratamento de lamas desta ETAR contempla um edifício só para este efeito. Como já referido anteriormente, da decantação primária resultam as lamas primárias que são bombeadas para um espessador gravítico que permite obter uma percentagem de matéria seca na ordem dos 6%. O espessador é equipado com uma grade de espessamento de funcionamento contínuo com um raspador de fundo, que é responsável pela mistura das lamas em espessamento e pelo seu encaminhamento até à tremonha central e posteriormente enviadas para o tanque de lamas mistas. O sobrenadante resultante do espessador segue por ação da gravidade para a obra de entrada [23].

Também as lamas em excesso, ou secundárias provenientes do reator biológico passam por um processo de espessamento mas estas são espessadas por dois tambores de espessamento totalmente confinados no edifício das lamas. A montante de cada tambor existe um floculador que consiste num tanque com um agitador de pás com velocidade variável para assegurar as condições de reação entre o polímero e as lamas. A mistura do floculante com as lamas é alimentada ao tambor, composto por uma estrutura metálica onde se encontra uma tela, onde a rotação do tambor permite o espessamento da lama libertando a água por ação da floculação através da tela. O grau de espessamento que se espera é de 6% MS, de acordo com uma concentração de lamas em excesso de 0,35 % MS média diária, admitindo uma eficiência de captura de sólidos das máquinas de 95% [23].

Como foi já mencionado a adição e mistura da solução do polímero é realizada no floculador e prevê-se uma dosagem média de polímero de 3 g PE/kg MS e uma dosagem máxima

de 5 g PE/kg MS. As escorrências resultantes do espessamento são encaminhadas novamente para a obra de entrada [23].

O conjunto das lamas primárias espessadas com as lamas em excesso espessadas são reunidas num tanque designado de tanque de lamas mistas. O tempo de retenção neste tanque é aproximadamente de 1 dia e é depois encaminhado para a digestão anaeróbia.

O processo de digestão anaeróbia (figura 11) realiza-se num reator de alta carga em regime mesófilo a 35°C e um tempo de retenção mínimo de 15 dias. A alimentação das lamas mistas ao reator é feita no topo deste órgão. As lamas digeridas seguem para um tanque a montante da operação de desidratação. O biogás produzido no digestor é armazenado num gasómetro, sendo utilizado no processo de produção de energia e aquecimento das lamas. Para efeitos do aproveitamento energético do biogás produzido existe uma instalação de co – geração [23].



Figura 11. Digestor anaeróbio e gasómetro da ETAR do Sousa.

As lamas digeridas depois de armazenada num tanque seguem para a etapa da desidratação. Esta fase contempla duas centrífugas de alto rendimento. O grau de matéria seca esperado é de 28% com uma eficiência de captura de sólidos de 95% [23].

Como acontece no espessamento também na desidratação é acontece a adição e mistura da solução de polímero sendo esta realizada em linha antes da entrada na centrífuga. A dosagem do polímero para esta centrífuga encontra-se entre 8 g PE/kg MS e 10 g PE/kg MS. Por fim, procede-se à higienização das lamas desidratadas com cal e de seguida são armazenada num silo [23].

3.2.5 Desodorização

A ETAR possui um sistema de desodorização para a minimização de odores provenientes da água residual e das transformações por que ela passa no decurso do tratamento. No período de estágio curricular a desodorização não esteve em funcionamento [23].

3.3 Enquadramento legal

Os tratamentos efetuados na ETAR do Serzedo e Sousa têm como objetivo o cumprimento dos requisitos legais e as condições de descarga do efluente final e estão descritas numa licença de descarga dada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) que segue o Decreto-Lei n° 152/97, de 19 de Junho.

As respetivas condições de descarga a respeitar pela empresa Águas do Noroeste S. A. Encontram-se na tabela 7 para ETAR de Serzedo [18] e na tabela 8 para a ETAR do Sousa [19].

Tabela 7. Valores limite de emissão (VLE) para a ETAR de Serzedo [18]

| Parâmetros | VLE (época normal) | VLE (época de estiagem) |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------|
| pH (escala de Sorensen) | 6 – 9 | |
| CQO (mg /L) | 125 | 100 |
| CBO (mg /L) | 25 | 15 |
| SST (mg/L) | 35 | 30 |
| Cor (visível na diluição 1:20) | Não visível | |
| Azoto total (mg/L) | 15 | |
| Fósforo total (mg/L) | 10 | |

*Época de estiagem de 1 de Junho a 30 de Setembro

Tabela 8. Valores limite de emissão (VLE) para a ETAR do Sousa [19]

| Parâmetros | VLE |
|-------------|-----|
| CQO (mg /L) | 125 |
| CBO (mg /L) | 25 |
| SST (mg/L) | 35 |

Neste documento para além dos valores limite de emissão a respeitar encontram-se também as características da água residual bruta, a validade da licença, as condições gerais e específicas da descarga e os parâmetros analíticos que estão sujeitos a um programa de monitorização.

A empresa tem ainda uma serie de valores limite de alerta (VLA) a serem respeitados pelos funcionários que controlam a ETAR que serve como um controlo interno da empresa para garantir o bom funcionamento de todas as operações unitárias e garantir que não se ultrapassem os valores limite de emissão (VLE). Estes valores limite de alerta dizem respeito a parâmetros da água residual bruta, água residual tratada, licor misto, variáveis de processo e no tratamento de lamas. A tabela 9 apresenta todos os parâmetros a controlar e os respetivos valores limites de alerta (VLA) para a ETAR de Serzedo [20].

Tabela 9. Valores limite de alerta (VLA) para todos os parâmetros da ETAR de Serzedo [adaptado de 20]

| Processo de Tratamento | | Parâmetro | VLA |
|------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------|
| Água Residual Bruta | | Potencial Redox (mV) | <-200 |
| | | pH (Escala de Sorensen) |]5,5;9,5[|
| | | CQO (mg/L) | >1200 |
| | | CBO (mg/L) | >400 |
| | | SST (mg/L) | >750 |
| | | SSV (mg/L) | >550 |
| | | P _{total} (mg/L) | >15 |
| | | N _{total} (mg/L) | >85 |
| | | NO ₃ ⁻ (mg/L) | >10 |
| | | NH ₄ ⁺ (mg/L) | >50 |
| Licor Misto | Zona Anóxica | Potencial Redox (mV) |] -100;100[|
| | | pH (Escala de Sorensen) |]6;9[|
| | | OD (mg/L) |]0;0,5[|
| | | NO ₃ ⁻ (mg/L) | >20 |
| | Zona Arejada | Potencial Redox (mV) | <60 |
| | | pH (Escala de Sorensen) |]6;9[|
| | | OD (mg/L) | <0,5 |

| Processo de Tratamento | | Parâmetro | VLA |
|------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Licor Misto | Zona Arejada | V_{30} (ml/L) | >950 |
| | | SST (mg/L) |]3500;5000[|
| | | SSV (mg/L) |]3000;4500[|
| Recirculação* | | SST (mg/L) |]7000;16500[|
| | | SSV (mg/L) |]5000;15000[|
| | | Relação SSV/SST (%) |]60;80[|
| Água Residual Tratada | | pH (Escala de Sorensen) |]6;9[|
| | | CQO (mg/L) | >120 |
| | | CBO (mg/L) | >20 |
| | | SST (mg/L) | >30 |
| | | SSV (mg/L) | >25 |
| | | P_{total} (mg/L) | >5 |
| | | N_{total} (mg/L) | >10 |
| | | NO_3^- (mg/L) | >10 |
| | | NH_4^+ (mg/L) | >5 |
| Lama Espessada | MS (%) | <2 | |
| Lama Desidratada | | pH (Escala de Sorensen) |]6;9[|
| | | MS (%) | <18 |
| Escorrências do Espessador | | pH (Escala de Sorensen) |]6;9[|
| | | SST (mg/L) | >450 |
| Escorrências da Desidratação | SST (mg/L) | >500 | |
| Variáveis de Processo | | IVL (mg/L) |]50;300[|
| | | TRS (dias) |]15;30[|
| | | Razão A/M |]0,01;0,15[|

*VLA iguais para a linha 1 e 2 dos tratamentos.

Quando estes valores limites de alerta eram ultrapassados era necessário descobrir o problema e atuar nos tratamentos de acordo com o parâmetro a normalizar por exemplo atuando a nível do aumento do oxigénio dissolvido, quando se verificava um aumento da amónia e consequente aumento do azoto total.

Na ETAR do Sousa, durante o período de estágio curricular, não existiam valores limite de alerta. Estes ainda estavam por definir durante o estágio pois esta ETAR estava à exploração de outra empresa tendo passado depois para as águas do Noroeste.

4 Metodologias

Nesta secção serão abordadas todas as metodologias usadas no controlo dos parâmetros diários das duas estações de tratamento, nomeadamente as análises efetuadas aos parâmetros físicos e químicos, e também o controlo no campo, que complementa as análises feitas no laboratório.

O período de estágio foram 6 meses sendo que a monitorização da ETAR de Serzedo foi efetuada do dia 3 de Março ao dia 29 de Abril e da ETAR do Sousa do dia 2 de Maio a 31 de Agosto.

Para o controlo de uma ETAR é necessário caracterizar o efluente de entrada, o licor misto e as lamas espessadas. O estudo do efluente de entrada caracteriza-se pela quantificação da carga poluente (CQO e CBO), os sólidos suspensos totais (SST), Azoto, Fósforo e ainda pH. Para avaliar o funcionamento do tratamento Biológico é necessário fazer análises diárias ao licor misto assim como medições de oxigénio dissolvido e pH.

A monitorização diária da ETAR pode-se dividir em duas partes: no trabalho de campo, que engloba manutenção de equipamentos e operação e no trabalho laboratorial abordados a seguir.

4.1 Trabalho de campo

Diariamente numa ETAR o trabalho de campo é efetuado pelos operadores e consiste numa series de tarefas como a manutenção de equipamentos, controlo na supervisão, recolha das amostras para serem analisadas no laboratório e controlo das operações unitárias seja nos equipamentos como na supervisão quando são automatizados. Também são responsabilidade dos operadores efetuar uma serie de registos diários, de manhã e á tarde, que vão acompanhar os resultados do laboratório. Estes registos são feitos em vários locais de tratamento das ETAR's e encontram-se na tabela 10.

À exceção do V_{30} , todos os outros parâmetros são efetuados através de medidores fornecidos aos operadores.

Tabela 10. Locais e tipo de parâmetros a analisar pelos operadores na ETAR de Serzedo e do Sousa

| Processos de tratamento | Parâmetros a analisar |
|--|--|
| Obra de entrada | V30, pH, temperatura, oxigénio dissolvido, potencial redox e condutividade |
| Desarenador/Desengordurador | V30, pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox |
| Tanque de neutralização* | V30, pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox |
| Vala de oxidação – Zona arejada | pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox |
| Vala de oxidação – Zona anóxica | pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox |
| Vala de oxidação – Pré – desnitrificação** | pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox |
| Decantação secundária* | pH, temperatura, oxigénio dissolvido e potencial redox e condutividade |
| Saída (água residual tratada) | pH, temperatura, oxigénio dissolvido, potencial redox e condutividade |
| Lamas recirculadas | V ₃₀ |
| Biogás** | % de CH ₄ e % de CO ₂ |

* Processo só da ETAR de Serzedo

** Processo só da ETAR do Sousa

4.2 Controlo Laboratorial

O controlo laboratorial é constituído por análises feitas diariamente ao afluente e efluente para o controlo do que chega e sai da ETAR e para avaliação do seu funcionamento. A determinação de cada parâmetro é efetuado no laboratório interno de cada ETAR.

Tanto em Serzedo como no Sousa as análises efetuadas à água residual bruta incluem matéria orgânica, sólidos e nutrientes. O controlo ao licor misto acontece também nas duas ETAR. Aqui pretendem-se controlar os sólidos presentes no reator, assim como os nitratos e azoto amoniacal para se obter informações sobre o funcionamento do reator.

Do tratamento de lamas resultam as lamas espessadas e desidratadas e respetivas escorrências. São efetuadas semanalmente análises para avaliar a percentagem de matéria seca

e volátil e os SST e SSV para as escorrências. Na ETAR do Sousa o tratamento de lamas, como já foi referido anteriormente na descrição da ETAR, difere no tratamento das lamas pelo que são efetuadas também análises à matéria seca e volátil das lamas primárias, lamas primárias espessadas, lamas mistas espessadas (lamas primárias + lamas secundárias) e a lama que sai do digestor.

Encontra-se no anexo 1 e 2 os planos analíticos referentes aos dois laboratórios, de Serzedo e do Sousa, respetivamente, que indicam os parâmetros a analisar diariamente e a sua periodicidade.

Nas tabelas 11 e 12 encontra-se um sumário do controlo analítico para cada ETAR (Serzedo e Sousa respetivamente) com a informação, dos parâmetros a analisar e o tipo de amostragem.

Tabela 11. Plano com os tipo de amostra e parâmetros a analisar na ETAR de Serzedo

| Tipo de Amostra | Amostragem | Parâmetros |
|------------------------------|-------------------------------|--|
| Água residual bruta | Composta ao longo de 24 horas | CQO, CBO ₅ , Azoto, Fósforo, Nitratos, Azoto amoniacal, SST e SSV |
| Água residual tratada | Pontual | CQO, CBO ₅ , Azoto, Fósforo, Nitratos, Azoto amoniacal, SST e SSV |
| Licor misto (Zona arejada) | Pontual | SST e SSV |
| Licor misto (zona anóxica) | Pontual | Nitratos e azoto amoniacal |
| Recirculação | Pontual | SST e SSV |
| Lama em excesso do reator | Pontual | SST, SSV, pH, redox, % MS e % MV |
| Lama espessada | Pontual | % MS e % MV |
| Lama desidratada | Pontual | % MS e % MV, pH |
| Escorrências do espessamento | Pontual | CQO, SST, SSV e pH |
| Escorrências da centrífuga | Pontual | CQO, SST e SSV |

Tabela 12. Plano com os tipo de amostra e parâmetros a analisar na ETAR do Sousa.

| Tipo de Amostra | Amostragem | Parâmetros |
|---------------------------------------|-------------------------------|--|
| Água residual bruta | Composta ao longo de 24 horas | CQO, CBO ₅ , Azoto, Fósforo, Nitratos, Azoto amoniacal, SST e SSV |
| Água residual tratada | Composta ao longo de 24 horas | CQO, CBO ₅ , Azoto, Fósforo, Nitratos, Azoto amoniacal, SST e SSV |
| Licor misto (Zona arejada) | Pontual | SST e SSV |
| Licor misto (zona anóxica) | Pontual | Nitratos e azoto amoniacal |
| Pré – desnitrificação | Pontual | Nitratos |
| Lamas recirculadas | Pontual | SST e SSV |
| Decantador Primário | Pontual | SST, SSV |
| Lama Primária | Pontual | % MS, % MV, ST, SV e pH |
| Lama Primária espessada | Pontual | % MS e % MV, pH |
| Sobrenadante do espessador gravítico | Pontual | SST, SSV, pH e CQO |
| Lamas em excesso espessadas | Pontual | % MS, % MV e pH |
| Escorrências do espessamento mecânico | Pontual | SST, SSV e CQO |
| Lamas mistas espessadas | Pontual | ST, SV, % MS, %MV e pH |
| Lamas digeridas | Pontual | ST, SV, % MS, %MV e pH |
| Lamas desidratadas | Pontual | % MS, % MV, pH |
| Escorrências da desidratação | Pontual | SST, SSV, CQO, pH |

Era, também da responsabilidade de quem efetuava as análises laboratorial recolher todos os resultados destes parâmetros e preencher uma folha de registo mensal pré – definida pela empresa. Esta folha de registo para além dos parâmetros recolhidos no laboratório incluía registos feitos pelos operadores, caudais de entrada e de purga e o cálculo das variáveis de processo.

4.3 Protocolos Laboratoriais

Nesta secção encontram-se os protocolos experimentais, de todos os parâmetros analisados para os laboratórios da ETAR de Serzedo e do Sousa, baseados nas instruções e protocolos de trabalho impostos pela empresa. De referir que alguns dos componentes a analisar são efetuados por *kits* disponibilizados no laboratório e que todas as soluções referidas, pertencem ao próprio *Kit* assim como os procedimentos usados.

4.3.1 Sólido Suspensos Totais e Sólidos Suspensos Voláteis

Para se determinar os SST e SSV é necessário uma preparação prévia dos filtros de fibra de vidro. Assim para a preparação dos filtros de fibra de vidro é necessário:

- Colocar os filtros na rampa de filtração com a superfície mais rugosa voltada para cima;
- Lavar os filtros com três porções de 20 ml de água destilada;
- Remover o filtro da rampa e transferi-lo para uma placa de alumínio previamente identificada;
- Colocar o conjunto, filtro e placa de alumínio, na estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante duas horas;
- Retirar da estufa e colocar na mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ durante 10 minutos;
- Retirar da mufla e deixar arrefecer no exsiccador;
- Pesar e registar o valor (designado P_1).
- Análise da amostra:
 - Homogeneizar a amostra;
 - Filtrar na rampa de filtração a amostra a analisar. A escolha do volume da amostra deve ter como critério a produção de um resíduo entre 2,5 mg e 200 mg. Se o volume filtrado não cumprir o requisito mínimo, aumentar o volume da amostra a filtrar até 1L como volume máximo.
- Secar os filtros na estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante duas horas.
- Retirar da estufa e deixar arrefecer num exsiccador;
- Pesar (designado P_2) e determinar os SST através da equação 8;
- Incinerar o resíduo obtido numa mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 10 minutos;
- Retirar da mufla e arrefecer num exsiccador;

- Pesar (P_3) e determinar os SSV através da equação 9.

$$\text{SST} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{((P_2 - P_1) \times 1000)}{V} \times 1000 \quad \text{Equação 8}$$

$$\text{SSV} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{((P_2 - P_3) \times 1000)}{V} \times 1000 \quad \text{Equação 9}$$

O P_1 é referente ao peso do filtro (g), P_2 é o peso do filtro com o resíduo seco (g), P_3 o peso do filtro após ignição (g) e o V é o volume da amostra (ml).

4.3.2 Matéria seca e Matéria volátil

Na preparação dos cadinhos:

- Deixar secar os cadinhos vazios na estufa ($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) durante uma hora;
- No caso de ser necessário determinar a matéria fixa e volátil devem colocar-se os cadinhos, na mufla ($550^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) durante uma hora;
- Deixar arrefecer os cadinhos num exsiccador e pesa-los (designado por B).
- Para efetuar a análise da amostra é necessário:
- Homogeneizar a amostra e colocar cerca de 25 a 50g num cadinho previamente identificado e pesar (C);
- Deixar secar na estufa durante 24 horas;
- Arrefecer no exsiccador e pesar (A) e determinar a percentagem de matéria seca (equação 10);
- Incinerar o resíduo obtido na mufla, durante uma hora;
- Arrefecer no exsiccador e pesar (D) e determinar a percentagem de matéria volátil (equação 11).

$$\% \text{ Matéria seca} = \frac{((A - B) \times 100)}{C - B} \quad \text{Equação 10}$$

$$\% \text{ Matéria volátil} = \frac{((A - D) \times 100)}{A - B} \quad \text{Equação 11}$$

4.3.3 Sólidos totais e Sólidos voláteis

A determinação dos sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), que inclui toda a matéria suspensa e dissolvida no efluente, envolve a preparação dos cadinhos. Os cadinhos são preparados da mesma forma que os cadinhos utilizados para a determinação da matéria seca e volátil, descritos na secção anterior.

Para a análise da amostra colocar no cadinho previamente pesado (designado por B) um volume de 25 ml de efluente homogeneizado. Colocar numa placa de aquecimento e regular a temperatura para evitar salpicos. Após a evaporação mudar os cadinhos para a estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ e deixar secar durante 1 hora. De seguida deixar arrefecer no exsiccador à temperatura ambiente e pesar (designado por A).

No caso de ser necessário a determinação dos SV, incinerar o resíduo resultante na mufla a 550°C durante 1 hora, arrefecer no exsiccador e pesar (designado por C).

Por fim determinar os valores de ST e SV em mg/L através das equações 12 e 13 respetivamente.

$$ST = \frac{((A-B) \times 1000)}{v} \times 1000 \quad \text{Equação 12}$$

$$SV = \frac{((C-B) \times 1000)}{v} \times 1000 \quad \text{Equação 13}$$

4.3.4 Carência Química de Oxigénio (CQO)

A realização da CQO na ETAR de Serzedo é feita em tubos de digestão de 13×70 mm e em cada tubo de amostra a analisar deve-se adicionar:

- 2 ml de amostra;
- 1,2 ml de solução de digestão de dicromato de potássio de gama alta ($100 \text{ mg/L} < \text{CQO} < 900 \text{ mg/L}$) ou de gama baixa ($\text{CQO} < 100 \text{ mg/L}$) dependendo da amostra a analisar;
- 2,8 ml da solução ácida de ácido sulfúrico concentrado.

De seguida agitar os tubos num agitador tipo vortex e colocar a digerir num reator a 150°C, durante 2 horas. Retirar os tubos do reator e deixar arrefecer até à temperatura ambiente e ler a CQO no espectrofotómetro, seleccionando a curva de calibração pretendida.

Na ETAR do Sousa o controlo da CQO é realizado através do *kit*LCK 314 (com um intervalo de medição de 15 a 150 mg/l O₂) para o efluente de saída e do LCK 1014 (com um intervalo de medição de 100 a 2000 mg/l O₂) para o efluente de entrada ambos da *Hach Lange*:

- Agitar os tubos até ficar homogéneo;
- Pipetar 2 ml de amostra sobre o tubo de reação mantendo-o inclinado, fechar o tubo e agitar;
- Colocar os frascos no reator de digestão rápida durante 15 minutos a 170 °C.
- Quando a digestão tiver terminado, agitar os tubos e colocar a arrefecer até a temperatura ambiente;
- Colocar os frascos no espectrofotómetro e ler o valor da CQO.

4.3.5 Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅)

Para a determinação da CBO₅ é necessário saber o volume de amostra a utilizar e para isso estima-se que o valor da CBO₅ seja cerca de 80% do valor da CQO calculada para a mesma amostra. Na tabela 13 encontram-se os volumes a utilizar consoante o valor de CBO₅ estimado e respetivos fatores de diluição.

Tabela 13. Volumes de amostra a utilizar de acordo com os valores estimados para a análise da CBO₅.

| Volumes estimados de CBO ₅ (mg O ₂ /L) | Volume de amostra (ml) |
|--|------------------------|
| 0-35 | 420 |
| 0-70 | 355 |
| 0-350 | 160 |
| 0-700 | 95 |

Para a análise da CBO₅ é necessária uma solução de nutrientes previamente preparada, onde uma saqueta de BOD nutriente *Buffen Pillons* é adicionada a 3L de água destilada e conservada no frigorífico a 4°C.

De seguida adiciona-se à garrafa utilizada para a CBO₅ 50 ml desta solução de nutrientes e a amostra. De notar que os volumes a utilizar apresentados na tabela 13 são a junção dos 50L de solução de CBO com a amostra a analisar. Adiciona-se também uma gota de anti nitrificante para cada 50mL de amostra e um magneto. Tapa-se a garrafa com uma tampa de borracha e adiciona-se nesta 2 pastilhas de hidróxido de sódio. Por fim, coloca-se a garrafa num aparelho *Bodtrack II*, na incubadora a 20°C durante 5 dias. No final dos 5 dias regista-se o valor de CBO₅.

4.3.6 Azoto Amoniacal e dos Nitratos

A determinação do azoto amoniacal e dos nitratos é realizada em *kits* próprios para o efeito.

A análise ao azoto amoniacal é feita com o *kit* LCK 304 *Hach Lange*, na gama de 0,015 e 2,0 mg/l de NH₄-N. Depois de recolher a amostra, retirar a cuvete do *kit* e adicionar 5 ml da amostra homogeneizada, agitar no vortex e ao fim de 15 minutos ler no espectrofotómetro o valor do azoto amoniacal.

A análise aos nitratos é realizada com o *kit* LCK 339 da *Hach Lange* na gama de 0,23 a 13,50 mg/l de NO₃-N. À cuvete que se encontra no *kit*, adicionar 1 ml de amostra homogeneizada e de seguida 0,20 ml de uma solução presente no kit. Por fim agitar e ao fim de 15 minutos ler no espectrofotómetro o resultado.

4.3.7 Azoto total

Para a obtenção da concentração de azoto total na água residual bruta e tratada foram usados dois tipos de *Kits* ambos da *Hach Lange*. O *Kit* LCK 338 para uma gama de medição de 200 a 100 mg/L e o LCK 238 para uma gama de 5 a 40 mg/L.

Inicialmente, para o Kit LCK 338 deita-se para um tubo de vidro 2,3 ml de solução A e uma pastilha do componente B e 0,2 ml de amostra e coloca-se num termo reator. Após a digestão deixa-se arrefecer à temperatura ambiente e adiciona-se 1 pastilha de um componente C e agita-se. De seguida retira-se 0,5 ml da solução do tubo de vidro e deita-se para uma cuvete do Kit e junta-se 0,2 ml de uma solução D. Por fim, agita-se e lê-se no espectrofotómetro a valor de azoto total. Para o LCK 238 o procedimento é o mesmo diferindo apenas no volume de amostra inicial a adicionar, 0,5 ml e na concentração do componente A que passa de 2,3 ml para 2 ml.

4.3.8 Fósforo total

A determinação do fósforo total é realizada pela empresa através de dois tipos de *kits* da *Hach Lange*, o LCK 350 numa gama de medição de 2,0 a 30 mg/L e o LCK 348 numa gama de medição de 0,5 a 5,0 mg/L.

Para o LCK 350, utilizado na determinação do fósforo total da água residual bruta, utiliza-se uma cuvette presente no *kit* e adiciona-se 0,4 ml de amostra e tapa-se com o lado contrário da tampa que contém um componente para ser dissolvido, agita-se indo de seguida para um reator de digestão rápida. Depois de a digestão estar terminada, agita-se e deixa-se a arrefecer à temperatura ambiente. Posteriormente adiciona-se uma solução disponibilizada pelo *kit* de um componente B e deita-se com uma micropipeta 0,5 ml e fecha-se com uma outra tampa que contém um componente C e agita-se e espera-se 10 min para a leitura com o espectrofotómetro. Relativamente ao LCK 348, de gama baixa, o procedimento é o mesmo, diferindo apenas no volume de amostra utilizado que passa para 0,5 ml e no volume de componente B (0,2 ml).

4.3.9 pH

A determinação do pH em amostras líquidas e sólidas nos laboratórios de processo da ETAR de Serzedo e na ETAR do Sousa é efetuada através dos medidores e sondas de pH da HACH.

Para amostras líquidas colocar uma certa quantidade de amostra num gobelé e introduzir o elétrodo, previamente lavado com água destilada, e registar o valor quando este estiver estável.

Para amostras sólidas colocar uma amostra num gobelé (aproximadamente 20g de amostra sólida), adicionar água destilada homogeneizar bem a amostra. De seguida lavar a sonda de pH com água destilada, introduzir o elétrodo no gobelé e efetuar a leitura quando o valor estiver estável. No fim lavar o elétrodo com água destilada.

5 Apresentação e discussão de resultados

No estágio curricular foram recolhidos os resultados das análises físico – químicas referentes á ETAR de Serzedo e á ETAR do Sousa durante a o período de tempo indicado nas metodologias. Todos estes resultados serão apresentados e discutidos neste capítulo desde as características da água residual bruta, passando pelo funcionamento do reator biológico e os seus parâmetros do processo, a água residual tratada e também o tratamento de lamas das duas estações de tratamento.

5.1 ETAR de Serzedo

5.1.1 Caudal de afluência

A medição dos caudais de entrada é um fator importante que influência todos os processos de tratamento de uma ETAR. A figura 12 apresenta os caudais diários de afluência à ETAR de Serzedo durante os três meses de recolha de dados e o caudal médio para o ano de horizonte de projeto.

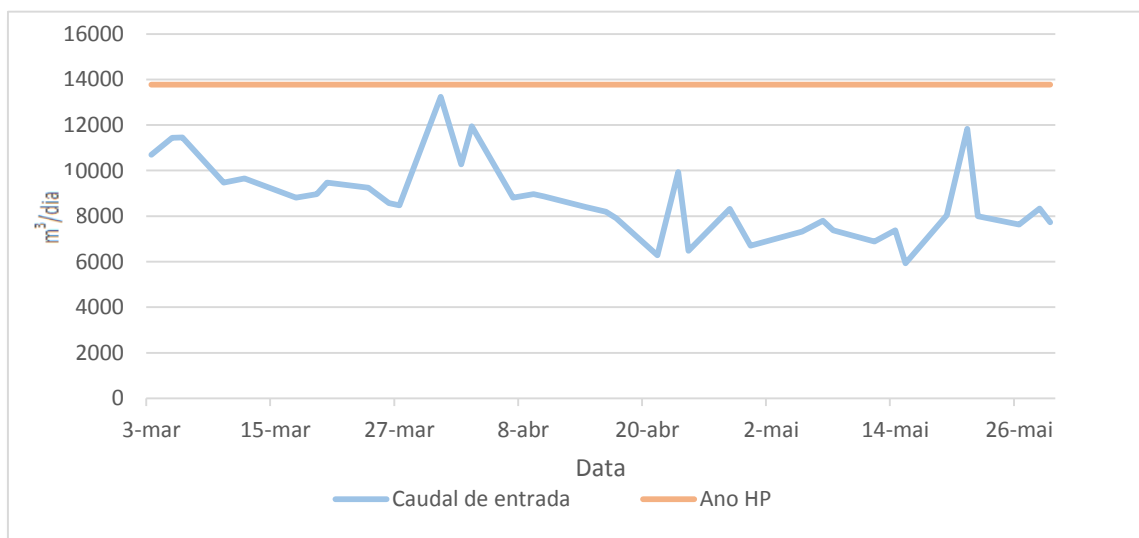


Figura 12. Caudal de entrada da água residual bruta da ETAR de Serzedo.

O caudal médio diário na ETAR de Serzedo foi de 8799,39 m³/dia, valor este que se encontra longe do caudal médio diário proposto para o ano do horizonte de projeto (13772 m³/dia). Pela observação gráfica verifica-se que existiram várias oscilações durante os meses e o caudal

mínimo é de 5936 m³/dia e o máximo é 13247 m³/dia. Estas diferenças entre os caudais podem ser explicadas por dias com chuvas intensas. Também de referir que durante a semana a ETAR recebe um efluente maioritariamente industrial e que o caudal está dependente das descargas das indústrias, podendo explicar as variações no caudal.

5.1.2 Água Residual Bruta

A água residual bruta de Serzedo é caracterizada maioritariamente por descargas de várias indústrias e também, mas em menor quantidade, por efluente doméstico. Na tabela 14 é apresentado um sumário das médias e desvio padrão das características físicas e químicas do efluente de entrada na ETAR.

Tabela 14. Médias e desvio padrão das características da água residual bruta da ETAR de Serzedo

| Parâmetros | Média | Desvio Padrão |
|-------------------------------------|--------|---------------|
| pH (Escala de Sorensen) | 7,82 | 0,45 |
| CQO (mg /L) | 521,53 | 197,17 |
| CBO (mg /L) | 266,79 | 123,82 |
| SST (mg/L) | 280,79 | 112,36 |
| SSV (mg/L) | 233,95 | 101,41 |
| P _{total} (mg/L) | 6,33 | 2,14 |
| N _{total} (mg/L) | 39,08 | 12,06 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 1,70 | 0,97 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 16,69 | 6,84 |

Os parâmetros como o pH, CQO, CBO, SST, SSV, P_{total}, N_{total}, NH₄⁺ e NO₃⁻, que foram analisados durante o período de estágio, vão ser discutidos individualmente nesta secção.

Um dos parâmetros analisados pelos operadores é o pH, medido na obra de entrada da ETAR. A figura 13 mostra a variação de pH ao longo dos 3 meses de estágio nesta ETAR e o intervalo de alerta da empresa.

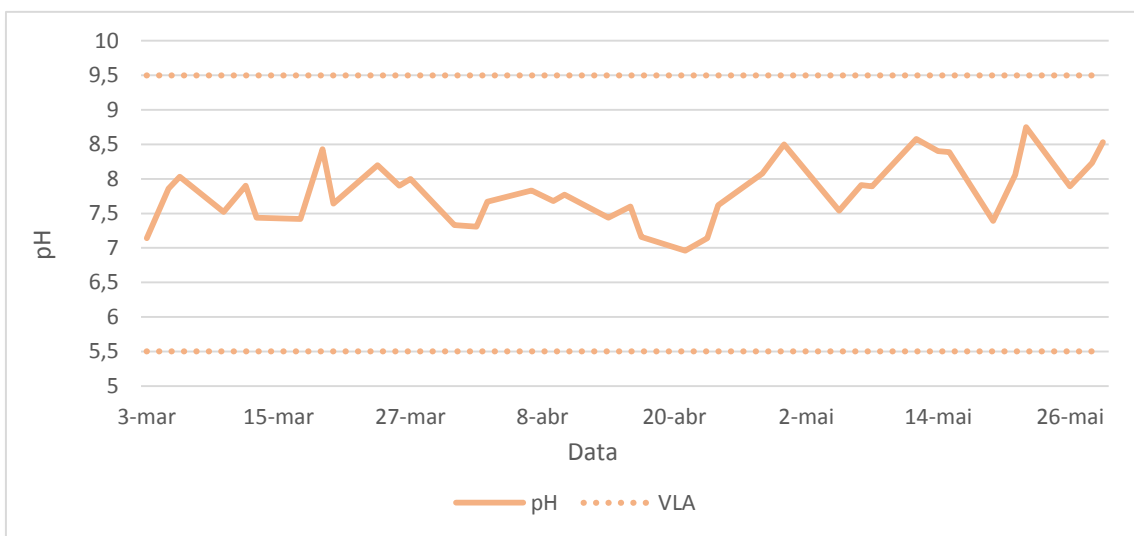


Figura 13. Variação do pH (escala de Sorensen) da água residual bruta na ETAR de Serzedo.

Verifica-se que o pH da água residual bruta não ultrapassou o limite de alerta (] 5,5;9,5 [). Manteve-se sempre dentro da mesma gama de valores entre os 7 e os 8,5 sendo que a média é de $7,82 \pm 0,45$.

A matéria orgânica presente no efluente é um parâmetro importante no tratamento das águas residuais. A carência química de oxigénio (CQO) e a fração biodegradável, a carência bioquímica de oxigénio (CBO) do efluente que entra na ETAR foi um dos parâmetros analisados no laboratório interno de Serzedo (figura 14), devido à sua importância como poluente, mas também como substrato para os microrganismos.

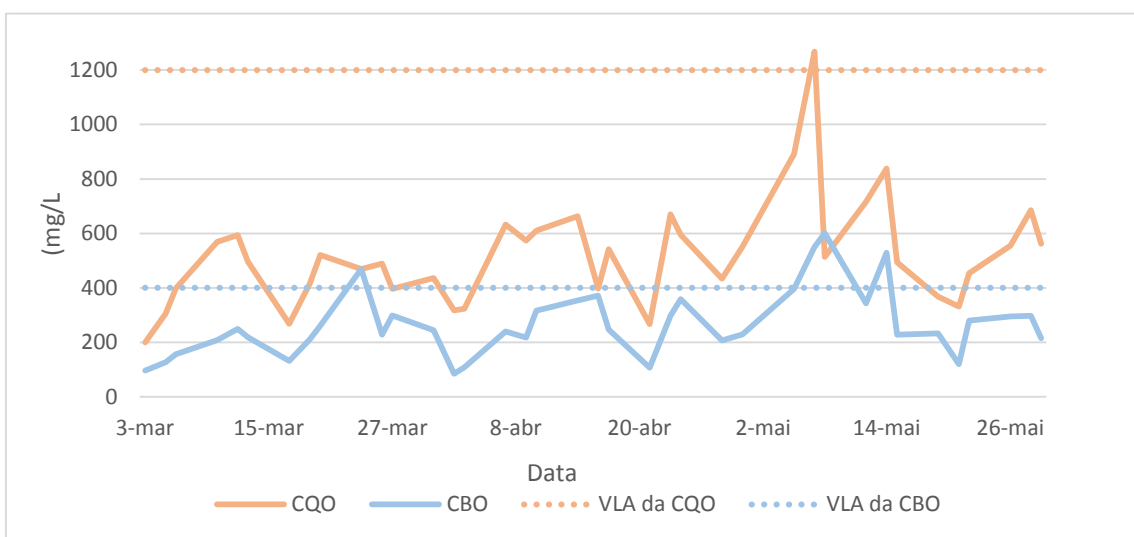


Figura 14. Variação da CQO e CBO na água residual bruta da ETAR de Serzedo.

Na figura 14 mostra que esta água residual tem uma CQO que variou numa gama de 200 mg/L a 1200 mg/L, chegando num dos dias a ultrapassar o valor limite de alerta. Esta variação deve-se às diferentes indústrias que descarregam o efluente na ETAR de Serzedo. Relativamente à CBO, o valor limite de alerta (VLA) foi ultrapassado em alguns dos dias de análises, chegando ao valor máximo de 601,35 mg /L ± 123,82 mg /L.

Na figura 15 encontram-se os valores de sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), os quais cumpriram os valores limites de alerta da empresa. Os SST variaram entre um valor mínimo de 110,00 mg/L ± 112,36 mg/L e um valor máximo de 520,00 mg/L ± 112,36 mg/L, com um valor médio de 280,79 mg/L ± 112,36 mg/L. Os SSV variaram numa gama de 100,00 mg/L ± 101 mg/L, 41mg/L e 440,00 mg/L ± 101, 41 mg/L.

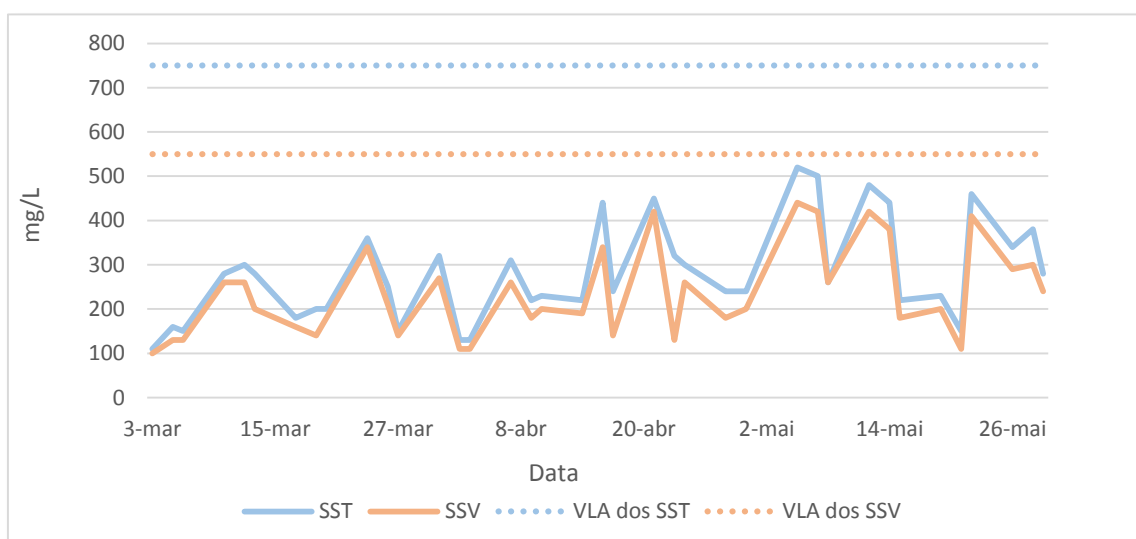


Figura 15. Variação dos SST e SSV na água residual bruta da ETAR de Serzedo.

A quantificação dos nutrientes que entram na ETAR têm grande importância, pois são um dos principais poluentes a ser alvo de remoção no tratamento biológico. Também para o azoto total e o fósforo total existem valores limites de alerta que como se pode ver na figura 16 ficaram muito longe de ser ultrapassados tanto pelo azoto como pelo fósforo.

As características de nutrientes deste efluente variaram ao longo do tempo. Para o azoto total verifica-se um valor médio de entrada de 39,08 mg/L ± 12,06 mg/L e um valor máximo de 59,90 mg/L ± 12,06 mg/L. Relativamente ao fósforo total a média encontra-se nos 6,33 mg/L ± 2,14 mg/L, contudo este nutriente oscilou entre o valor mínimo de 2,94 mg/L ± 2,14 mg/L e um valor máximo de 10,10 mg/L ± 2,14 mg/L.

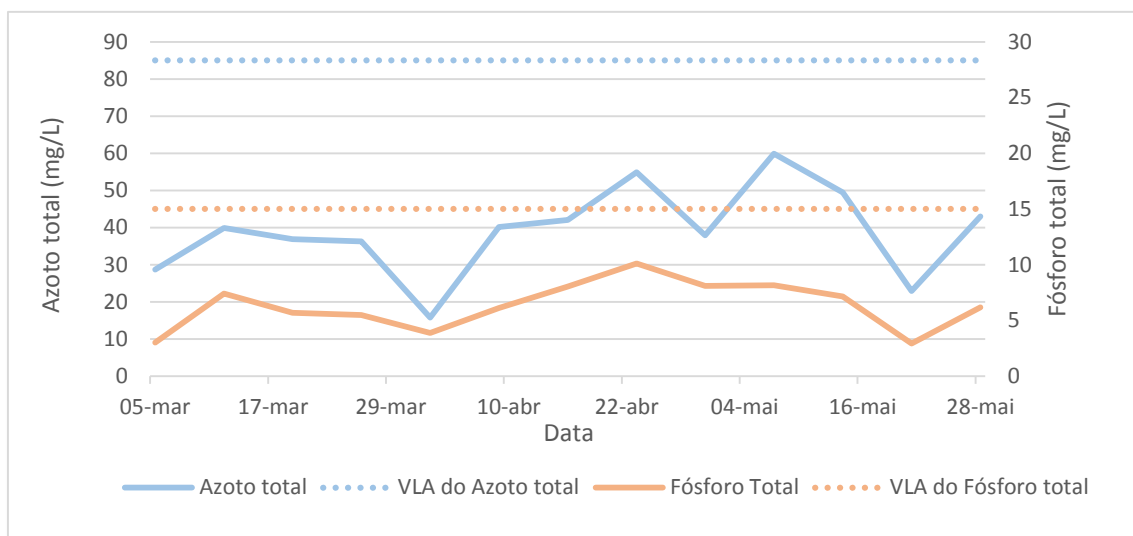


Figura 16. Variação do Fósforo total e Azoto total na água residual bruta na ETAR de Serzedo.

Finalmente foi também feito o controlo à entrada do azoto amoniacal (NH_4^+) e dos nitratos (NO_3^-). A variação destes dois parâmetros e dos respetivos VLA encontram-se na figura 17.

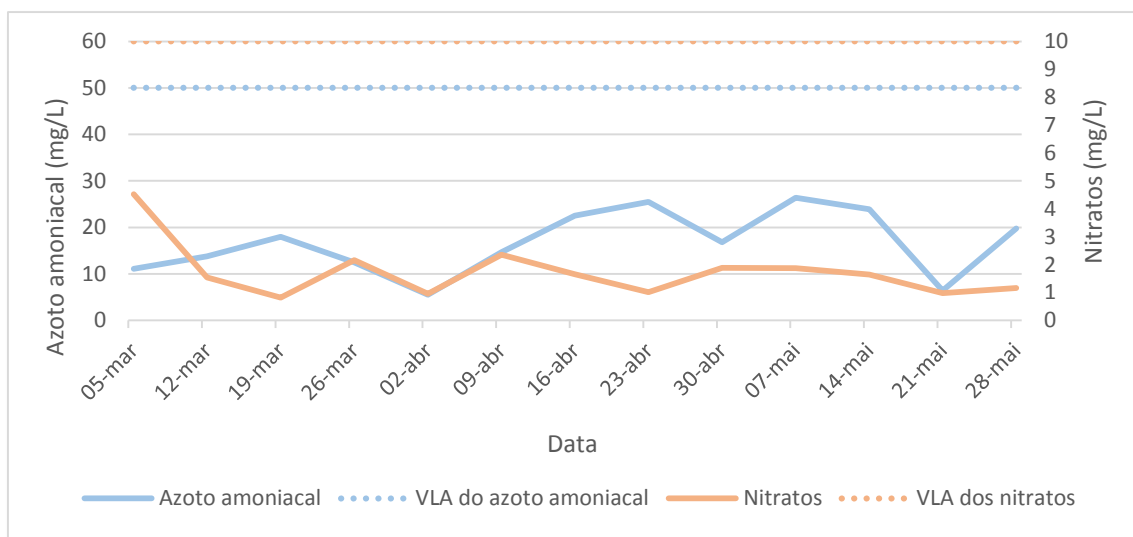


Figura 17. Variação do azoto amoniacal e nitratos na água residual bruta na ETAR de Serzedo.

A média de azoto amoniacal na água residual bruta esteve nos $16,69 \text{ mg/L} \pm 6,84 \text{ mg/L}$, contudo chegou a atingir um valor máximo de $26,40 \text{ mg/L} \pm 6,84 \text{ mg/L}$ e um valor mínimo de $5,53 \text{ mg/L} \pm 6,84 \text{ mg/L}$. Os nitratos tiveram num valor médio de entrada de $1,73 \text{ mg/L} \pm 0,97 \text{ mg/L}$ mantendo sempre estes valores, excetuando um dia em os nitratos chegaram a atingir um máximo de $4,52 \text{ mg/L} \pm 0,97 \text{ mg/L}$. De referir que ambos os parâmetros estiveram longe dos valores limites de alerta.

5.1.3 Vala de oxidação

O reator biológico, como já foi referido anteriormente é composto por duas linhas de tratamento. Os parâmetros analisados ao licor misto que circula dentro das duas valas de oxidação, foram feitos sempre para a linha 1 e 2, contudo as variáveis de processo foram calculadas para o sistema biológico com as médias das duas linhas.

Nesta secção vão ser discutidas as variáveis de processo como o tempo de retenção de sólidos (TRS), a biodegradabilidade (razão CBO/CQO), o índice volumétrico de lamas (IVL) e a razão A/M, assim como o teor em sólidos suspensos totais (SST) dentro das duas linhas com a finalidade de avaliar o funcionamento do tratamento biológico.

O IVL é um fator importante para a avaliação da sedimentabilidade das lamas. A figura 18 mostra a variação e os valores limite de alerta da empresa do IVL no período de amostragem referido nas metodologias.

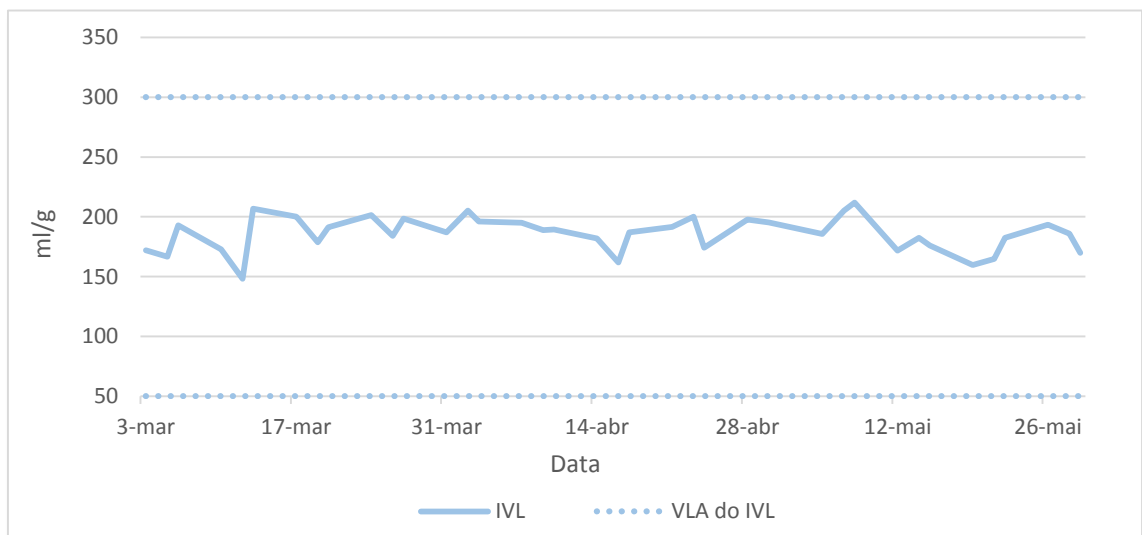


Figura 18. Variação do índice volumétrico de lamas (IVL) no reator biológico da ETAR de Serzedo.

O IVL médio foi de $185,60 \text{ ml/g} \pm 14,44 \text{ ml/g}$. O valor máximo foi de $211,90 \text{ mg/L} \pm 14,44$ e o mínimo de $148,09 \text{ ml/g} \pm 14,44 \text{ ml/g}$, ficando longe de atingir os valores limites de alerta. O valor típico do IVL para o bom funcionamento do reator é de 150 ml/g , sendo que valores acima deste são associados ao crescimento de bactérias filamentosas o que indica uma má sedimentabilidade de lamas [10]. Pela observação do gráfico conclui-se que os valores de IVL se encontram acima dos 150 ml/g o que indica uma sedimentabilidade de lamas fraca.

No gráfico da figura 19 encontra-se a variação de dois parâmetros do processo, a razão CBO/CQO e a carga mássica do processo a Razão A/M com os respetivos valores limite de alerta.

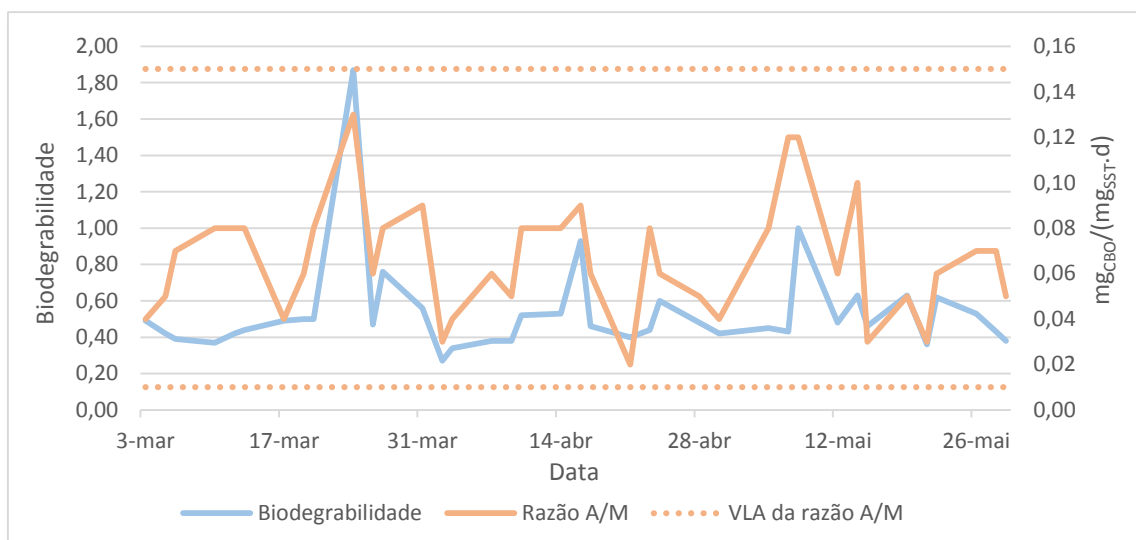


Figura 19. Variação da biodegradabilidade e da razão A/M no reator biológico da ETAR de Serzedo.

Os valores da CQO e CBO de entrada permitiram calcular a razão CBO/CQO, que fornece indicação quanto à biodegradabilidade do efluente. O valor médio foi de $0,53 \pm 0,27$ o que vai de encontro aos valores típicos de efluente facilmente biodegradável [10].

A razão A/M variou entre um valor máximo de $0,13 \pm 0,03$ e um valor mínimo de $0,02 \pm 0,03$. A média durante o período de análises foi de $0,07 \pm 0,03$ encontrando-se dentro dos valores típicos (0,05 a 0,3) para um reator biológico de arejamento prolongado como é a vala de oxidação [10]. Para estes dois parâmetros, os valores limite de alerta não foram excedidos durante os três meses.

O tempo de retenção de sólidos no reator (TRS) está apresentado na figura 20 com os respetivos VLA para controlo interno da empresa. O intervalo da idade das lammas típicos para um reator biológico do tipo vala de oxidação é de 10 d a 30 d [10, 12]. Pela observação gráfica verificamos que o TRS desta ETAR permaneceu dentro dos valores encontrados na bibliografia. O valor médio foi de $18,91 \text{ d} \pm 4,67 \text{ d}$, contudo atingiram-se valores máximos perto dos 30 d e valores mínimos a rondar os 10 d e os 15 d.

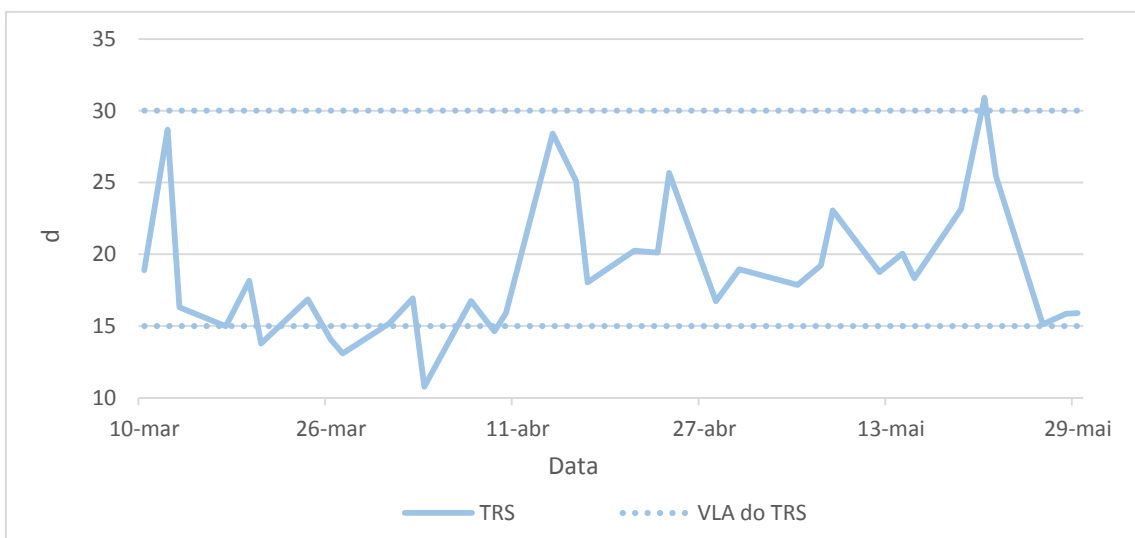


Figura 20. Variação do TRS no reator biológico da ETAR de Serzedo.

Os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) foram analisados três vezes por semana na ETAR de Serzedo para a avaliação do reator biológico. Como o sistema biológico é composto por duas linhas de tratamento, os valores de sólidos do licor misto 1 encontram-se representado na figura 21 e os dos sólidos do licor misto 2 na figura 22.

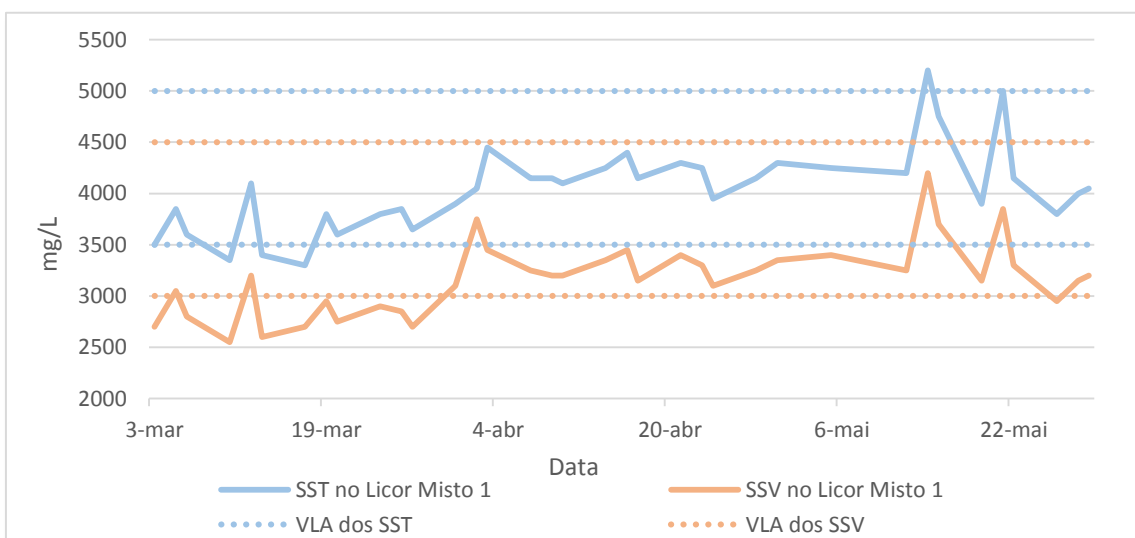


Figura 21. Variação dos SST e dos SSV no Licor Misto 1 da ETAR de Serzedo.

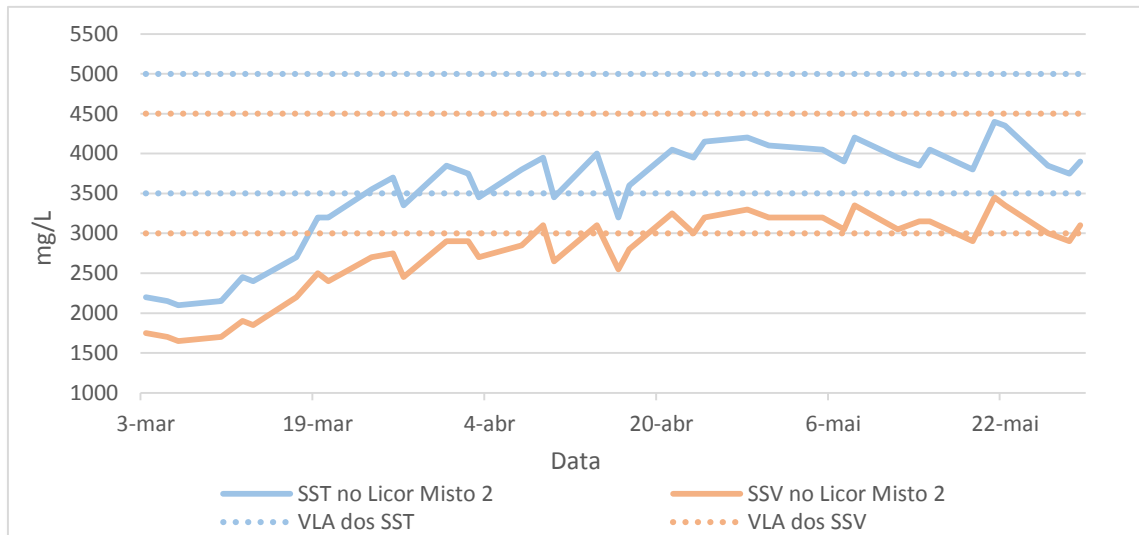


Figura 22. Variação dos SST e dos SSV no Licor Misto 2 da ETAR de Serzedo e respetivos VLA.

Os SST no licor misto 1 variaram dos 3500 mg/L aos 5000 mg/L e os SSV dos 2500 mg/L aos 4500 mg/L, aproximadamente. A média de SST no reator 1 foi de $4046 \text{ mg/L} \pm 414 \text{ mg/L}$ e dos SSV foi de $3172 \text{ mg/L} \pm 359 \text{ mg/L}$. Os valores típicos do teor em sólidos para um reator deste tipo são entre os 2000 mg/L e os 5000 mg/L verificando-se assim que os valores recolhidos em Serzedo se encontram dentro normais para um reator de arejamento prolongado [10, 12]. Relativamente aos sólidos no licor misto 2 as médias de SST e SSV são respetivamente $3545 \text{ mg/L} \pm 669 \text{ mg/L}$ e $2755 \text{ mg/L} \pm 521 \text{ mg/L}$ seguindo os valores encontrados na bibliografia. Contudo verifica-se que no primeiro mês de análises (março) os SST estavam entre os 1500 mg/L e os 2500 mg/L aproximadamente tendo aumentado ao longo dos restantes dois meses para valores mais próximos dos encontrados na bibliografia (entre os 2000 mg/L e os 5000 mg/L) [10].

A empresa estabeleceu valores limite de alerta para os SST e SSV do reator biológico. No licor misto 1 os SST estiveram dentro dos VLA propostos apenas ultrapassando o valor limite mínimo (3500 mg/L) em 3 dias do mês de março. Os SSV no mês de março estiveram em baixo do limite mínimo de alerta. Os SST e SSV do licor misto 2 estiveram sempre muito próximos do valor limite de alerta mínimo (3000 mg/L) chegando a ultrapassar no mês de março.

5.1.4 Recirculação

No laboratório interno de Serzedo foram feitas análises aos sólidos das lamas em recirculação da linha 1 e da linha 2 como se pode observar na figura 23 que apresenta os SST e SSV da linha 1 e na figura 24 estão apresentados os SST e SSV das lamas recirculadas da linha 2. A empresa para o controlo interno estabeleceu valores limite de alerta para o melhor controlo das lamas recirculadas e estes também se encontram nas figuras 23 e 24.

Analisando a figura 23 verificamos que os SST e SSV cumpriram os VLA estipulados para os sólidos em recirculação com a exceção de um dia no período de amostragem para os SSV que ultrapassou o limite mínimo de (5000 mg/L) no período de amostragem.

Relativamente aos SST e SSV da linha 2 estes foram mais baixos que os sólidos da linha 1 e chegaram em alguns dias a ultrapassar os VLA mínimos. Os sólidos na recirculação são importantes para manter a biomassa dentro do reator. A quantidade de lama a ser recirculada vai depender fundamentalmente da qualidade da sedimentação no decantador secundário, ou seja quanto melhor for a sedimentação das lamas no decantador, maior será a concentração de SST nas lamas de recirculação [11].

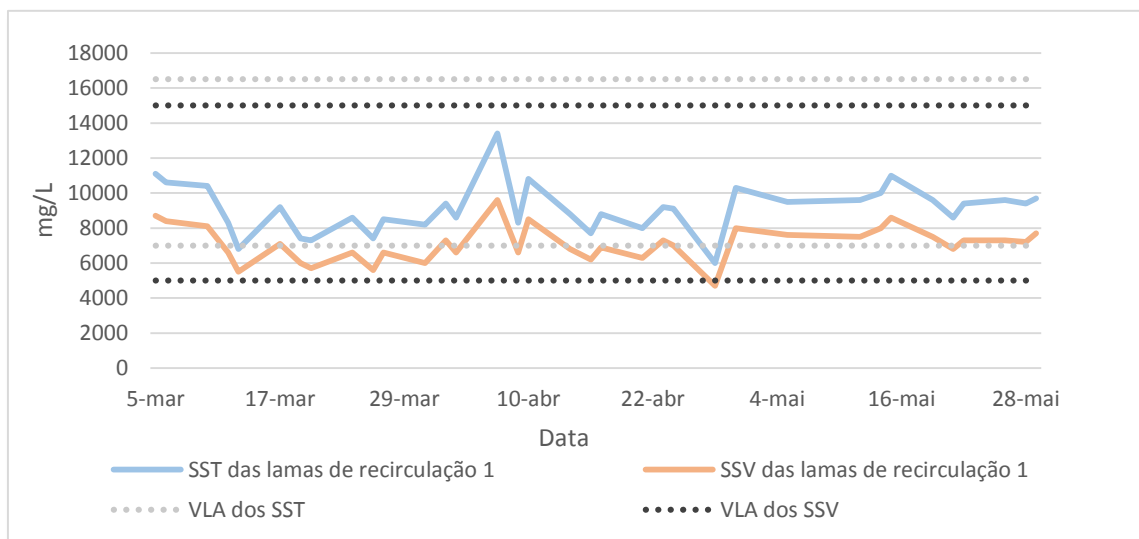


Figura 23. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 1 da ETAR de Serzedo.

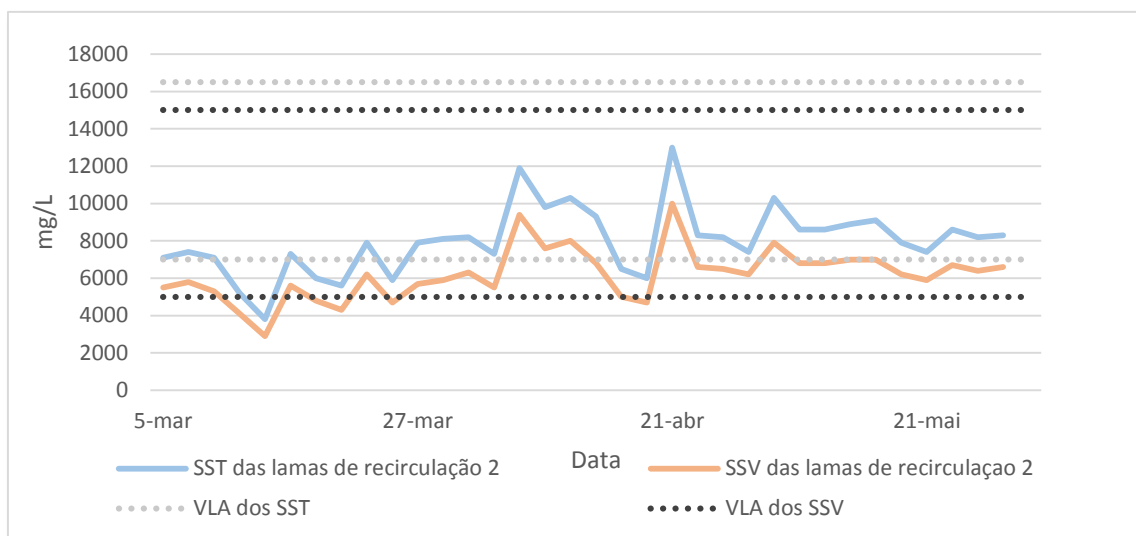


Figura 24. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 2 da ETAR de Serzedo.

5.1.5 Água Residual Tratada

No laboratório interno da ETAR de Serzedo foram analisados os parâmetros pH, CQO, CBO, azoto total, fósforo total, azoto amoniacal, nitratos, SST e SSV para o controlo da água residual tratada. Na tabela 15 encontra-se um sumário com as médias de todos os valores obtidos para água residual tratada e os respetivos valores limite de emissão (VLE). De uma forma geral verificou-se que todos os parâmetros cumpriram a legislação aplicada e pode-se afirmar que os valores ficaram bastante em baixo dos permitidos por lei.

Tabela 15. Médias e desvio padrão e VLE dos parâmetros da água residual tratada da ETAR de Serzedo

| Parâmetros | Média | Desvio Padrão | VLE |
|-------------------------------------|-------|---------------|-------|
| pH (Escala de Sorensen) | 6,85 | 0,27 |]6;9[|
| CQO (mg /L) | 40,85 | 18,00 | <125 |
| CBO (mg /L) | 2,12 | 1,56 | <25 |
| SST (mg/L) | 12,00 | 5,73 | <35 |
| SSV (mg/L) | 9,74 | 4,88 | - |
| P _{total} (mg/L) | 2,58 | 1,26 | <10 |
| N _{total} (mg/L) | 5,02 | 1,33 | <15 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 0,37 | 0,39 | - |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,52 | 0,26 | - |

Para uma melhor compreensão dos parâmetros analisados encontram-se de seguida nesta secção cada parâmetro analisado individualmente através de gráficos de variação ao longo do período de amostragem.

A figura 25 mostra a variação de pH na água residual tratada e os valores limite de emissão. O valor médio de pH foi de $6,85 \pm 0,27$ e durante os três meses de amostras este cumpriu sempre os requisitos legais. A variação ao longo do período de amostragem não foram significativas mantendo-se sempre dentro dos mesmos valores.

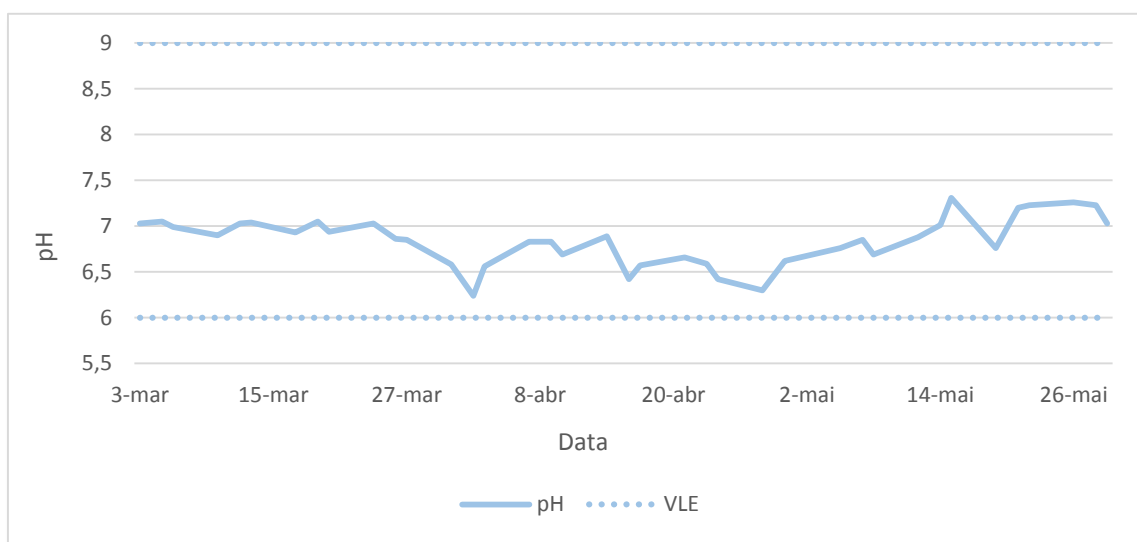


Figura 25. Variação do pH (escala de Sorensen) da água residual tratada na ETAR de Serzedo.

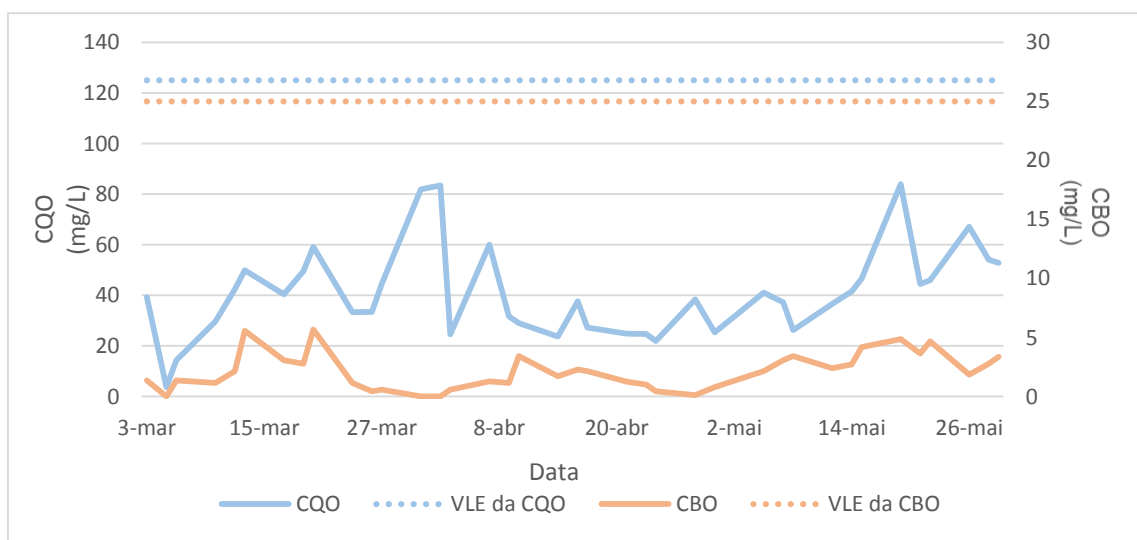


Figura 26. Variação da CQO e CBO na água residual tratada da ETAR de Serzedo.

As médias da carga orgânica do efluente (figura 26) foram de $40,85 \text{ mg O}_2/\text{L} \pm 18,00 \text{ mg O}_2/\text{L}$ para a CQO e de $2,12 \text{ mg O}_2/\text{L} \pm 1,56 \text{ mg O}_2/\text{L}$ para a CBO. Os valores de CQO não foram constantes ao longo dos meses sendo que o valor máximo foi de $83,92 \text{ mg O}_2/\text{L} \pm 18,00 \text{ mg O}_2/\text{L}$ e o valor mínimo de $3,74 \text{ mg O}_2/\text{L} \pm 18,00 \text{ mg O}_2/\text{L}$, contudo não ultrapassaram o valor de descarga permitido por lei e até ficaram longe de o atingir. A CBO manteve-se com um valor máximo de $5,68 \text{ mg O}_2/\text{L} \pm 1,56 \text{ mg O}_2/\text{L}$, não excedendo o VLE da legislação.

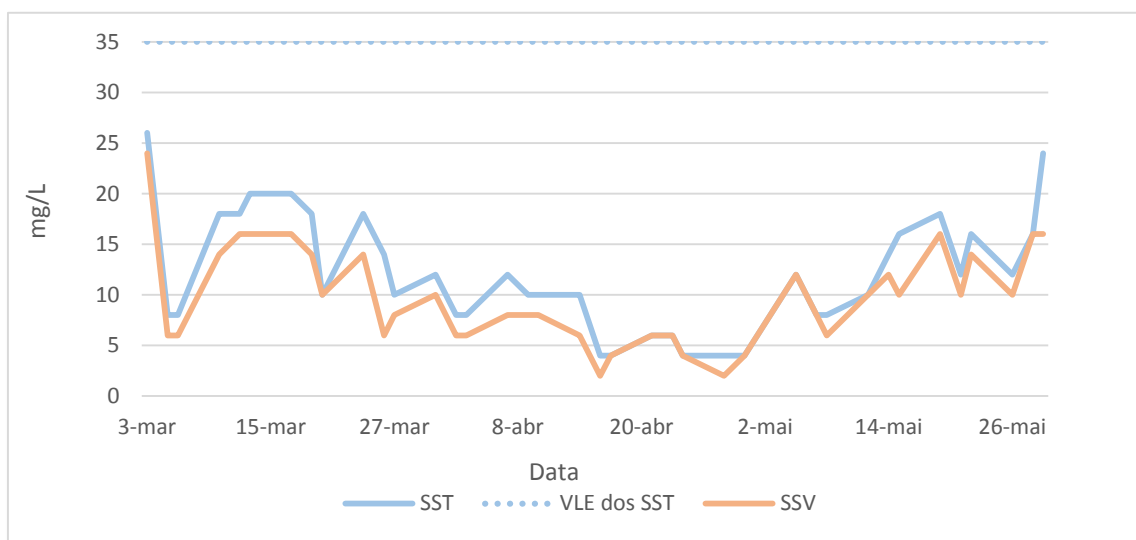


Figura 27. Variação dos SST e SSV na água residual tratada da ETAR de Serzedo.

O gráfico da figura 27 mostra a variação dos sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) no período de amostragem referidos. Consta-se que os SST não ultrapassaram os VLE, verifica-se ainda uma variação na concentração de SST e SSV, mas estes mantiveram-se baixos.

Relativamente à remoção de nutrientes o fósforo e azoto mantiveram-se constantes e apresentaram valores médios de $2,58 \text{ mg/L} \pm 1,26 \text{ mg/L}$ e de $5,02 \text{ mg/L} \pm 1,33 \text{ mg/L}$, respetivamente. De notar que estes dois parâmetros não chegaram a atingir os VLE como se pode ver na figura 28.

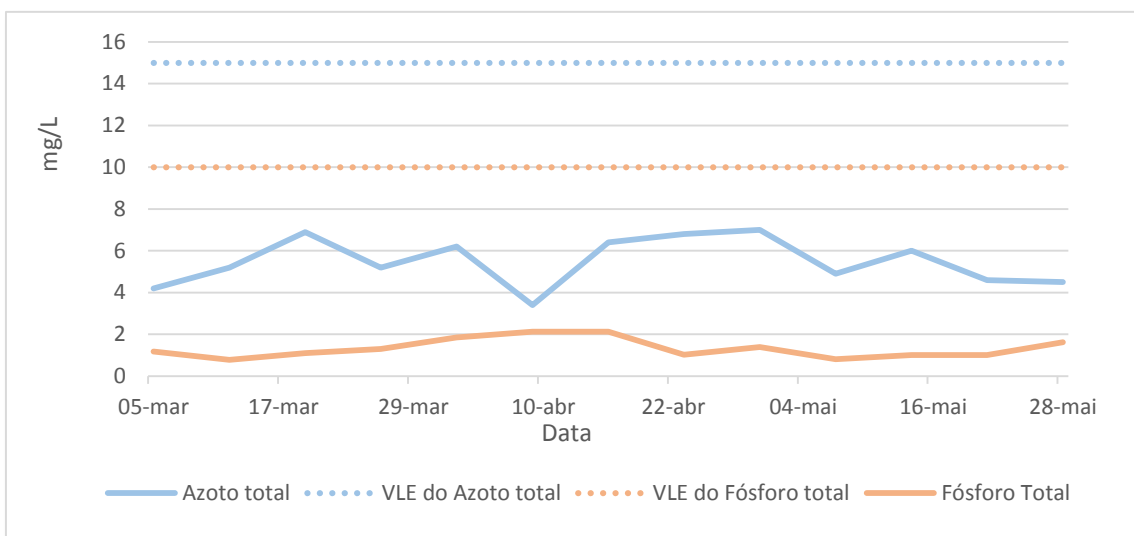


Figura 28. Variação do fósforo total e azoto total na água residual tratada da ETAR de Serzedo.

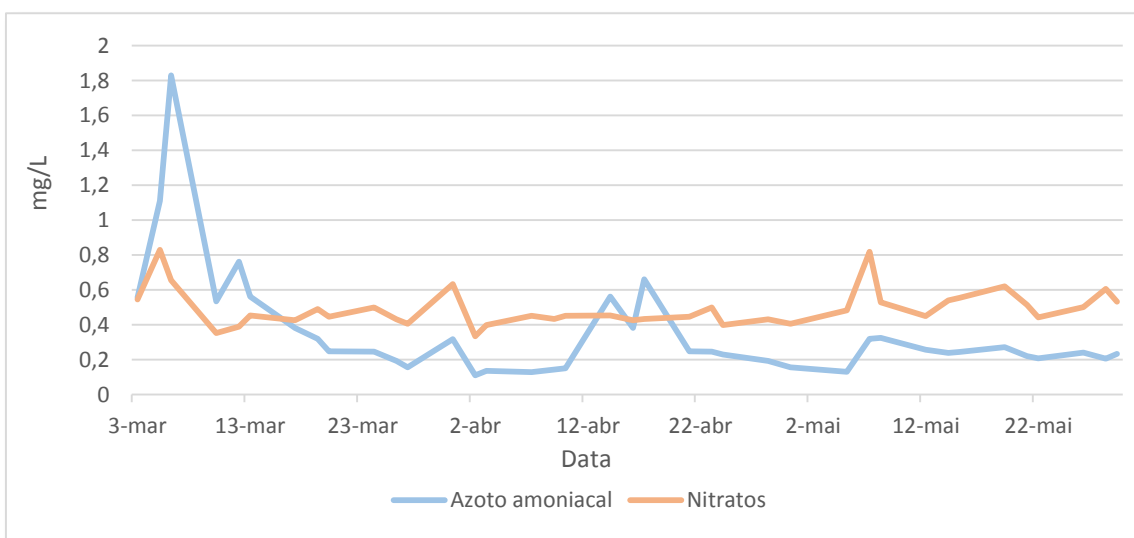


Figura 29. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos na água residual tratada da ETAR de Serzedo.

Finalmente foram realizadas análises de saída ao azoto amoniacal e aos nitratos (figura 29). As médias destes dois compostos são baixas, $0,37 \text{ mg/L} \pm 0,39 \text{ mg/L}$ para a amónia e $0,52 \text{ mg/L} \pm 0,26 \text{ mg/L}$ o que mostra o bom desempenho do reator e dos processos de nitrificação e desnitrificação que consequentemente como mostra a figura 29, levou a uma remoção eficiente do azoto total.

5.1.6 Tratamento de Lamas

O tratamento de lamas é constituído por um tambor de espessamento seguido de uma centrífugadora de desidratação. Nesta secção vai ser discutido a variação da percentagem de matéria seca e volátil das lamas espessadas e desidratadas (figura 30).

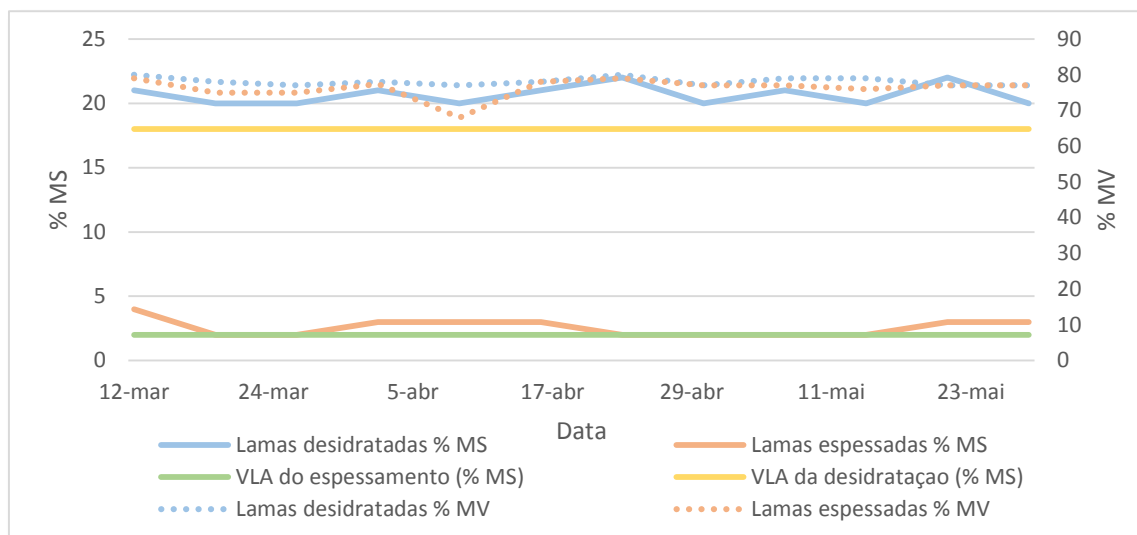


Figura 30. Variação da % MS e MV das lamas desidratadas e lamas espessadas da ETAR de Serzedo.

Observando-se a figura 30 podemos verificar que tanto a % MS do espessamento como a % MS da desidratação não foram inferiores aos valores limite de alerta (VLA), $<2\%$ para o espessamento e $<18\%$ para a desidratação. Segundo um documento interno da empresa a centrífuga permite obter uma percentagem de matéria seca na ordem dos 20% a 22% [23], o que olhando para os resultados obtidos foi conseguido. Relativamente ao espessamento, o tambor de espessamento permite atingir percentagens de matéria seca de 4% a 6% , o que não conseguiu atingir pois a média da % MS da lama espessada foi de $2,58\% \pm 0,67\%$, contudo a lama espessada vai ser alimentada à centrífuga e este é um fator importante para a centrífugadora ter um bom funcionamento e como já foi referido foram atingidos bons resultados de percentagem de matéria seca. Por fim, a percentagem de matéria volátil das lamas espessadas e das lamas desidratadas mantiveram-se constantes e as médias foram de $76,28\% \pm 2,91\%$ e $78,08\% \pm 1,16\%$, respetivamente.

5.2 ETAR do Sousa

O período de amostragem da ETAR do Sousa foi durante os meses de junho, julho e agosto. Foram realizadas análises no laboratório integrado da ETAR a vários parâmetros da água residual bruta, predominantemente doméstica, à água residual tratada, ao decantador primário, ao reator biológico e ao tratamento de lamas. Nas secções que se seguem serão apresentados e discutidos todos os compostos analisados de cada processo de tratamento.

5.2.1 Caudal de afluência

A figura 31 mostra a variação dos caudais de entrada da ETAR do Sousa durante os meses de junho, julho e agosto. Através da sua observação verifica-se que os caudais estão entre o valor mínimo de 1601 m³/dia e o valor máximo de 3722 m³/dia, estando assim, ainda longe do ano do horizonte de projeto (13 855 m³/d) para o qual foi projetada a ETAR.

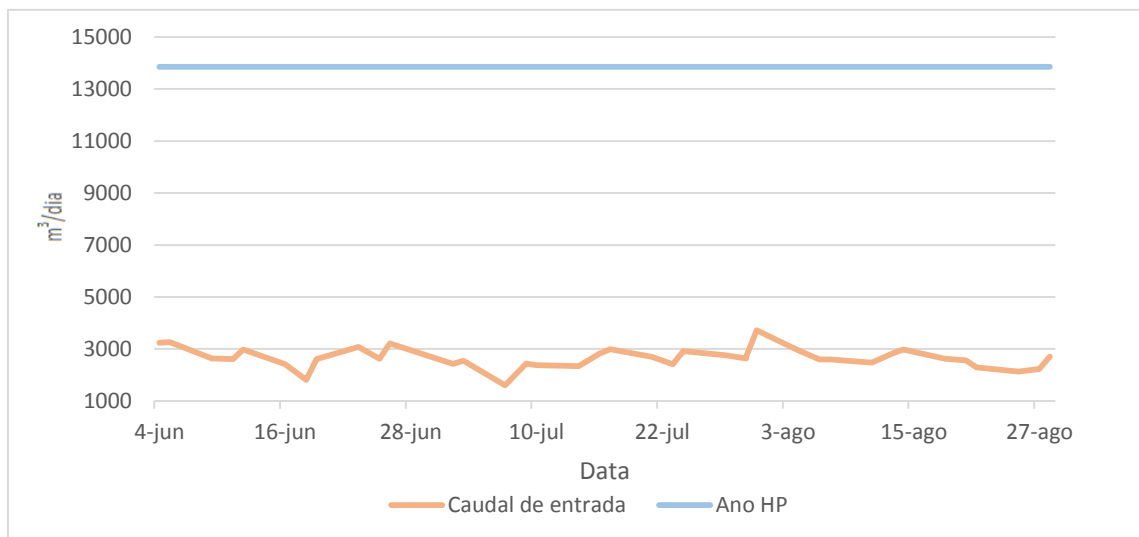


Figura 31. Caudal de entrada da água residual bruta da ETAR do Sousa.

5.2.2 Água residual bruta

A água residual de entrada desta ETAR é o resultado da atividade doméstica e tal como em Serzedo foram feitas análises ao pH, CQO, CBO, SST, SSV, azoto total, fósforo total, nitratos e azoto amoniacal. Seguidamente é apresentada uma tabela com um sumário das médias de todos os parâmetros que caracterizam este efluente de entrada (tabela 16).

Tabela 16. Médias e desvio padrão das características da água residual bruta da ETAR do Sousa

| Parâmetros | Média | Desvio Padrão |
|-------------------------------------|---------|---------------|
| pH (Escala de Sorensen) | 8,05 | 0,33 |
| CQO (mg/L) | 1118,72 | 416,01 |
| CBO (mg/L) | 580,11 | 212,13 |
| SST (mg/L) | 538,82 | 194,60 |
| SSV (mg/L) | 464,89 | 163,99 |
| P _{total} (mg/L) | 16,09 | 4,53 |
| N _{total} (mg/L) | 141,65 | 51,40 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 1,84 | 0,55 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 96,45 | 42,81 |

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, são apresentados os gráficos de variação do pH, matéria orgânica, sólidos suspensos totais e voláteis, azoto e fósforo total, azoto amoniacal e nitratos para o período de amostragem referido anteriormente.

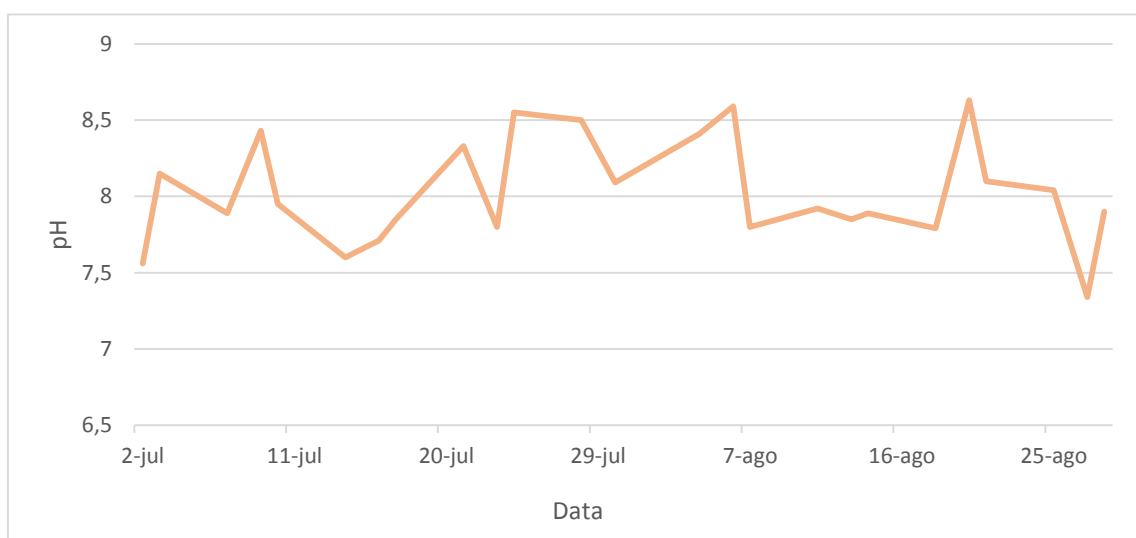


Figura 32. Variação do pH (Escala de Sorensen) água residual bruta da ETAR do Sousa.



Figura 33. Variação da CQO e CBO da água residual bruta da ETAR do Sousa.

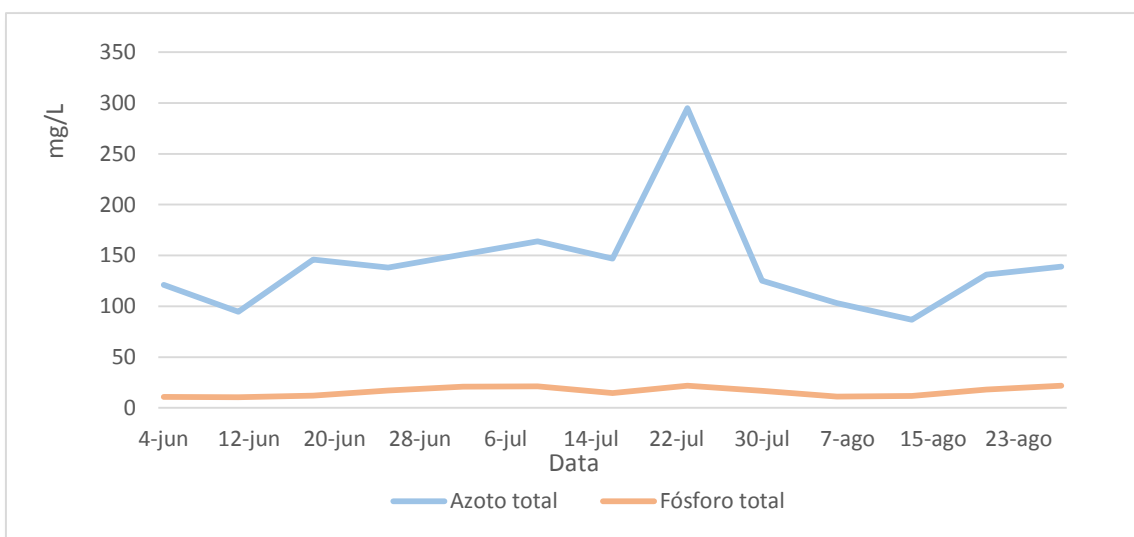


Figura 34. Variação do fósforo total e do azoto total da água residual bruta da ETAR do Sousa.

No gráfico da figura 32 é apresentada a variação do pH na água residual de entrada da ETAR do Sousa. O pH variou entre 7,5 e 8,5 aproximadamente, com uma média de $8,05 \pm 0,33$ característica de um efluente de natureza doméstica.

Observando a figura 33 repara-se que uma das características do efluente da ETAR do Sousa é a elevada concentração de CQO e CBO na entrada, com médias de $1118,72 \text{ mg/L} \pm 416,01 \text{ mg/L}$ e $580,11 \text{ mg/L} \pm 212,13 \text{ mg/L}$ respetivamente.

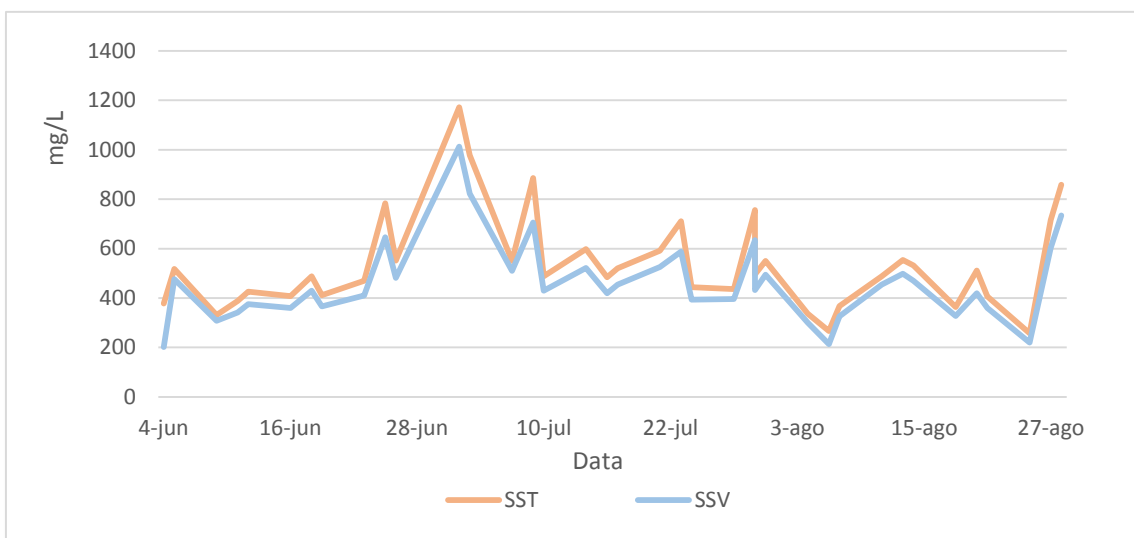


Figura 35. Variação dos SST e SSV da água residual bruta da ETAR do Sousa.

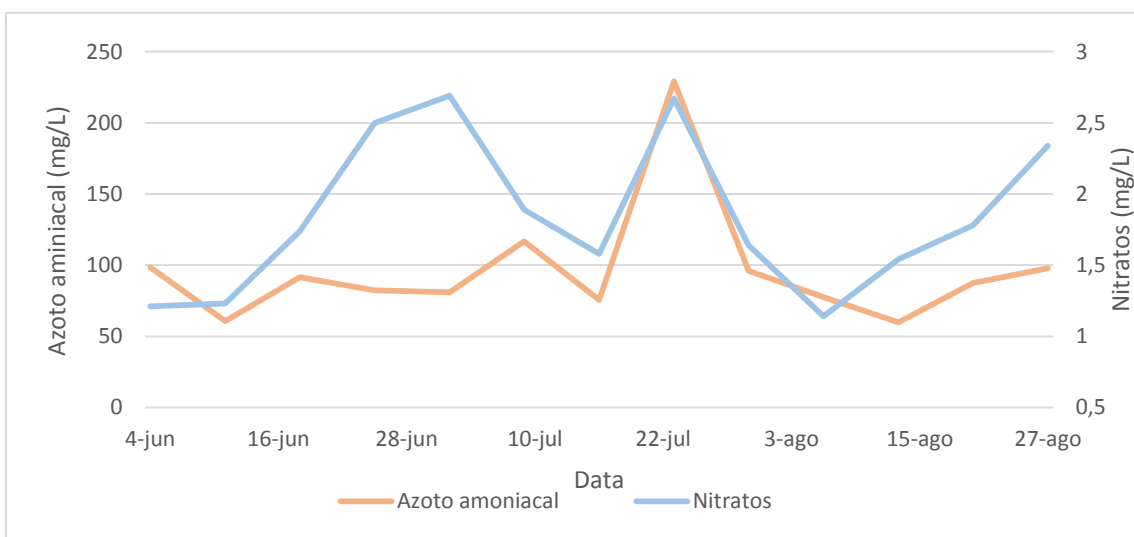


Figura 36. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos da água residual bruta da ETAR do Sousa

Houve uma grande variação durante o período de análises para os parâmetros SST e SSV como se pode observar pelo gráfico da figura 35. A média dos SST é de $538,82 \text{ mg/L} \pm 194,60 \text{ mg/L}$ e a média dos SSV de $464,89 \text{ mg/L} \pm 163,99 \text{ mg/L}$. Podemos afirmar pela observação destas duas médias que a maior parte dos SST são orgânicos. De notar que existiu um aumento significativo de sólidos suspensos totais chegando a atingir o valor máximo de $1172 \text{ mg/L} \pm 194,60 \text{ mg/L}$. Este aumento deve-se ao facto de se ter fechado a linha 1 do tratamento pois o caudal de afluência à ETAR era baixo e não justificava operar com duas linhas. Quando se despejou o reator as lamas depositadas no fundo foram retiradas e postas na obra de entrada o que provocou o aumento da concentração dos sólidos.

A figura 34 diz respeito à variação dos nutrientes no reator ao longo do tempo. A média de fósforo de entrada na ETAR foi de $16,09 \text{ mg/L} \pm 4,53 \text{ mg/L}$, sendo que nesta ETAR não existe nenhum tratamento específico para o fósforo, este é removido pela via biológica, através do funcionamento do reator. O Azoto total encontra-se na figura 34 e verifica-se uma variação significativa com um valor máximo medido de $295,00 \text{ mg/L} \pm 51,40 \text{ mg/L}$ e um mínimo de $86,80 \text{ mg/L} \pm 51,40 \text{ mg/L}$. Pode-se afirmar que entra este efluente tem uma concentração elevada de azoto total.

Em relação à concentração de azoto amoniacal na água residual bruta (figura 36) a média é de $96,45 \text{ mg/L} \pm 42,8 \text{ mg/L}$ e constitui a maior parte do azoto amoniacal presente no efluente. É de salientar que tal como para os sólidos suspensos totais, o fecho da linha 1 e consequente deposição das lamas do reator de novo na obra de entrada resultou num aumento do azoto amoniacal e do azoto total chegando a atingir máximos de $229,20 \text{ mg/L} \pm 42,82 \text{ mg/L}$ e $295,00 \text{ mg/L} \pm 51,40 \text{ mg/L}$, respetivamente.

Os nitratos (figura 36) de entrada na ETAR mantiveram-se constantes e baixos com uma média de $1,84 \text{ mg/L} \pm 0,55 \text{ mg/L}$.

5.2.3 Decantador Primário

O sistema de tratamento da ETAR do Sousa contempla a decantação primária com o objetivo da remoção de sólidos suspensos. Para o controlo desta operação unitária são efetuadas análises semanais aos sólidos da água residual bruta (SST_{entrada}) e aos sólidos de saída da decantação ($SST_{\text{Decantador}}$). A tabela 17 apresenta um sumário com os SST_{entrada} , $SST_{\text{Decantador}}$, o rendimento do processo e os respetivos desvios padrão.

Verifica-se que a média de sólidos à entrada é de $602,69 \text{ mg/L} \pm 245,12 \text{ mg/L}$ e uma média de sólidos à saída de $127,69 \text{ mg/L} \pm 58,71 \text{ mg/L}$. Relativamente ao rendimento deste processo, a percentagem encontrada na bibliografia é de 50 % a 70 % de remoção de sólidos [10]. O rendimento deste processo foi de $77,46 \% \pm 7,10 \%$, o que superou os valores estimados para um decantador primário na bibliografia.

Tabela 17. Médias dos SST_{Entrada}, SST_{Decantador} e do rendimento do processo de Decantação Primária

| Parâmetros | Média | Desvio Padrão |
|----------------------------------|--------|---------------|
| SST _{Entrada} (mg/L) | 602,69 | 245,12 |
| SST _{Decantador} (mg/L) | 127,69 | 58,71 |
| Rendimento do Processo (%) | 77,46 | 7,10 |

5.2.4 Reator Biológico

Na ETAR do Sousa, assim como na ETAR de Serzedo, o desempenho do reator biológico é efetuado pelo cálculo das variáveis de processo como o IVL, TRS, biodegradabilidade e razão A/M. As figuras 37, 38 e 39 dizem respeito à variação destes parâmetros ao longo do tempo de amostragem, respetivamente.

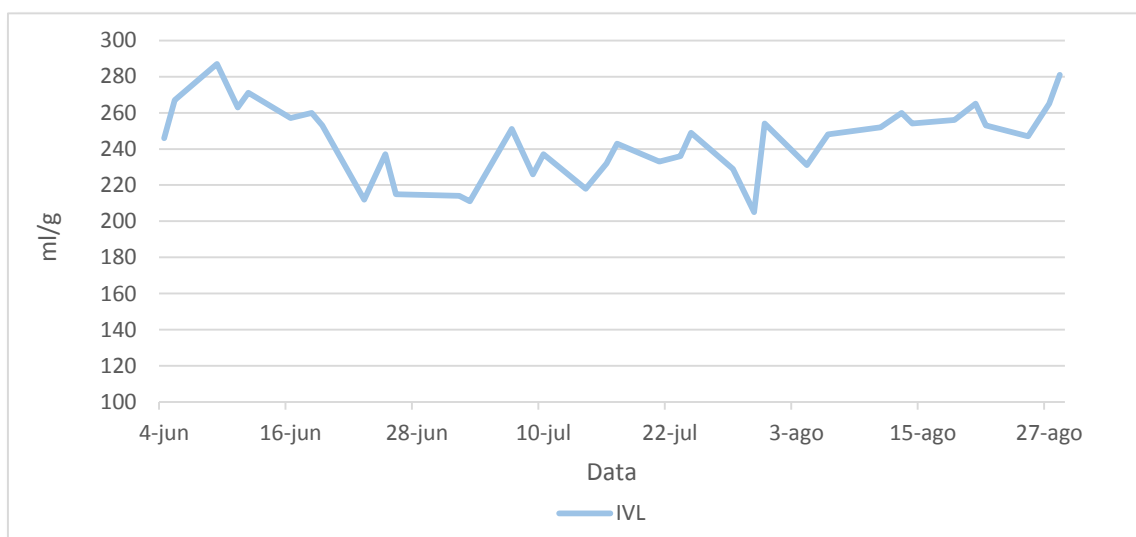


Figura 37. Variação do Índice Volumétrico de Lamas do reator biológico da ETAR do Sousa.

Como já referido anteriormente o IVL típico para uma vala de oxidação é de 150 ml/g [10]. Pela observação da figura 37 verifica-se que existiu uma grande variação do índice volumétrico das lamas ao longo do tempo e que o este se manteve sempre por valores superiores aos 200 ml/g chegando a atingir os 290 ml/g. Perante estes valores e segundo a bibliografia valores superiores ao 150 ml/g indicam uma má sedimentabilidade de lamas e pode estar ligado à presença de bactérias filamentosas.

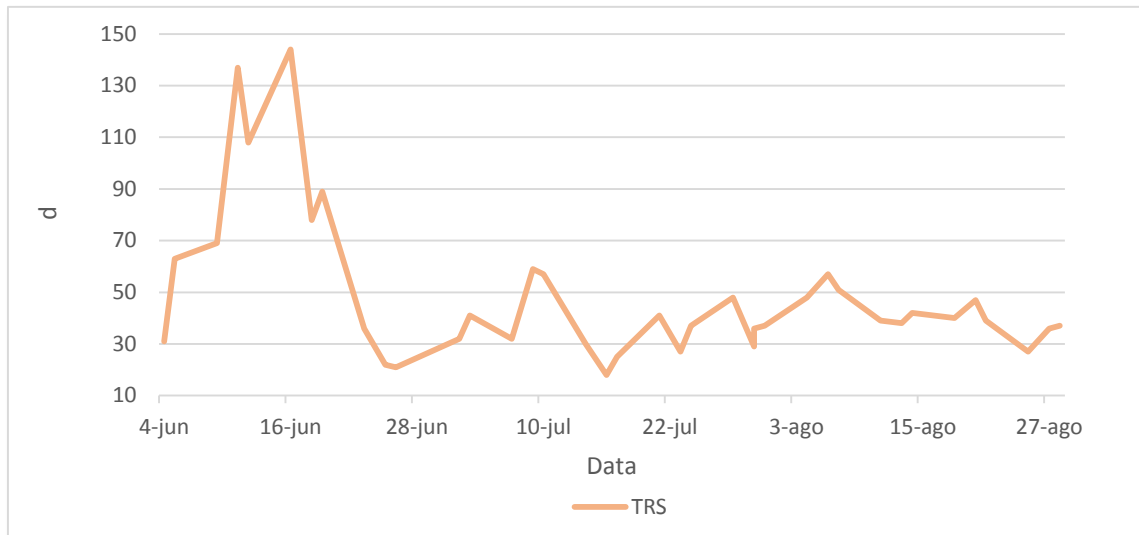


Figura 38. Variação do Tempo de Retenção de Sólidos no reator biológico da ETAR do Sousa.

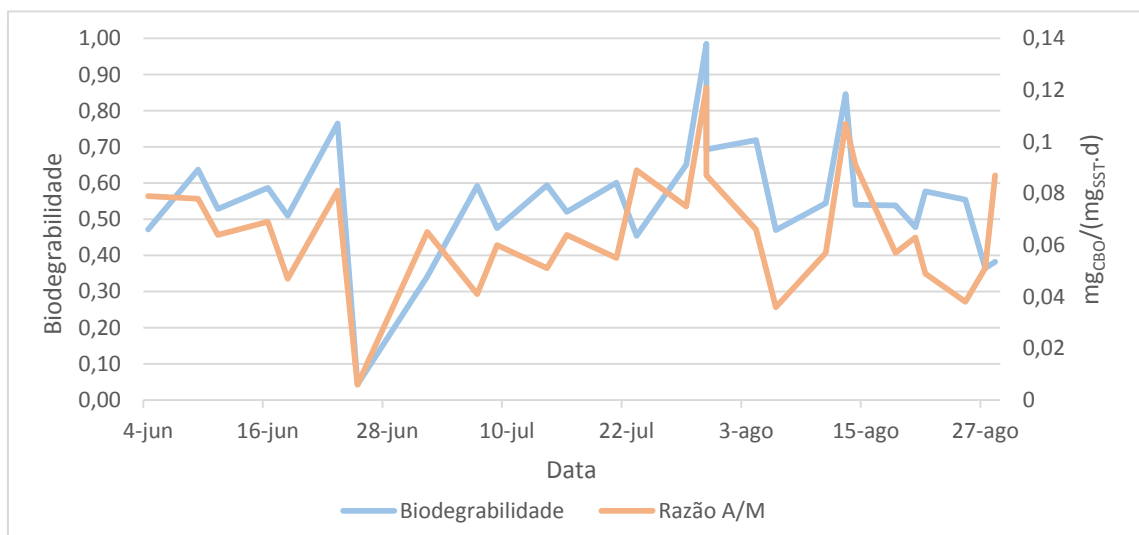


Figura 39. Variação da razão A/M e da biodegradabilidade no reator biológico da ETAR do Sousa.

O tempo de retenção de sólidos no reator biológico variou ao longo do tempo. No início do período de amostragem este chegou a atingir os 150 d, contudo ao longo do tempo a tendência foi diminuir para valores entre os 15 d e os 60 d aproximadamente. Os valores típicos de TRS para um reator biológico do tipo vala de oxidação são de 10 d a 30 d [10,11], contudo na ETAR do Sousa os valores de TRS foram superiores e só em alguns dias estiveram dentro do intervalo típico para este tipo de reator.

Relativamente à razão A/M e a biodegradabilidade a sua variação ao longo do tempo encontra-se na figura 39. A média da razão A/M foi de $0,07 \pm 0,02$ encontrando-se dentro dos valores entrados na bibliografia para estes reatores cerca de 0,05 e 0,3 [10]. A média da

biodegradabilidade foi de $0,55 \pm 0,17$ o que segundo a bibliografia, um efluente com uma razão CBO/CQO a rondar os 0,5, indica uma boa biodegradabilidade o que facilita o bom funcionamento do reator biológico [10].

5.2.5 Recirculação

Tal como para Serzedo, também na ETAR do Sousa, os SST e SSV das duas linhas de recirculação eram analisados semanalmente para verificar os sólidos da recirculação e controlar a biomassa dentro do reator, contudo para a ETAR do Sousa ainda não estavam estipulados VLA para o controlo interno da empresa. Verifica-se pela figura 40 que existiu uma grande variação dos SST e SSV ao longo do período de amostragem tanto para a linha 1 como para a linha 2, chegando num dia a atingir valores baixos rondando os 2000 mg/L de SST e no dia seguinte chegava a atingir valores na ordem dos 14000 mg/L de SST.

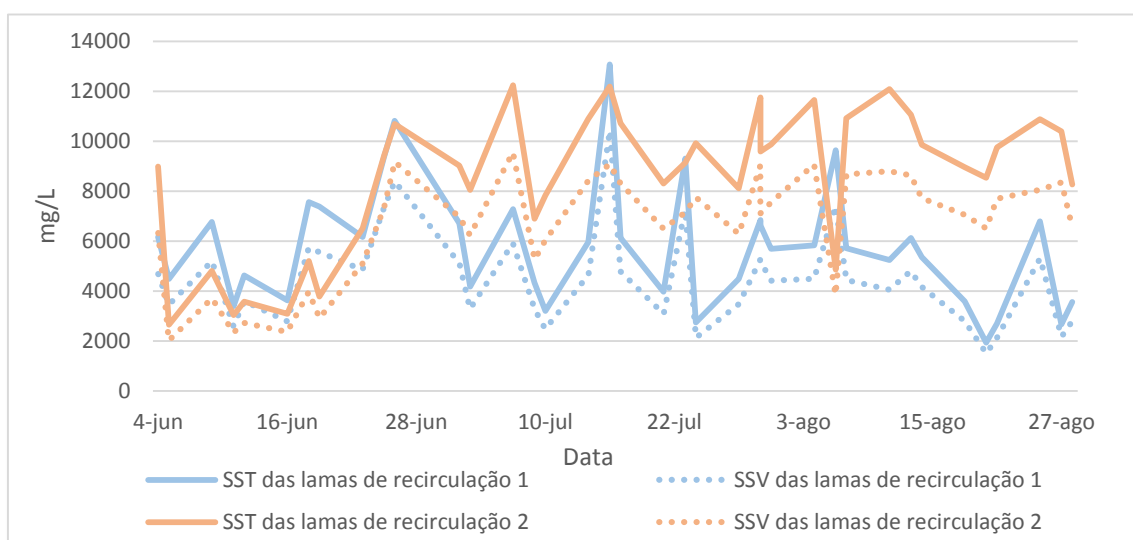


Figura 40. Variação dos SST e SSV das lamas de recirculação da linha 1 e 2 da ETAR do Sousa.

5.2.6 Tratamento de lamas

O tratamento de lamas na ETAR do Sousa é mais complexo que o da ETAR de Serzedo envolvendo mais processos de tratamento de lamas como um espessador gravítico para as lamas primárias, um tambor de espessamento para as lamas em excesso e o conjunto destes dois tipos

de lamas espessadas, as lamas mistas, seguiam para um digestor para serem estabilizadas e posteriormente eram desidratadas numa centrifugadora.

No laboratório da ETAR, semanalmente, eram realizadas uma serie de análises para o controlo de todo o tratamento de lamas, contudo ainda não existiam valores limite de alerta da empresa como se estava no inicio de exploração da ETAR.

Na figura 41 está apresentada a variação da % MS e % MV das lamas em excesso espessadas, das lamas primárias e das lamas mistas. Relativamente à % de matéria volátil verificamos que esta rondou cerca 80%, aproximadamente, para os três tipos de lamas, o que apresenta um valor elevado de matéria volátil, característico das lamas biológicas.

Relativamente à % MS verificamos que o tambor de espessamento produziu uma lama em excesso espessada com uma % MS na ordem dos 2% a 4%, valores também verificados para as lamas mistas. A lama primária espessada apresentou uma % MS dentro de uma gama dos 2% aos 5% aproximadamente.

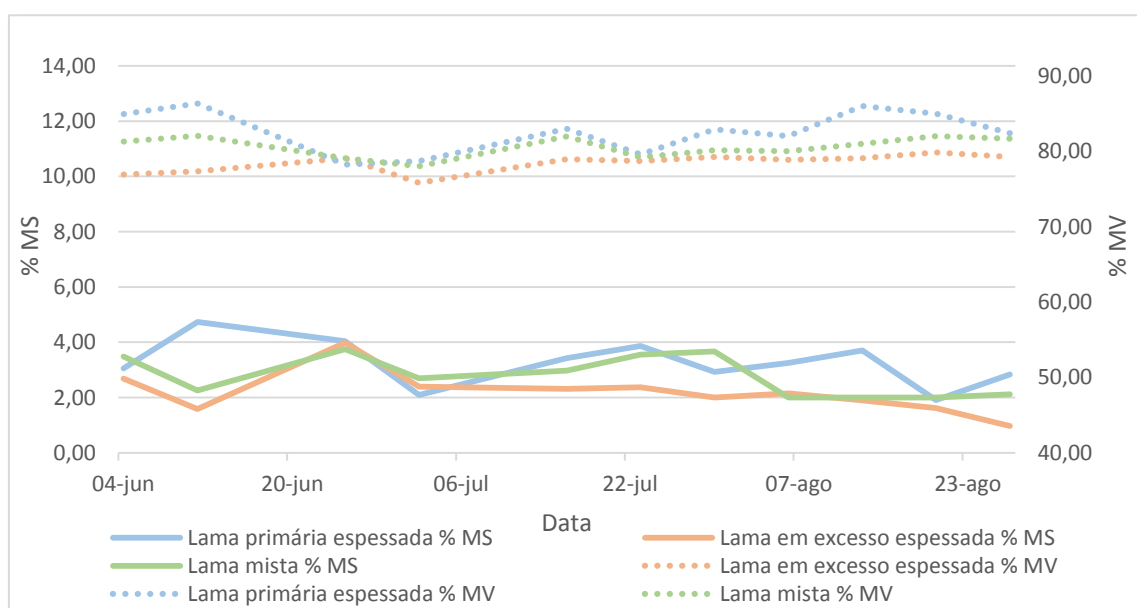


Figura 41. % MS e % MV das lamas espessadas do tratamento de lamas da ETAR do Sousa.

Na figura 42 está representada a variação da % MS e % MV das lamas digeridas e das lamas desidratadas. A % MV das lamas desidratadas e das lamas digeridas rondaram os 50% a 70%. A % MS das lamas digeridas foi constante com uma média de $2,12\% \pm 0,18\%$.

As lamas de desidratadas apresentam uma média de % MS de $23,8\% \pm 2,23\%$, o que mostra que ainda não se está a ter um ótimo funcionamento da desidratação, pois este tipo de centrifuga consegue obter valores de % MS na ordem dos 27%.

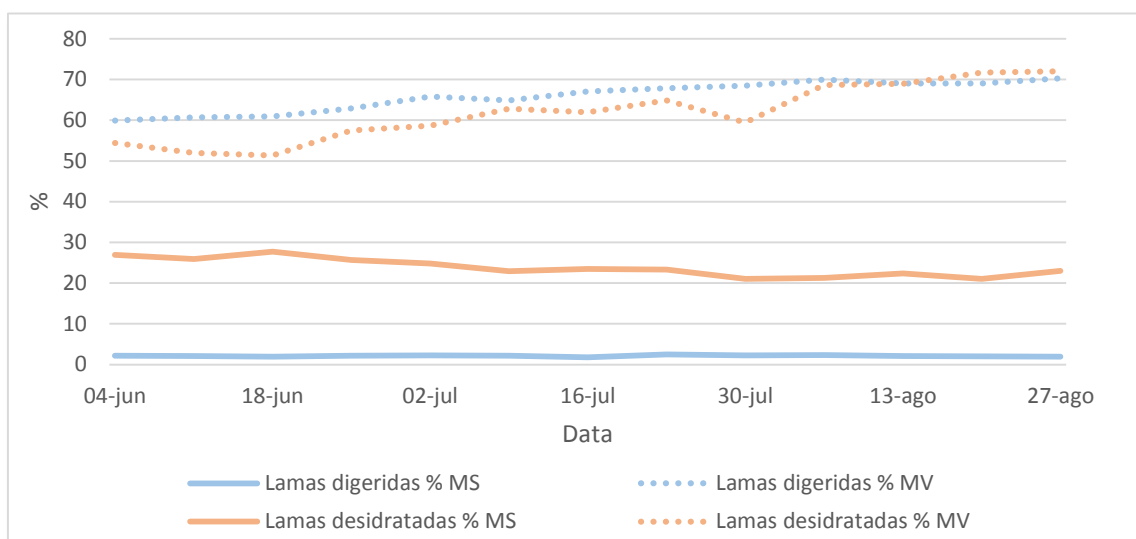


Figura 42. % MS e % MV das lamas digeridas e desidratadas do tratamento de lamas da ETAR do Sousa.

5.2.7 Biogás

O tratamento de lamas na ETAR do Sousa envolve um processo de estabilização onde as lamas mistas (lamas em excesso espessadas e lamas primárias espessadas) são submetidas a um tratamento anaeróbio. Está prevista uma análise à alcalinidade e ácidos voláteis do digester, para se poder avaliar o seu desempenho e para se obter o melhor funcionamento possível, tanto na estabilização das lamas como na otimização da produção do biogás, contudo o laboratório interno da ETAR do Sousa, durante o período de estágio, estava em início de exploração e o material necessário para estas análises ainda não estava disponível. A par desta análise laboratorial para controlo do reator, são efetuadas pelos operadores da ETAR, medições para avaliar a qualidade do biogás produzido. As médias e desvio padrão da percentagem de metano (CH_4) e de dióxido de carbono (CO_2) no biogás encontram-se registadas na tabela 18.

O biogás produzido na ETAR do Sousa apresentou nos 3 meses de amostragem uma média de CH_4 de $63,51\% \pm 0,89\%$ e de CO_2 $35,52\% \pm 4,86\%$, pois estes são os dois componentes maioritários da composição do biogás.

Tabela 18. Características do Biogás produzido pelo digestor na ETAR do Sousa

| Parâmetros | Média | Desvio padrão |
|---------------------|-------|---------------|
| CH ₄ (%) | 63,51 | 0,89 |
| CO ₂ (%) | 35,52 | 4,86 |

5.2.8 Água residual tratada

A água residual tratada na ETAR do Sousa tem como objetivos já referidos o cumprimento dos requisitos legais propostos. A tabela 19 apresenta um sumário de todas as características analisadas em laboratório da água residual tratada no final de todos os tratamentos. Verificamos que a concentração de CQO, CBO e SST, os únicos parâmetros com um valor limite de emissão (VLE) a satisfazer, segundo a licença de descarga para esta ETAR, não foram atingidos, podendo até afirmar que ficaram longe de o atingir.

Tabela 19. Médias e desvio padrão e VLE dos parâmetros da água residual tratada da ETAR o Sousa

| Parâmetros | Média | Desvio Padrão | VLE |
|-------------------------------------|-------|---------------|------|
| pH (Escala de Sorensen) | 7,83 | 0,27 | - |
| CQO (mg /L) | 43,30 | 11,28 | <125 |
| CBO (mg /L) | 5,72 | 3,09 | <25 |
| SST (mg/L) | 8,02 | 4,51 | <35 |
| SSV (mg/L) | 6,41 | 4,31 | - |
| P _{total} (mg/L) | 5,48 | 1,84 | - |
| N _{total} (mg/L) | 14,24 | 6,73 | - |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,32 | 1,50 | - |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 8,14 | 6,44 | - |

De seguida estão apresentados todos os gráficos de variação dos parâmetros CQO, CBO, SST, SSV, nutriente, pH, NH₄⁺ e NO₃⁻ para serem abordados cada um especificamente ao longo do período de amostragem.

A figura 43 apresenta o gráfico de variação de pH ao longo dos 3 meses de amostragem. Verifica-se pela sua observação que os valores de pH não oscilaram muito ao longo do tempo e a média de pH para a água residual tratada da ETAR do Sousa foi de $7,83 \pm 0,27$.

O gráfico da figura 44 é relativo à quantidade de matéria orgânica presente no efluente final da ETAR do Sousa. A média de CQO foi de $43,30 \text{ mg/L} \pm 11,28 \text{ mg/L}$ e a média de CBO foi de $5,72 \text{ mg/L} \pm 3,09 \text{ mg/L}$. Ainda pela observação gráfica podemos dizer que tanto a CQO como a CBO tiveram longe de atingir os VLE.

O fósforo total é removido no reator biológico durante o tratamento secundário sem nenhum tratamento específico para o efeito. Durante o período de amostragem a média de fósforo total na água residual de saída foi de $5,48 \text{ mg/L} \pm 1,84 \text{ mg/L}$. Tal como o fósforo total, a variação do azoto total é apresentado na figura 45. Existe uma variação ao longo do tempo da concentração de azoto total chegando a atingir um valor máximo de $31,90 \text{ mg/L} \pm 6,73 \text{ mg/L}$ e um valor mínimo de $5,98 \text{ mg/L} \pm 6,73 \text{ mg/L}$. De notar que tanto o fósforo total como o azoto total não têm que cumprir nenhum VLE segundo o documento de descarga das águas residuais para a ETAR do Sousa.

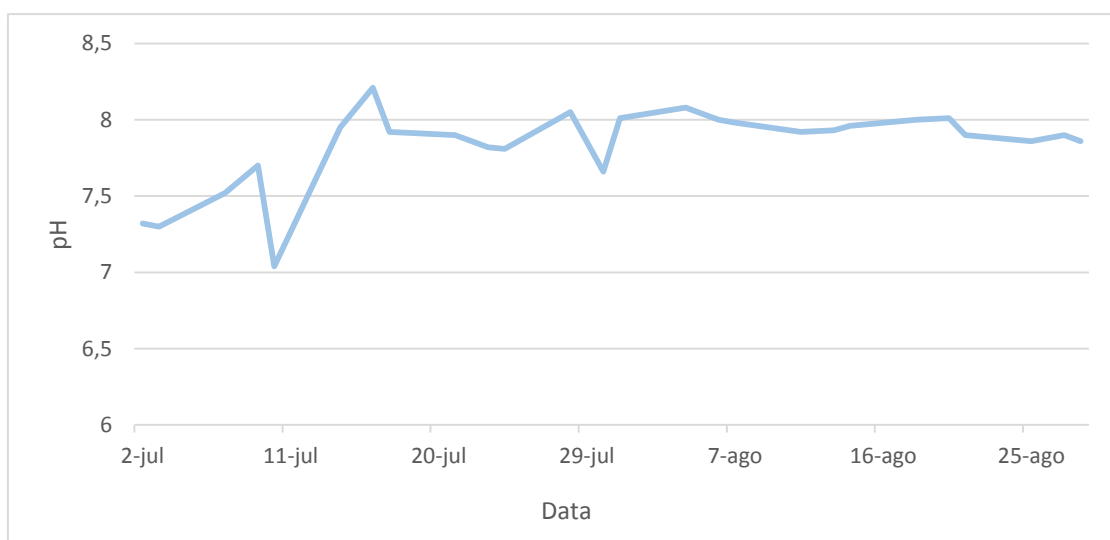


Figura 43. Variação do pH (Escala de Sorensen) da água residual tratada da ETAR do Sousa.

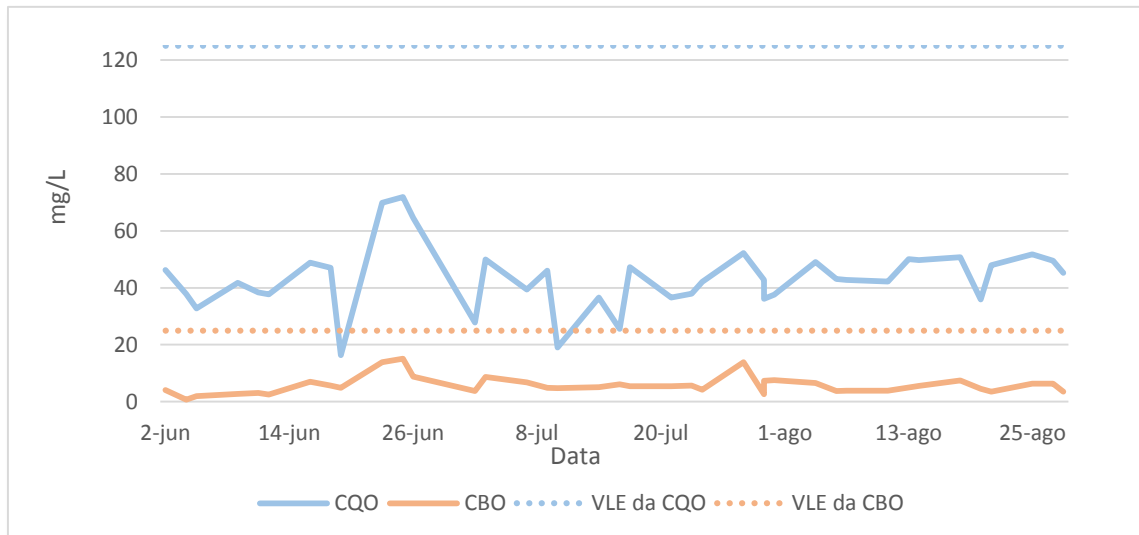


Figura 44. Variação da CQO e CBO da água residual tratada da ETAR do Sousa.

Os SST e SSV (figura 46) da água residual de saída da ETAR do Sousa mantiveram-se numa média de $8,02 \text{ mg/L} \pm 4,51 \text{ mg/L}$ e $6,41 \text{ mg/L} \pm 4,31 \text{ mg/L}$, respetivamente. Podemos dizer que os SST no início do período de amostragem (junho) oscilaram entre os valores de $3,4 \text{ mg/L} \pm 4,51 \text{ mg/L}$ e $25 \text{ mg/L} \pm 4,51 \text{ mg/L}$, sendo que nos últimos dois meses de amostragem (julho e agosto) a concentração dos SST à saída estabilizou para valores próximos da média de SST referida anteriormente ($8,02 \text{ mg/L} \pm 4,51 \text{ mg/L}$).

Os valores de SSV acompanharam sempre os valores de SST. Ainda de referir que os SST cumpriram os VLE previstos na licença de descarga para esta ETAR.

Finalmente, na figura 47 está representado a variação do azoto amoniacal e dos nitratos na água residual tratada da ETAR do Sousa. O azoto amoniacal variou ao longo dos 3 meses de amostragem sendo que o valor mínimo registado foi de $0,272 \text{ mg/L} \pm 6,44 \text{ mg/L}$ e o valor máximo foi de $24,4 \text{ mg/L} \pm 6,44 \text{ mg/L}$. a media de nitratos no efluente final foi de $2,32 \text{ mg/L} \pm 1,50 \text{ mg/L}$. É de notar pela observação da figura 47 que quando se observa uma diminuição do azoto amoniacal se verifica um ligeiro aumento dos nitratos. Isto é explicado pelas reações de nitrificação seguidas das reações de desnitrificação que ocorrem dentro do reator biológico.

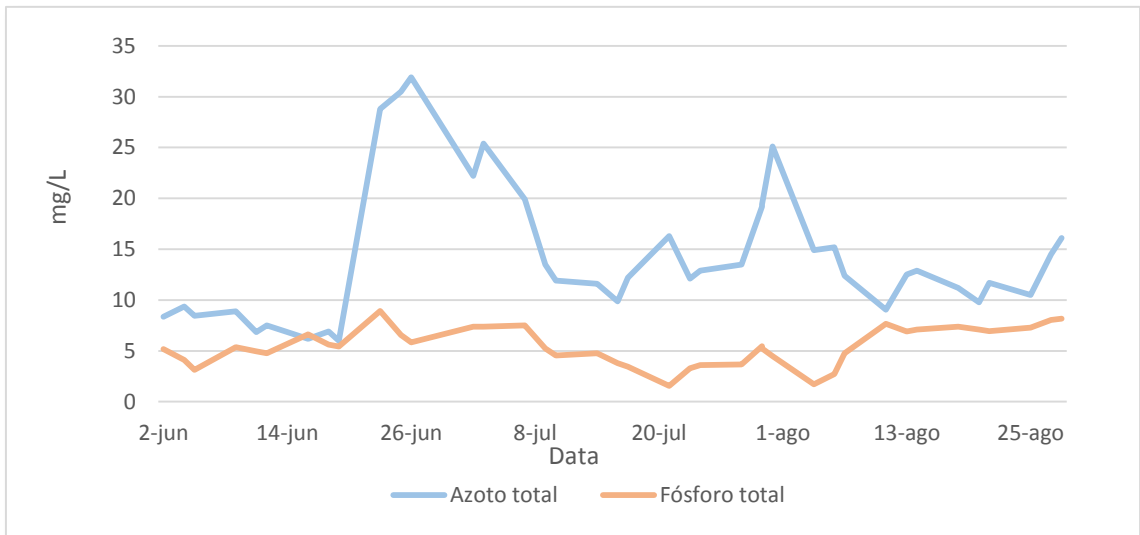


Figura 45. Variação do fósforo total e do azoto total da água residual tratada da ETAR do Sousa.

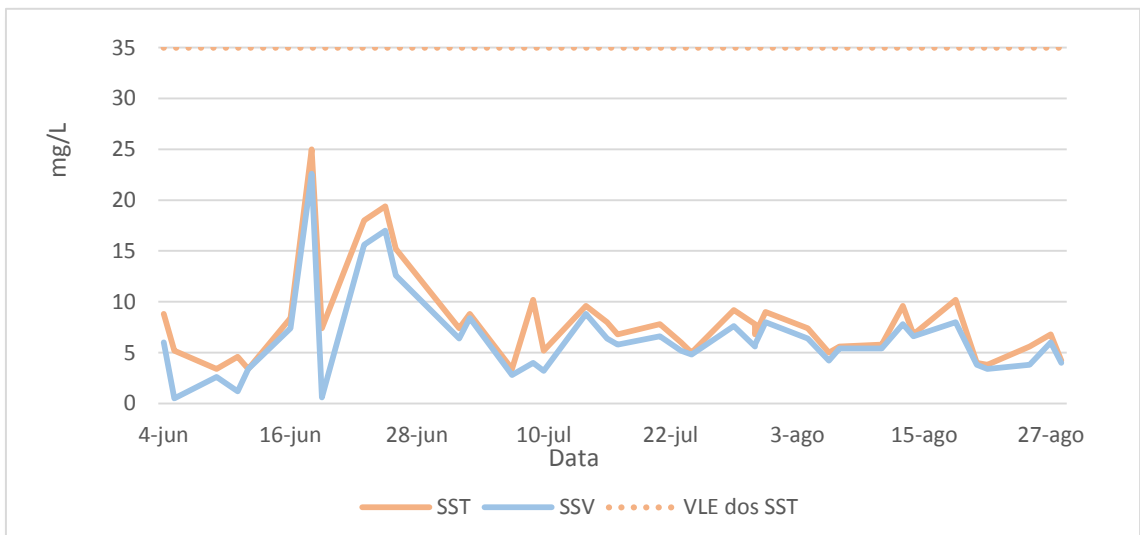


Figura 46. Variação dos SST e SSV da água residual tratada da ETAR do Sousa.

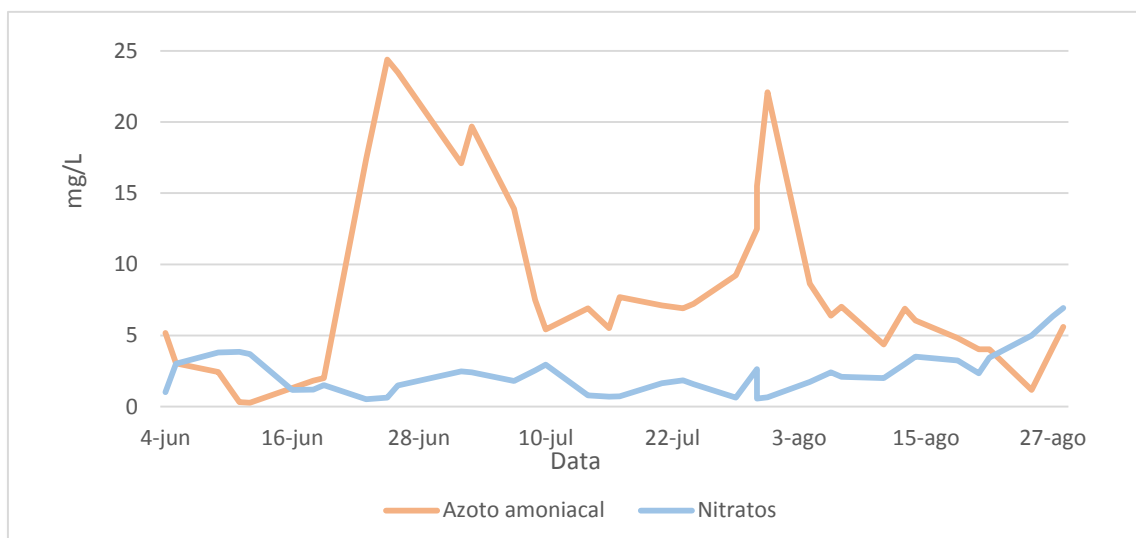


Figura 47. Variação do azoto amoniacal e dos nitratos da água residual tratada da ETAR do Sousa.

5.3 Eficiências de remoção dos tratamentos

Foram determinadas as eficiências de remoção da CQO, CBO, SST, dos nutrientes (azoto total e o fósforo total) e a % de captura de sólidos da etapa de desidratação do tratamento de lamas. A tabela 20 apresenta um sumário de todas estas eficiências com a respetiva média e desvio padrão da ETAR de Serzedo.

Verifica-se pela análise da tabela 20 que as eficiências de remoção de CQO e CBO foram elevadas, para a CQO $91,09\% \pm 5,59\%$ e para a CBO $99,10\% \pm 0,77\%$ o que indica uma elevada eficiência do tratamento na remoção da carga orgânica. A eficiência de remoção para os SST também foi elevada ($94,87\% \pm 3,95\%$). Verifica-se assim que para estes parâmetros o sistema de tratamento funcionou de forma adequada durante o período de análise.

A remoção de nutrientes no reator biológico mostrou-se mais elevada para o azoto total ($85,75\% \pm 6,83\%$) do que para o fósforo total. A eficiência de remoção do azoto total apresentou-se elevada o que indica o bom funcionamento da vala de oxidação para a remoção deste componente. Relativamente ao fósforo total a eficiência de remoção não foi tão eficiente como a remoção do azoto total, contudo esta mostrou-se satisfatório pois a descarga de fósforo total, como já referido anteriormente cumpriu os requisitos legais. De notar que o fósforo total é removido pela via biológica na vala de oxidação sem qualquer outro tratamento adicional.

A média da % de captura de sólidos ($99,29\% \pm 0,28\%$) de etapa de desidratação apresenta uma excelente eficiência quando comparado com a percentagem de 95% estimada na bibliografia para esta centrifugadora [8].

De uma forma geral, estas eficiências de remoção descrevem o bom funcionamento dos processos de tratamento da ETAR de Serzedo e do cumprimento de todos os requisitos legais.

Tabela 20. Resumo das eficiências de remoção da matéria orgânica e dos nutrientes e percentagens de captura de sólidos no tratamento de lamas da ETAR de Serzedo

| Eficiências de remoção | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|
| % Remoção de CQO | 91,09 | 5,59 |
| % Remoção de CBO | 99,10 | 0,77 |
| % Remoção dos SST | 94,87 | 3,95 |
| % Remoção de Azoto | 85,75 | 6,83 |
| % Remoção de Fósforo | 63,18 | 14,20 |
| % Captura de sólidos da desidratação | 99,29 | 0,28 |

Na tabela 21 está o resumo de todas as eficiências da ETAR do Sousa. Pela observação das médias da CQO ($95,79\% \pm 1,52\%$), da CBO ($98,15\% \pm 4,76\%$) e dos SST ($98,40\% \pm 0,91\%$) podemos dizer que as taxas de remoção são elevadas o que indica o bom funcionamento de todas as operações unitárias para o efeito. Tal como em Serzedo também se verificam valores de remoção mais baixos que para outros parâmetros, sendo que a eficiência de remoção de azoto total foi superior à de fósforo, pelas mesmas razões que as referidas para a ETAR de Serzedo.

A centrifugadora para o tratamento de desidratação lamas mostrou-se eficiente pois a média da % de captura de sólidos foi de $98,94\% \pm 0,52\%$, superior ao valor de 95% de eficiência estimados para este tipo de equipamentos [23].

Tabela 21. Resumo das eficiências de remoção da matéria orgânica, nutrientes, sólidos e percentagens de captura de sólidos no tratamento de lamas da ETAR do Sousa

| Eficiências de remoção | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|
| % Remoção de CQO | 95,79 | 1,52 |
| % Remoção de CBO | 98,15 | 4,76 |
| % Remoção dos SST da água residual | 98,40 | 0,91 |
| % Remoção de Azoto | 88,83 | 5,09 |
| % Remoção de Fósforo | 64,61 | 11,49 |
| % Captura de sólidos da desidratação | 98,94 | 0,52 |

6 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo monitorizar a ETAR de Serzedo e a ETAR do Sousa através da avaliação e análise dos parâmetros físico-químicos nos diferentes pontos dos sistemas de tratamento das ETAR's, desde a obra de entrada, passando pelos reatores biológicos, efluente final e o tratamento de lamas.

Constatou-se que é característica da água residual de entrada da ETAR de Serzedo uma elevada carga orgânica, SST, e nutrientes. Na água residual tratada verificou-se uma redução das concentrações da CQO, CBO, SST, SSV e nutrientes comparativamente com as análises efetuadas à entrada da ETAR. Ao longo do período de análises foram cumpridos, de uma forma geral todos os valores limite de alerta propostos pela empresa e os valores limite de emissão de descarga.

Relativamente ao reator biológico foram calculados as variáveis de processo que influenciam o processo de tratamento e que dão a indicação do funcionamento das valas de oxidação. Embora o índice volumétrico de lamas se encontre fora dos valores típicos para este tipo de reatores, apresentando uma sedimentação fraca e as lamas de recirculação, importantes na manutenção dos sólidos dentro do reator, apresentarem algumas inconformidades no que respeita aos valores limite de alerta, o reator biológico apresentou de uma forma geral um bom funcionamento. A eficiência da centrifugadora apresentou valores elevados ao longo do período de análise que levou a uma elevada percentagem de matéria seca das lamas da ETAR.

A água residual de entrada da ETAR do Sousa, de características domésticas, apresenta uma elevada carga orgânica com uma elevada fração biodegradável, SST, azoto total, maioritariamente constituído por azoto amoniacal. A avaliação do reator biológico da ETAR do Sousa mostrou através das variáveis de processo um elevado IVL, que indicou uma má sedimentabilidade das lamas, contudo a razão A/M apresentou-se dentro dos valores típicos. De uma forma geral podemos concluir que o reator biológico apresentou um bom funcionamento devido às elevadas eficiências de remoção da carga orgânica, de nutriente e de sólidos. No efluente final desta ETAR verificou-se uma redução da concentração de CQO, CBO, SST e nutriente, cumprindo todos os requisitos legais de descarga.

O tratamento primário desta ETAR teve uma elevada eficiência na remoção de sólidos suspensos totais e relativamente ao tratamento de lamas, a centrifugadora para a obtenção de lamas desidratadas mostrou uma elevada percentagem de captura de sólidos.

Para finalizar, de uma forma geral, concluímos que para a monitorização de uma estação de tratamento de águas residuais, é necessário um acompanhamento diário, com registo de todas as ações efetuados para se poder atuar nos processos em conjunto com as análises laboratoriais feitas nos laboratórios de cada ETAR a todos os parâmetros que possam influenciar o tratamento, para se obter um efluente final de qualidade e que cumpra todos os requisitos legais. Uma boa avaliação do funcionamento de uma ETAR depende de todos os parâmetros analisados anteriormente, sendo crucial a análise e interpretação correta de todos estes fatores para uma boa gestão dos processos de tratamento envolventes no tratamento de águas residuais.

7 Bibliografia

- 1- Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems, September 2004, United States Environmental Protection Agency, EPA 832-R-04-001.
- 2- C. R. Curds, H. A. Hawkes, Ecological Aspects of Used – Water Treatment. Volume 2, Academic Press, 1983.
- 3- Sharma S., Sanghi R., Advances in Water Treatment and Pollution Prevention, Springer, 2012.
- 4- Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Volume 1: Management a Support Systems, sixth edition, Water Environment Federation.
- 5- Águas do Noroeste, Manual de acolhimento, 2010.
- 6- Decreto-Lei n.º 152/97. Diário da República n.º 139/1997 – I Série - A. Ministério do Ambiente, de 19 de Junho de 1997.
- 7- Decreto-Lei n.º 236/98. Diário da República n.º 176/1998 – I Série – A. Ministério do Ambiente, de 1 de Agosto de 1998.
- 8- Memória descritiva da ETAR de Serzedo, Documento interno das Águas do Noroeste.
- 9- N. J. Horan, Biological Wastewater Treatment Systems, Theory and Operation, John Wiley & Sons, Leeds UK, 1990.
- 10- Metcalf, & Eddy. Wastewater Engineering – Treatment and Reuse. New York, 4ª Edição: McGraw Hill, 2004.
- 11- Sperling, M., Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors, volume 5. London: IWA Publishing, 2007.
- 12- Wang L., Pereira N., Hung Y., Biological Treatment Processes, Volume 8, Humana Press, 2009.
- 13- Johnstone, D. W. M., Rachwall, A. J. and Hanbury, M. J., Oxidation Ditches in Wastewater Treatment, Pitman Books Limited, London, 1983.
- 14- Henze, M., Harremoës, P., La Cour Jansen, J., Arvin, E, Biological and Chemical Wastewater Treatment. 2ª ed., Berlin: Springer, 1997.
- 15- Ricardo José Vieira de Sousa, Estratégias De Gestão De Lamas Das Estações De Tratamento De Águas Residuais (ETAR). Extrusão De Lamas Para Aplicação Na Agricultura, Feup, Porto dezembro de 2005.

- 16- Spinosa, L. e Vesilind, P.A. Sludge into biosolids: procesing, disposal, utilization. London: IWA Publishing, 2001.
- 17- Alves, M. Madalena. Estudo e Caracterização de Digestores Anaeróbios de Leito Fixo. Universidade do Minho: Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Biológica, 1998
- 18- Licença de descarga da ETAR de Serzedo, Águas do Noroeste.
- 19- Licença de descarga para a ETAR do Sousa, Águas do Noroeste.
- 20- Folha de registo mensal Águas do noroeste, Documento interno da empresa.
- 21- Sperling, M., Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal, volume 1. London: IWA Publishing, 2007.
- 22- Eckenfelder, Industrial Water Pollution Control, 3 ed. Boston: Mcgraw-hill Book Co., 2000.
- 23- Memória descritiva de ETAR do Sousa, Documento interno da empresa Águas do Noroeste.

8 Anexos

Anexo 1. Controlo analítico da linha líquida para o laboratório de Serzedo.

| Parâmetros | Ponto de Amostragem da Linha Líquida | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|-------|--------------|--------------|-------|---------|-------|--------------|--------------|--------------|---------|-------|--------------|--------------|
| | Segunda | | | | Terça | Quarta | | | | | Quinta | | | |
| | Entrada | Saída | Zona arejada | Recirculação | Saída | Entrada | Saída | Zona arejada | Zona Anóxica | Recirculação | Entrada | Saída | Zona arejada | Recirculação |
| CQO | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | |
| CBO | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | |
| SST | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SSV | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Azoto Total | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | |
| Nitratos | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | |
| Azoto Amoniacal | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | |
| Fósforo Total | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | |

| Parâmetros | Ponto de Amostragem da Linha Sólida | | | | |
|------------|-------------------------------------|------------------|----------------|----------------------------|------------------------------|
| | Quarta | | | | |
| | Lama em excesso | Lama desidratada | Lama espessada | Escorrências do espessador | Escorrências da desidratação |
| CQO | | | | ✓ | ✓ |
| MS% | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| MV% | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| SST | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| SSV | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| pH | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Redox | ✓ | | | | |

Anexo 2. Controlo analítico da linha líquida e sólida para o laboratório do Sousa.

| Parâmetros | Ponto de Amostragem da Linha Líquida | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|-------|---------------------------------|--------------|---------------------|---------|-------|---------------------------------|--------------|---------------------|--------------|---------|-------|---------------------------------|--------------|
| | Segunda | | | | Decantador Primário | Quarta | | | | | Quinta | | | | |
| | Entrada | Saída | Reator Biológico (Zona aeróbia) | Recirculação | | Entrada | Saída | Reator Biológico (Zona aeróbia) | Zona Anóxica | Pré-desnitrificação | Recirculação | Entrada | Saída | Reator Biológico (Zona aeróbia) | Recirculação |
| CQO | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | |
| CBO | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | |
| SST | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SSV | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Azoto Total | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | |
| Nitratos | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | |
| Azoto Amoniacal | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | |
| Fósforo Total | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | |

| Parâmetros | Ponto de Amostragem da Linha Sólida | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| | Quarta | | | | | | | | |
| | Lama Primárias | Lama Primárias espessadas | Sobrenadante espessador Gravítico | Lamas em excesso espessadas | Escorrências espessamento mecânico | Lamas Mistas Espessadas | Lamas digeridas | Lamas Desidratadas | Escorrências da desidratação |
| CQO | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ |
| MS% | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| MV% | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| SST | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ |
| SSV | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ |
| ST | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | |
| SV | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | |
| pH | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Temperatura | | | | | | | ✓ | | |

Anexo 3 – Equações e exemplos de cálculo efetuados.

A percentagem de captura de sólidos de um espessador e centrífuga é dada pela equação [10]:

$$\% \text{ Captura de sólidos} = \left[1 - \frac{C_e(C_d - C_a)}{C_a(C_d - C_e)} \right] \times 100$$

Em que C_e é a concentração de sólidos nas escorrências, C_d é a concentração de lama desidratada e C_a é a concentração de lamas alimentada ao equipamento.

Para o cálculo das médias a equação utilizada foi:

$$\text{Média} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$