



Universidade de Aveiro Departamento de Química
2016

**Bárbara Daniela
Ferreira Pedro**

**Inventário dos consumos de água, emissões difusas
e diagnóstico da ETARI da Bresfor**



**Bárbara Daniela
Ferreira Pedro**

**Inventário dos consumos de água, emissões difusas
e diagnóstico da ETARI da Bresfor**

Relatório de estágio apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes, professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, do Professor Doutor Francisco Avelino da Silva Freitas, professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e da Engenheira Maria Augusta da Silva Fernandes Gândara, responsável pelo Laboratório de Garantia de Qualidade da Bresfor.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Carlos Manuel Silva
Professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Vogais

Doutor Ricardo Jorge Nogueira dos Santos
Investigador auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Engenheira Maria Augusta da Silva Fernandes Gândara
Responsável pelo Laboratório de Garantia de Qualidade da Bresfor

agradecimentos

Gostava de agradecer, em primeiro lugar, a todos os colaboradores da Bresfor pelos conhecimentos transmitidos. Em especial, à Engenheira Augusta e ao Engenheiro Fernando pela orientação, apoio e paciência infinita durante a realização do estágio. Todas as experiências partilhadas, ensinamentos transmitidos e discussões foram fundamentais para a realização deste trabalho. Gostava também de agradecer ao Carlos Pedro, D. Lurdes, Miguel, Cristina e Rui pelos momentos de descontração e partilha que tornaram mais fácil enfrentar o desafio de trabalhar na indústria.

Agradeço também aos meus orientadores Professora Isabel Nunes e Professor Avelino Silva por toda a disponibilidade, paciência e conselhos que tanto contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

Também quero agradecer aos meus amigos Cláudia, Dina, Postal e Adriano pelos anos de aventuras, momentos de diversão, apoio, crescimento e aprendizagem ao longo do curso. Aproveito ainda para agradecer também a todos aqueles que ao longo destes anos contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação académica e pessoal, nomeadamente aos meus colegas do curso Mestrado Integrado em Engenharia Química e aos colegas com quem trabalhei no Núcleo de Estudantes de Engenharia Química da Associação Académica da Universidade de Aveiro.

Um agradecimento especial à minha família, aos meus pais, irmãs, avós, padrinhos e tios pelo apoio ilimitado durante todo este percurso, bem como pelo amor, amizade e educação que me deram.

Deixo também uma palavra de saudade à minha irmã Cassandra e ao João que apesar de estarem longe o seu apoio é incondicional. Estarão sempre pertinho, no meu coração.

Por último, quero agradecer ao meu namorado Renato pelas palavras de encorajamento, carinho, paciência, compreensão e, acima de tudo, pelo apoio extraordinário que foi fundamental para ultrapassar todos os desafios pessoais e profissionais.

palavras-chave

ETARI, *Modified Ludzack-Ettinger*, água residual, lamas ativadas, fugas difusas, análise de consumo de água.

resumo

O funcionamento da ETARI da Bresfor é, atualmente, uma das maiores preocupações da empresa, já que o seu incorreto funcionamento se traduz em desperdício e despesas acrescidas. O presente relatório de estágio teve como principal foco o estudo e proposta de melhoria do funcionamento desta ETARI.

O estágio teve a duração de 4 meses e ocorreu no período de setembro de 2015 a janeiro de 2016. Durante este período, fez-se um estudo pormenorizado da ETARI e do seu funcionamento atual. Foi analisado o modelo de tratamento implementado, "*Modified Ludzack-Ettinger*", bem como os efluentes tratados. Foi também realizado um estudo da atual instrumentação da ETARI e dos parâmetros de controlo a serem considerados. Por último, com base em toda a informação obtida, foi elaborada uma proposta de automatização da ETARI.

Para além das tarefas que visavam atingir o objetivo do trabalho de estágio, foram ainda desenvolvidos trabalhos adicionais, que se traduziram em melhorias ao funcionamento da ETARI e dos impactos ambientais do processo de produção nomeadamente, foi realizado um estudo do ciclo de água da empresa e apresentada uma proposta de otimização do mesmo. A redução do consumo e desperdício de água na empresa significará uma redução da carga de efluente a ser tratado.

Finalmente, foi também feito um levantamento/identificação das fugas difusas de formaldeído baseado no protocolo EPA 21 "*Determination of Volatile Organic Compound Leaks*". Este foi um estudo inovador na Bresfor, de grande importância, não só ao nível ambiental mas também ao económico. Este permitirá facilitar a manutenção dos equipamentos, reduzir as emissões atmosféricas de formaldeído e também reduzir o desperdício de produto, minimizando assim a contaminação do efluente a ser tratado na ETARI.

keywords

WWTP, Modified Ludzack-Ettinger, wastewater, activated sludge, diffuse emissions, water consumption analysis

abstract

The actual functioning model of Bresfor's wastewater treatment plant (WWTP) is one of the biggest concerns of the company, since its malfunctioning leads to waste and added expenses for the company. This internship report had as main focus the analysis and proposal to improve the performance of the WWTP.

This internship had the duration of 4 months and occurred in the period from September 2015 until January 2016. During this period, a detailed analysis of the WWTP was conducted. The implemented treatment model was studied, Modified Ludzack-Ettinger, as well as the effluents to be treated. The instrumentation and control parameters were also studied. Finally, based on all the obtained information, an automatization model was proposed.

Furthermore, two additional studies were conducted, that revealed to be beneficial to the WWTP functioning. The company's water usage mapping was studied and an optimization plan was proposed. The reduction of water consume will lead to a decrease in effluent to be treated.

Finally, the identification and quantification of diffuse emissions was conducted, based on EPA 21 protocol "Determination of Volatile Organic Compound Leaks". This was an innovative study in Bresfor, of great importance, not only at the environmental level but also for the company. It will ease the maintenance of equipment, allow the decrease of atmospheric emissions of volatile organic compounds (formaldehyde) and also decrease the product waste while minimizing the contamination of the effluent to be treated by the WWTP.

Índice

1. Enquadramento	1
1.1. Apresentação da Bresfor	1
1.2. Motivação e organização do relatório.....	2
2. Processos de produção da Bresfor	5
2.1. Produção de formaldeído	6
2.2. Produção de resinas e AdBlue	8
3. Fugas difusas de formaldeído	9
3.1. Metodologia.....	9
3.2. Resultados.....	11
4. Ciclo de água da Bresfor	13
4.1. Distribuição dos consumos de água	13
4.2. Propostas de redução dos volumes de água consumidos e tratados	18
5. Caracterização da ETARI	23
5.1. Introdução	23
5.2. <i>Layout</i> da ETARI da Bresfor	28
5.3. Caracterização das correntes de água residual	30

5.3.1. Parâmetros físico-químicos	30
5.3.2. Caudais.....	38
6. Proposta de instrumentação e automatização da ETARI	39
6.1. Instrumentação e controlo atual da ETARI.....	40
6.2. Definição do problema	45
6.3. Proposta de modelo de automatização	48
6.4. Parâmetros de controlo.....	53
7. Conclusões	55
8. Bibliografia	57
Anexo A. Evolução temporal dos parâmetros físico-químicos na ETARI	59
Anexo B. Plano de monitorização da ETARI	71
Anexo C. Esquema global do P&ID proposto para a automatização da ETARI	73
Anexo D. Metodologia de cálculo do balanço de massa.....	75
Anexo E. Orçamento dos equipamentos para a ETARI	77

Lista de figuras

Figura 1: Processo Formox (adaptado de [3]).	6
Figura 2: Exemplo de atribuição de códigos a pontos de fuga de formaldeído.	10
Figura 3: Esquema atual de distribuição dos pontos de entrada (fontes), utilização e rejeição de água da Bresfor.	14
Figura 4: Proveniência dos volumes de água tratados na ETARI da Bresfor (esquerda) e dos volumes de água rejeitados para o coletor municipal (direita).	17
Figura 5: Esquema proposto para as correntes de água/água residual na Bresfor.	19
Figura 6: Remoção biológica de azoto numa estação de tratamento de águas residuais (adaptado de [13]).	25
Figura 7: Processo Ludzack-Ettinger (adaptado de [10]).	27
Figura 8: Processo Ludzack-Ettinger modificado (adaptado de [10]).	27
Figura 9: <i>Layout</i> da ETARI da Bresfor.	28
Figura 10: Pontos de amostragem de água residual na ETARI para caracterização no laboratório da Bresfor.	31
Figura 11: Relação do caudal afluente à ETARI com a precipitação no ano 2015.	38
Figura 12: Zona de retenção composta por tanques de receção, equalização e emergência.	41
Figura 13: Tratamento biológico Ludzak-Ettinger modificado.	42
Figura 14: Zona de decantação onde ocorre a sedimentação das lamas.	43
Figura 15: Zona de recuperação da água composta por tanque de clarificado, filtro e tanques de armazenamento de água.	44
Figura 16: Zona de processamento de lamas em excesso com espessador e prensa de lamas.	45
Figura 17: Esquema simplificado do caudais da ETARI.	46
Figura 18: Valores médios mensais do pH no tanque aeróbio durante o ano 2015.	47
Figura 19: Valores médios mensais de nitratos em vários pontos da ETARI, durante o ano de 2015.	47
Figura 20: Esquema P&ID proposto da zona de retenção.	49
Figura 21: Esquema P&ID proposto nas zonas de tratamento biológico e decantação.	50

Figura 22: Esquema P&ID proposto da zona de recuperação de água.	52
Figura 23: Exemplo de interface do <i>DeltaV</i> com o novo esquema de funcionamento da ETARI	54
Figura 24: Evolução da condutividade média mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	60
Figura 25: Evolução do oxigénio dissolvido médio mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, no tanque aeróbio da ETARI da Bresfor.	61
Figura 26: Evolução do pH médio mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	62
Figura 27: Evolução da concentração média mensal de formaldeído (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	63
Figura 28: Evolução da concentração média mensal de fósforo total (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	64
Figura 29: Evolução da concentração média mensal de azoto amoniacal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	65
Figura 30: Evolução da concentração média mensal de nitratos (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	66
Figura 31: Evolução da carência química de oxigénio média mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	67
Figura 32: Evolução da concentração média mensal de sólidos suspensos totais (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.	68
Figura 33: Evolução da concentração média mensal de sólidos sedimentáveis (e desvio padrão), durante o ano 2015, no tanque aeróbio da ETARI da Bresfor.	69
Figura 34: Evolução da concentração média mensal de cloretos (e desvio padrão), durante o ano 2015, na água residual ETARI da Bresfor descarregada no coletor municipal.	70
Figura 35: Esquema simplificado da ETARI da Bresfor.	75

Lista de tabelas

Tabela 1: Exemplo de catalogação de pontos de fuga.	11
Tabela 2: Resumo de medições das fugas difusas de formaldeído.	12
Tabela 3: Distribuição dos volumes de água consumidos/rejeitados no ano 2015 na Bresfor.	16
Tabela 4: Distribuição dos volumes de água da Bresfor considerando alterações propostas. Ano de referência: 2015.	20
Tabela 5: Valores limite de emissão de águas residuais descritos no contrato com o SIMRIA e estabelecidos pelo Decreto-lei nº 236/98.	30
Tabela 6: Pontos de recolha de amostras na ETARI e parâmetros monitorizados.	32
Tabela 7: Parâmetros analisados e métodos utilizados na monitorização da ETAR da Bresfor.	33
Tabela 8: Resultados da monitorização da qualidade da água residual, referente ao ano 2015, na zona de retenção da ETARI (\bar{x} – média aritmética; σ – desvio padrão).	34
Tabela 9: Resultados da monitorização da qualidade da água residual, referente ao ano 2015, nos órgãos do tratamento biológico da ETARI e na saída para o coletor municipal (\bar{x} – média aritmética; σ – desvio padrão).	35
Tabela 10: Caudal das bombas existentes na ETARI.	46
Tabela 11: Plano de monitorização da ETARI. (3D - 3 vezes por dia; 3S - 3 vezes por semana; 5S - 5 vezes por semana).	71
Tabela 12: Plano de monitorização da ETARI. (3D - 3 vezes por dia; 3S - 3 vezes por semana; 5S - 5 vezes por semana).	72

Siglas e Acrónimos

BREF	Best available techniques
CBO	Carência bioquímica de oxigénio
CQO	Carência química de oxigénio
COV	Compostos orgânicos voláteis
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
ETARI	Estação de tratamento de águas residuais industriais
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IVL	Índice volúmico de lamas
MDF	Medium-density fibreboard
MLE	Modified Ludzak-Ettinger
P&ID	Piping and instrumentation diagram
SIMRIA	Saneamento integrado dos municípios da ria
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
TKN	Azoto total de Kjeldahl
VLE	Valor limite de emissão
V30	Volume de lamas sedimentado

Capítulo 1

Enquadramento

1.1. Apresentação da Bresfor

A Bresfor – Indústria do Formol, S.A. é uma empresa situada na Gafanha da Nazaré, concelho de Ílhavo, pertencente ao grupo multinacional FINSA – Financiera Maderera desde 1994. Tendo a sua atividade produtiva centrada no fabrico de formaldeído, de AdBlue (ver Secção 2.2), de concentrado ureia-formaldeído e de resinas sintéticas de formaldeído-ureia ou de formaldeído-ureia-melamina, a Bresfor enquadra-se na FORESA responsável pelo setor químico do grupo.

O seu complexo industrial é constituído por três fábricas, estando estrategicamente situadas junto ao porto industrial de Aveiro, contando também com um fácil acesso às vias de transporte terrestre.

A fábrica 1 dedica-se exclusivamente à produção de formaldeído a partir de reações e mecanismos de oxidação do metanol pelo ar. Por outro lado, a fábrica 2 possui um sistema híbrido preparado para produzir não só formaldeído como também concentrado ureia-formaldeído, conforme as necessidades logísticas da empresa. A terceira fábrica deste complexo, conhecida como “fábrica de resinas” dedica-se ao fabrico de resinas sintéticas de formaldeído-ureia ou de formaldeído-ureia-melamina, e também possui um reator preparado para a produção de AdBlue.

Esta empresa adota uma política química sustentável, designada por “Química Verde”, que define o método de produzir químicos de maneira ambientalmente apropriada e segura, procurando desenvolver novos modelos para a diminuição do consumo de materiais e energia [1].

1.2. Motivação e organização do relatório

O tema deste trabalho surge da necessidade de avaliar a eficiência da Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI) da Bresfor, uma vez que esta apresentava alguns problemas funcionais. Para isso foi realizado um estudo do atual funcionamento da instalação com o objetivo de identificar os problemas existentes e as suas causas. Este estudo consistiu na monitorização semanal das águas residuais industriais do afluentes à ETARI, em pontos chave, através da realização de análises laboratoriais a determinados parâmetros físico-químicos, bem como a alguns caudais (ver Secção 5.3). Posteriormente, foi proposto um modelo de automatização da ETARI, com vista a aumentar a sua eficiência e, conseqüentemente, reduzir custos operacionais significativos para a empresa, bem como reduzir o consumo de água.

O foco principal deste estágio foi a automatização da ETARI da Bresfor, no entanto foi também estudada uma beneficiação à mesma através do estudo do ciclo da água de toda a empresa, sendo identificados os pontos onde se poderia reduzir o desperdício e/ou consumo de água, com a finalidade de reduzir a carga de água residual a ser tratada e, naturalmente, os custos associados. Por último, e como complemento ao foco principal deste relatório, foi ainda realizado um estudo sobre a identificação e quantificação de fugas difusas de compostos orgânicos voláteis (COV), nomeadamente de formaldeído, baseado no método EPA 21 “*Determination of Volatile Organic Compound Leaks*” desenvolvido pela “*Environmental Protection Agency*” [2]. Este estudo consistiu no levantamento de todos os locais das fábricas propícios à existência de fugas de formaldeído, recorrendo ao uso de um instrumento para detetar a presença do mesmo e quantificar a sua concentração no ponto de amostragem. Este foi um trabalho inovador na empresa, que se revela de enorme importância do ponto de vista ambiental para as indústrias químicas.

Todos estes trabalhos enquadram-se numa área sensível, já que cada vez mais as empresas respeitam políticas ambientais importantes para a preservação do ambiente intra e extra industrial.

A Bresfor, uma empresa conhecida pela sua preocupação ambiental, viu-se com necessidade de otimizar o funcionamento da sua ETARI, já que apresentava algumas deficiências de operação, tendo como consequências custos monetários acrescidos à empresa. Além disso, a água residual tratada não detinha qualidade suficiente que pudesse ser reaproveitada no processo de produção, sendo por isso enviada na sua totalidade para o coletor municipal.

O presente documento está estruturado da seguinte forma:

- No Capítulo 1 apresenta-se de forma sucinta a Entidade de Acolhimento deste estágio curricular – a Bresfor - bem como a motivação e objetivos deste trabalho;
- No Capítulo 2 são apresentados os processos produtivos existentes Bresfor, as matérias primas utilizadas e os produtos resultantes destes processos;
- No Capítulo 3 são apresentados os resultados decorrentes da inventariação das fugas difusas de formaldeído nas instalações da empresa;
- No Capítulo 4 são mostrados os resultados referentes ao estudo do ciclo de água da empresa, onde são também apresentadas sugestões para a redução da carga hidráulica a tratar na ETARI;
- O Capítulo 5 é dedicado à caracterização da ETARI, onde é mostrado o *layout* da mesma e a caracterização (físico-química e hidráulica) das águas residuais processadas;
- No Capítulo 6 são discutidos os problemas identificados no funcionamento da ETARI e são apresentadas sugestões otimização do seu funcionamento e automatização do seu controlo;
- Finalmente no Capítulo 7 tecem-se as considerações finais deste trabalho.

Capítulo 2

Processos de produção da Bresfor

O complexo industrial da Bresfor divide-se em três fábricas, sendo duas delas utilizadas para a produção de formaldeído e derivados, e a terceira é responsável pelo fabrico de resinas e AdBlue.

Para a produção de formaldeído é utilizado o metanol como matéria prima, já que se recorre ao processo Formox™ para o fabrico deste (ver Secção 2.1). Também a ureia pode ser utilizada como matéria prima, quando se pretende produzir concentrado ureia-formaldeído. O formaldeído constitui uma parte considerável da produção da Bresfor, já que é amplamente utilizado na indústria química, tratando-se de um aldeído simples na forma de solução aquosa com concentração máxima de 56%.

Na produção das resinas são utilizadas a ureia, a melamina e o próprio formaldeído como matérias primas. A melamina apresenta-se sob a forma de um pó branco que tem como principal propriedade conferir às resinas resistência à humidade e à água. Por si só, a melamina, não é considerado um produto perigoso no entanto, visto que se trata de pó, deve ser manuseado com cuidado para que não se afetem as vias respiratórias. A ureia é um composto orgânico sob a forma granulada e incolor que também não apresenta qualquer perigo. A ureia é, também, a matéria prima utilizada na produção de AdBlue.

Nas seguintes secções serão descritos, com maior detalhe, os processos de fabrico de formaldeído (Secção 2.1), resinas e AdBlue (Secção 2.2).

existe um separador de gotas a montante dos ventiladores de recirculação. A mistura destas duas correntes gasosas (a de ar fresco com a de gás processual) é feita em proporções tais que um teor de oxigénio constante é obtido na mistura final.

O outro reagente necessário para a produção de formaldeído é o metanol, que é bombeado dos tanques de armazenamento até ao vaporizador, onde se mistura com a mistura gasosa referida anteriormente. No vaporizador também se dá o aquecimento da mistura metanol/ar, à custa do calor transportado pelo formaldeído proveniente do reator (processo descrito a seguir). Assim, o vaporizador funciona também como um permutador de calor.

De seguida a mistura reacional (ar/metanol) aquecida segue do vaporizador para um reator multitubular de leito fixo (com catalisador, o molibdato de ferro), sob a forma de anéis Raschig. No exterior dos tubos circula um termofluído (óleo) que tem duas funções: (i) aquecer a mistura metanol/ar até à temperatura da reação e (ii) arrefecer o gás formol (produto da reação). A energia transportada por este termofluído é posteriormente usada para a produção de energia elétrica. A corrente gás formol (formaldeído) sai do reator e passa pelo vaporizador/permutador de calor, onde é arrefecido, i.e. o calor é transferido deste gás para a mistura reacional (ar/metanol), sendo assim um processo autossuficiente.

Uma vez arrefecido, o gás formol é conduzido à torre de absorção, onde é absorvido, em contracorrente, numa coluna de múltiplos pratos com arrefecimento por serpentinhas interiores onde circula água de refrigeração. A corrente de formol que sai da torre de absorção está praticamente isenta de metanol, porém contém ácido fórmico, que é removido posteriormente no “desacidificador” (não representado na Figura 1).

No topo da torre, uma parte do gás processual de escape é recirculado para o processo (já referido anteriormente) e outra parte é enviada para o incinerador catalítico, onde ocorre a oxidação dos produtos da reação do formaldeído em CO_2 , CO e H_2O . A saída de gases do incinerador catalítico é considerada uma fonte fixa de emissões, por esse motivo são feitas monitorizações por uma entidade externa, que certifica que os valores de NO_x ,

CO₂ e CH₂O cumprem os valores estabelecidos no “*best available techniques reference document*” (BREF) [4].

De referir que 80-85% do gás de escape é recirculado e introduzido no processo, o que contribui para a minimização das emissões gasosas de poluentes.

O processo produtivo do concentrado ureia-formaldeído é semelhante ao do formaldeído destacando-se apenas uma diferença: na torre de absorção há uma injeção de ureia que reage com o formaldeído produzindo o concentrado ureia-formaldeído.

2.2. Produção de resinas e AdBlue

As resinas são obtidas por reação de policondensação entre o formaldeído e a ureia, em condições bem controladas de temperatura e pH, obtendo-se soluções aquosas de polímeros com viscosidades diferenciadas consoante o fim a que se destina. Na fábrica 3 da Bresfor são produzidas resinas de ureia-formaldeído, resinas de melamina-ureia-formaldeído e Adblue.

As resinas produzidas têm uma diversidade de aplicações, entre elas: MDF (“*Medium Density Fiberboard*”), aglomerados de madeira, contraplacados, aglomerados de cortiça e papel impregnado. As resinas de ureia-formaldeído são muito versáteis, podendo ser utilizadas em todas as aplicações descritas anteriormente, já as resinas melamina-ureia-formaldeído apenas são utilizadas nas duas primeiras aplicações mencionadas.

Cada tipo de resina possui uma receita específica, que determina as quantidades exatas de matérias-primas (formaldeído, ureia, melamina) a serem utilizadas dependendo do fim a que se destinam. Devido à confidencialidade de dados, não é possível detalhar mais o processo produtivo das resinas.

Finalmente, o AdBlue é uma solução aquosa de ureia (32,5% de ureia pura e 67,5% de água desmineralizada) que permite reduzir as emissões de óxidos de azoto (NO_x) produzidas pelos motores de veículos pesados. O seu processo de produção resume-se à diluição de granulado de ureia em água desmineralizada.

Capítulo 3

Fugas difusas de formaldeído

Neste capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido no âmbito do estágio, e que visou a identificação das fugas difusas de formaldeído. Em primeiro lugar, será apresentado a metodologia adotada para executar esta tarefa. De seguida serão apresentados e discutidos os resultados obtidos.

As emissões atmosféricas difusas industriais – fugas difusas – de compostos orgânicos voláteis (COV) consistem, principalmente, em fugas originárias em equipamentos, por evaporação no armazenamento e cargas ou descargas de materiais voláteis. A monitorização de emissões difusas de COV é um processo complexo e moroso, não sendo por isso uma prática comum nas indústrias localizadas na União Europeia.

No entanto, cada vez mais existe uma maior consciencialização ambiental, já que as emissões destes compostos trazem consequências negativas para o meio ambiente, tais como o efeito de estufa, contribuindo assim para o aquecimento global [5]. A inventariação deste tipo de fugas tem relevância não só em termos ambientais, mas também económicos, na medida em que permitirá minimizar a ocorrência de perda de produtos/matérias primas, levando ao aumento da eficiência de produção.

3.1. Metodologia

A metodologia adotada na inventariação das emissões difusas de formaldeído baseou-se no protocolo EPA 21 *“Determination of Volatile Organic Compound Leaks”* [2] desenvolvido pela *“Environmental Protection Agency”* para a determinação de fugas de produtos

perigosos de equipamentos de processos industriais. Estas fontes incluem, mas não estão limitadas a: válvulas, flanges e outras conexões, bombas e compressores, dispositivos de alívio de pressão, sistemas de selagem de bombas, compressores e agitadores. Esta metodologia destina-se a localizar e classificar unicamente fugas, não sendo usada como uma medida direta da taxa de emissão de massa a partir de fontes de emissão fixas.

Na deteção de fugas difusas de formaldeído foi utilizado um detetor Drager X-AM 5000 acompanhado de uma bomba Drager X-AM 1/2/5000, que serve para limitar o local de sucção de ar garantindo maior precisão na leitura. Estes equipamentos possuem um tempo de resposta de 30 segundos e caudal de sucção de 0,1 L/min.

O procedimento para a deteção das fugas consiste em aproximar o detetor das imediações do componente onde estas possam ocorrer e movê-lo ao longo da periferia do mesmo, enquanto se observa a leitura no instrumento. Se for identificado um aumento no valor da concentração registado pelo equipamento, testa-se lentamente a interface onde a fuga é detetada até se obter o valor máximo. Deve deixar-se o detetor no local onde se regista o valor máximo durante, aproximadamente, duas vezes o tempo de resposta do equipamento.

No levantamento dos potenciais pontos de fugas difusas foram identificadas todas as bombas, válvulas, flanges, agitadores, sondas, vigias, toma-amostras e selagens de portas de acesso, sendo atribuído um código a cada local de conexão (vide exemplo na Figura 2).



Figura 2: Exemplo de atribuição de códigos a pontos de fuga de formaldeído.

Estes códigos foram posteriormente catalogados numa tabela (vide exemplo na Tabela 1), onde consta o nome do equipamento, respetivo código atribuído, descrição do local da conexão, tempo de amostragem expresso em minutos (min), leitura do equipamento expressa em partes por milhão (ppmv).

Tabela 1: Exemplo de catalogação de pontos de fuga.

Equipamento/local	Torre 1	Torre 1	Torre 1
Código	N8C	N7D	N7E
Local	Boca de homem	Vigia	Vigia com luz
Tempo de amostragem (min)	2	2	2
Leitura (ppm)	-	-	-

O inventário dos potenciais pontos de fugas difusas foi realizado em todas as fábricas da Bresfor, i.e. foi analisado todo o circuito do formaldeído desde a sua produção até ao armazenamento e posterior descarga para transporte.

Os resultados foram registados num documento – apresentado na Secção 3.2 – que contém todas as medições efetuadas. Este documento irá constar, pela primeira vez, no relatório ambiental anual da Bresfor.

3.2. Resultados

Os pontos de fuga inventariados foram agrupados por 5 zonas distintas, sendo elas:

- **Fábrica 1** – produção de formaldeído (Secção 2.1);
- **Fábrica 2** – produção de formaldeído e concentrado ureia-formaldeído (Secção 2.1);
- **Fábrica 3** – produção de resinas (Secção 2.2);
- **Parque de tanques** – zona que contém os tanques de armazenamento de todos produtos;
- **Estação de cargas** – zona de carga de camiões de transporte.

Seguindo esta metodologia descrita na Secção 3.1, foram identificados 1001 pontos de fuga. A Tabela 2 resume os resultados obtidos, agrupados segundo as zonas descritas anteriormente.

Tabela 2: Resumo de medições das fugas difusas de formaldeído.

Zona	Número de medições efetuadas	Percentagem de pontos de fugas identificados
Fábrica 1	309	93.9 %
Fábrica 2	370	2.7 %
Fábrica 3	121	0.0 %
Parque de tanques	16	1.7 %
Estação de cargas	185	1.7 %
Total	1001	100.0 %

Observando a tabela anterior, verifica-se que a maioria das fugas detetadas ocorrem na fábrica 1. Este facto era expectável, uma vez que se trata da fábrica mais antiga da empresa, possuindo equipamentos mais desgastados. Já a fábrica 3 não se registou qualquer fuga, uma vez que a quantidade de formaldeído presente nesta é reduzida e também se trata da unidade mais recente do complexo industrial.

Este trabalho permitiu alertar e elucidar a equipa de manutenção sobre os locais mais críticos onde ocorrem fugas e conseqüente perda de produto.

Capítulo 4

Ciclo de água da Bresfor

A escassez da água potável é um dos principais problemas da sociedade moderna, sendo por isso, a água um recurso natural de grande valor económico, social e ambiental que deve ser protegido e gerido de forma eficaz para garantir a sua preservação a longo prazo [6].

No setor industrial a água representa um recurso obrigatório a um vasto leque de indústrias, sendo usada para vários fins, tais como produção de vapor, sistemas de refrigeração, entre outros. Por norma, o ciclo de água industrial não é fechado, uma vez que esta é integrada nos processos produtivos – como é o caso da Bresfor [7].

Com vista a reduzir o impacte ambiental do elevado consumo deste recurso natural, têm vindo a ser implementadas várias ações de otimização do consumo da água. Neste sentido, a realização desta tarefa, no âmbito do estágio na Bresfor, consistiu em efetuar uma análise detalhada do ciclo de água de toda a empresa com vista a detetar locais em que pudessem existir desperdícios ou consumos excessivos.

4.1. Distribuição dos consumos de água

A água consumida na Bresfor provém de um furo localizado no interior do parque industrial e, à exceção da condutividade, não é feita qualquer monitorização de outros parâmetros físico-químicos para avaliar a sua qualidade.

As águas pluviais do parque industrial são recolhidas e enviadas diretamente para a ETARI, não sendo assim reaproveitadas.

Com vista à inventariação dos consumos setoriais de água na empresa, foi feito o levantamento dos locais (vide Figura 3) onde esta era usada (“água bruta”) e rejeitada, assim como as respetivas quantidades (vide Tabela 3). Para o levantamento das quantidades de água consumida nos vários pontos da empresa, recorreu-se à consulta dos registos, do ano 2015, dos contadores instalados. A quantidade de água consumida em alguns pontos, devido à inexistência de contadores, foi estimada através do cálculo da diferença dos valores registados em certos contadores. Por exemplo, a quantidade de água que sai da “Regeneração EAD” (vide Figura 3) corresponde à diferença entre o contador instalado à entrada do “Coletor Municipal” e os contadores instalados à saída das “Torres de Refrigeração” e à saída da “ETARI”.

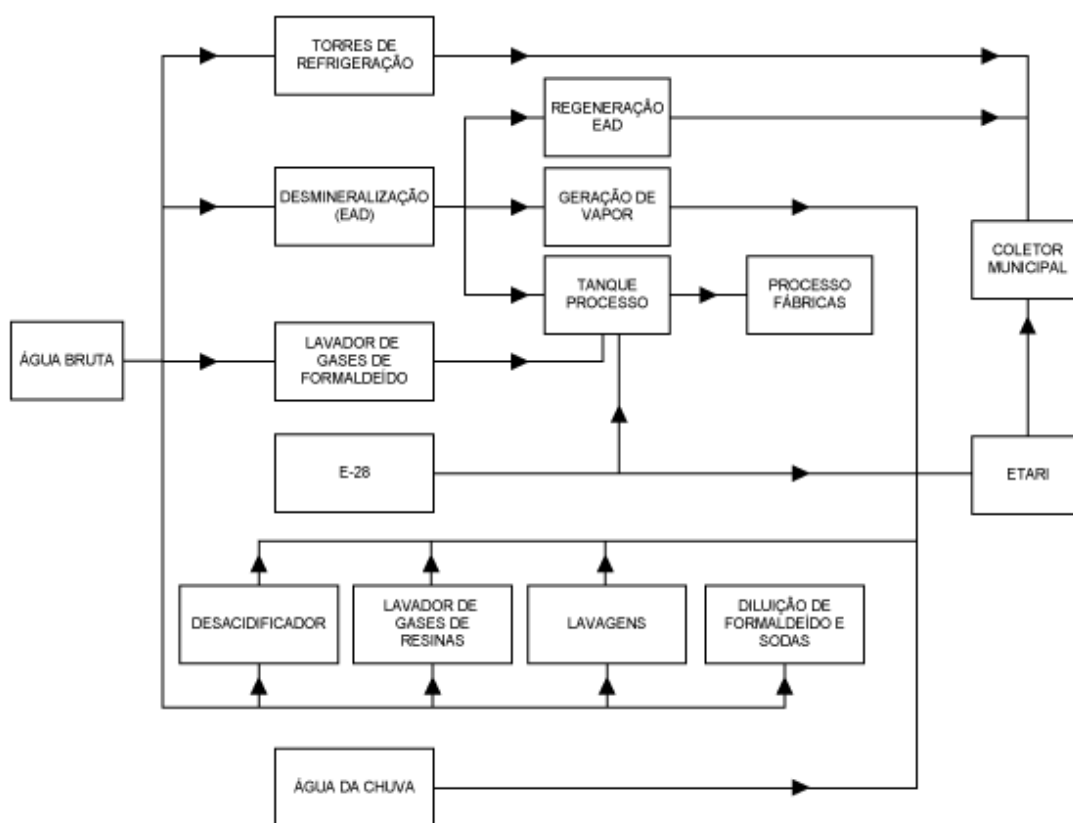


Figura 3: Esquema atual de distribuição dos pontos de entrada (fontes), utilização e rejeição de água da Bresfor.

Pela análise da Tabela 3 observa-se que a maior percentagem de água é utilizada nas torres de refrigeração (62,5 %) e na estação de desmineralização (22,4 %). Nas torres de refrigeração, a água com elevada condutividade (superior a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é rejeitada e enviada diretamente para o coletor municipal, o que corresponde a cerca de 23% (v/v) da água processada nesta unidade. Uma vez que a água captada pela Bresfor provém de um furo, a elevada concentração de sais responsável pela maior condutividade prende-se, provavelmente, com problemas de intrusão salina devido à localização do mesmo.

Já na estação de desmineralização¹, a água é tratada e enviada para as fábricas da empresa onde é utilizada para vários fins, inclusivamente nos processo de produção, sendo rejeitada cerca de 29% (v/v), dos quais apenas 3% é tratado na ETARI e a restante é enviada diretamente para o coletor municipal.

Note-se que, cerca de 66,8 % da água captada é incorporada nos produtos da empresa.

¹ Desmineralização: processo químico de remoção de sais minerais da água.

Tabela 3: Distribuição dos volumes de água consumidos/rejeitados no ano 2015 na Bresfor.

Local	Entrada (m³/ano)	Descarga coletor (m³/ano)	ETARI (m³/ano)
Torres refrigeração	149.922,000	34.789,200	-
Desmineralização (EAD)	53.724,000	13.992,000	1.733,940
E-28	-	-	3.000,778
Lavador de gases de formaldeído	144,000	-	-
Lavador de gases de resinas	288,000	-	288,000
Desacidificador	7.555,858	-	7.555,858
Lavagens	18.302,144	-	18.302,144
Diluição de formaldeído e sodas	9.863,598	-	-
Chuva	-	-	8.410,880
ETARI	-	39.291,600	-
Total	239.799,600	88.072,800	39.291,600

No processo produtivo de formaldeído, o gás de escape processual, que é enviado novamente para o processo (ver Secção 2.1), poderá conter água. Esta é removida/condensada por um separador de gotas, e posteriormente armazenada num tanque denominado por E-28. O volume de água condensada no separador de gotas está diretamente relacionado com a produção das fábricas, registando-se, no ano em análise, um volume de 5.360,970 m³ de água, sendo cerca de 55 % desta enviada para a ETARI.

Na diluição de formaldeído e soda a água é totalmente consumida e a quantidade necessária depende diretamente da produção da fábrica, não sendo por isso possível equacionar a sua redução. Por outro lado, a água utilizada no desacidificador e nas lavagens é diretamente enviada para a ETARI, não podendo ser reaproveitada sem um tratamento prévio, face à sua composição.

Como já foi referido no Capítulo 2, no desacidificador ocorre a neutralização do ácido fórmico presente no formaldeído. Durante este processo, é formado o formiato de sódio, que é inadequado a todos os processos da empresa, sendo por isso esta corrente de água residual enviada diretamente para a ETARI.

As lavagens consistem na limpeza dos filtros existentes nos reatores da fábrica 3. A corrente de água residual gerada neste processo contém resinas, pelo que é enviada para tratamento na ETARI. Uma vez que os reatores usados na produção de resinas funcionam em modo descontínuo, os filtros são lavados após cada descarga. Também este fluxo de água é proporcional à produção da fábrica, não podendo por isso ser racionalizado.

Em suma, como ilustrado na Figura 4, os volumes de água tratados na ETARI são na sua maioria provenientes das águas de lavagens, da chuva e do desacidificador, sobrando o lavador de gases de resinas, a EAD e o E-28 que representam apenas 13 % do volume total. Por outro lado, a água rejeitada para o coletor municipal, provém da ETARI, torres de refrigeração e EAD. Na globalidade, excluindo o volume de água da chuva, cerca de 33 % da água captada pela empresa é rejeitada para o coletor municipal.

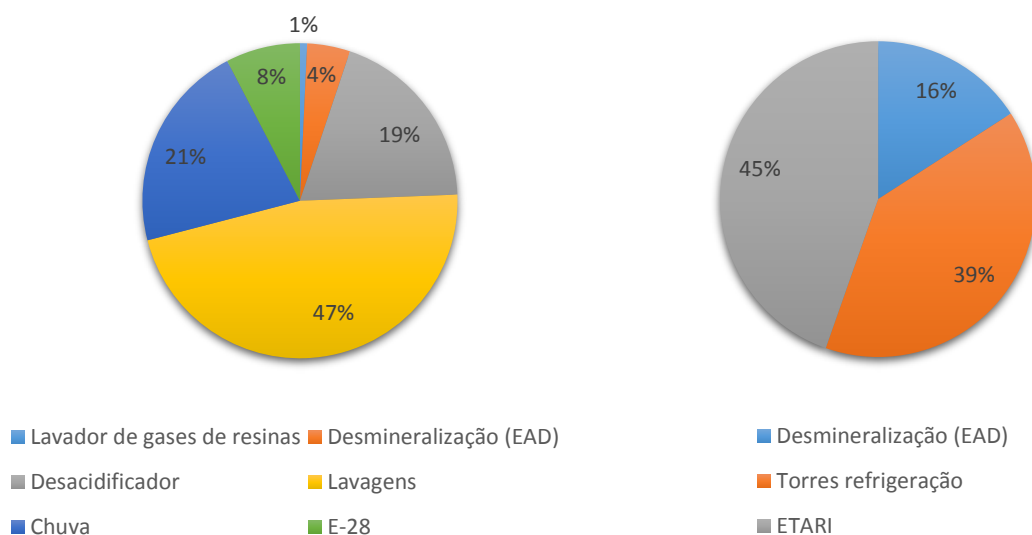


Figura 4: Proveniência dos volumes de água tratados na ETARI da Bresfor (esquerda) e dos volumes de água rejeitados para o coletor municipal (direita).

4.2. Propostas de redução dos volumes de água consumidos e tratados

Nesta secção são apresentadas propostas de alterações com vista à redução dos volumes de água consumidos e tratados na Bresfor. O novo esquema dos fluxos de água encontra-se na Figura 5.

De acordo com o referido na Secção 4.1, a água purgada nas torres de refrigeração representa 39,5 % de toda a água enviada para o coletor municipal. Atendendo ao critério para a rejeição (condutividade elevada) desta corrente de água, e como forma de reduzir os quantitativos descartados, propõe-se o tratamento dedicado desta corrente. Este poderia ser feito por um processo de osmose inversa, e a corrente tratada poderia ser usada como água de *makeup* das torres de refrigeração. A osmose inversa consiste num sistema de filtragem por membrana, que é permeável ao solvente (água) mas impermeável ao soluto (e.g. sais dissolvidos). Em comparação com processos semelhantes, a osmose inversa tem a vantagem de não ser necessária a etapa de regeneração, eliminando a necessidade da utilização de produtos químicos e permitindo um fluxo contínuo de água tratada. Desta forma, reduz-se diretamente a quantidade de água enviada para o coletor municipal, diminuindo também os custos associados ao seu tratamento.

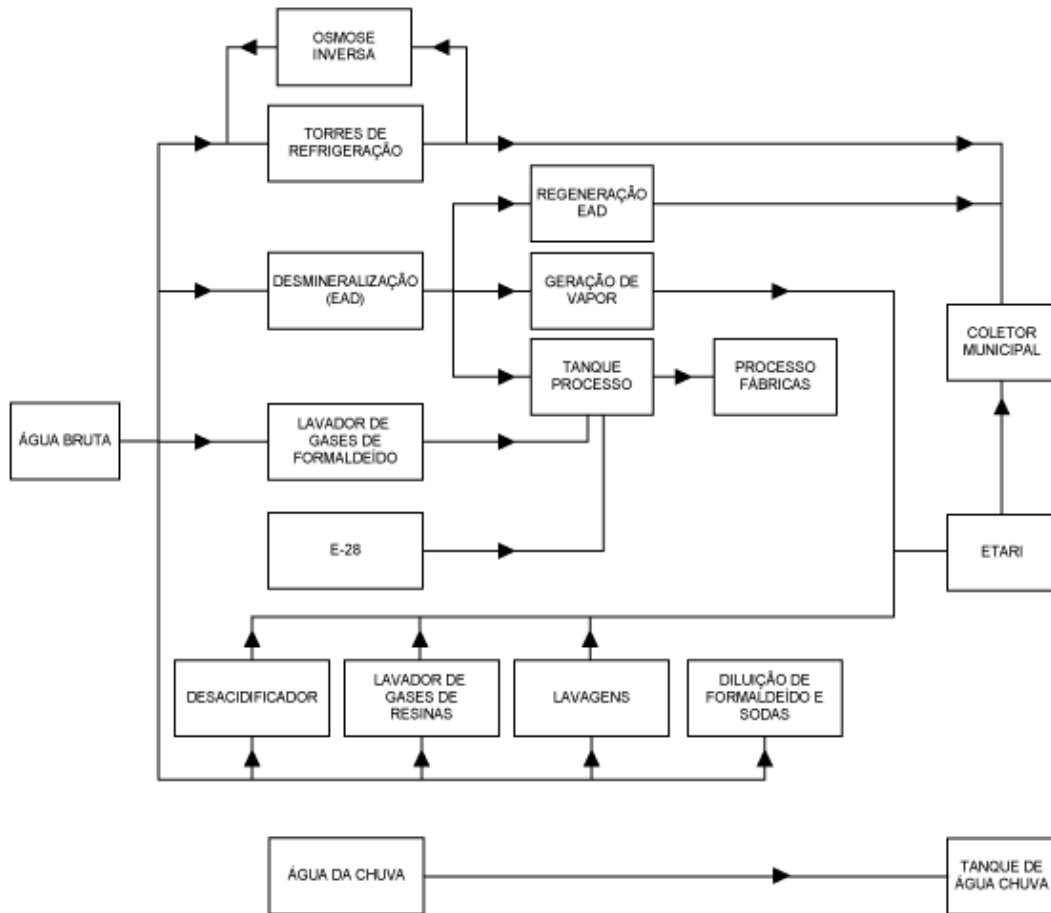


Figura 5: Esquema proposto para as correntes de água/água residual na Bresfor.

A percentagem de aproveitamento de água utilizando o sistema de osmose inversa varia, tipicamente, entre os 50 % e os 75 % [8],[9]. Com base nesta informação, e considerando o pior cenário (i.e. aproveitamento de 50%), reduz-se a descarga hidráulica para o coletor em 19,7 % (v/v). Contudo, esta proposta carece de um estudo de viabilidade econômica, nomeadamente uma quantificação dos custos inerentes ao investimento inicial e aos consumos de energia associados ao processo.

A água rejeitada no processo de separação de gotas (tanque E-28) representa 8 % (vide Figura 4) da carga hidráulica total a tratar na ETARI. Porém, esta corrente de água possui uma composição adequada à utilização em todos os processos produtivos, por isso poderá ser integralmente enviada para o tanque de processo, evitando assim a sua rejeição e, conseqüentemente, a diminuição da carga hidráulica da ETARI.

A água da chuva representa uma percentagem significativa (21 %) da água que é tratada anualmente na ETARI. Em princípio esta corrente de água possui características apropriadas para a sua utilização na rega, esta poderá ser desviada da ETARI e reservada para posterior utilização. No entanto, é necessário garantir que esta não sofre contaminação. Para isso, existem bacias de retenção instaladas nas zonas críticas das fábricas que estão ligadas à ETARI através de caleiras. Esta ligação deverá ser substituída por tubagens fechadas, de modo evitar a contaminação das águas pluviais. Adicionalmente, as caleiras existentes deverão ser adaptadas para escoar a água da chuva até ao tanque de armazenamento da mesma.

A Tabela 4 apresenta as reduções de consumo alcançadas com as alterações acima propostas. Na última linha desta tabela é apresentado, em pontos percentuais, o total de redução da água consumida, descarregada no coletor municipal e tratada na ETARI.

Tabela 4: Distribuição dos volumes de água da Bresfor considerando alterações propostas. Ano de referência: 2015.

Local	Entrada (m ³ /ano)	Descarga coletor (m ³ /ano)	ETARI (m ³ /ano)
Torres refrigeração	132.527,400	17.394,600	-
Desmineralização (EAD)	50.723,221	13.992,000	1.733,940
E-28	-	-	-
Lavador de gases de formaldeído	144,000	-	-
Lavador de gases de resinas	288,000	-	288,000
Desacidificador	7.555,858	-	7.555,858
Lavagens	18.302,144	-	18.302,144
Diluição de formaldeído e sodas	9.863,598	-	-
Chuva	-	-	-
ETARI	-	27.879,942	-
Total	219.404,221	59.266,542	27.879,942
Inicial	239.799,600	88.072,800	39.291,601
Redução (v/v)	8,5 %	32,7 %	29,0 %

Pela análise da Tabela 4, prevê-se um decréscimo no consumo de água na ordem dos 8,5 %. Relativamente à água enviada para o coletor municipal, a redução será cerca de 32,7 %, representando uma redução de custos considerável para a empresa. Por último, este trabalho permitiu também beneficiar a ETARI já que se reduziu em 29,0 % a carga a ser tratada, permitindo ainda a redução de custos associados ao tratamento de águas.

Capítulo 5

Caracterização da ETARI

5.1. Introdução

A água residual diz respeito ao fluxo de água utilizado por uma comunidade, seja esta doméstica ou industrial, e que só deve ser descarregada num meio recetor em condições tais que este seja capaz de se autodepurar. A água residual é principalmente constituída por água e uma pequena percentagem de materiais dissolvidos e suspensos [10]. A água residual pode apresentar uma elevada carga orgânica devido à existência de uma vasta variedade de compostos orgânicos, bem como bactérias e vírus, que quando lançada incontrolavelmente em cursos de água ou outros meios recetores, poderá dar origem a desastres de saúde pública e ambiental. [11]

A composição das águas residuais industriais é muito variada dependendo do tipo de processos e materiais utilizados. Algumas águas residuais apesar de possuírem elevadas cargas orgânicas podem ser deficientes alguns nutrientes como por exemplo, fósforo, azoto, e em alguns casos o carbono. Existem rácios recomendáveis destes nutrientes (relativamente à carga orgânica) quando são usados tratamentos biológicos (e.g. lamas ativadas) na redução da carga orgânica das águas residuais [11].

De forma a minimizar os impactes nefastos provocados pelas indústrias químicas pesadas, tornou-se necessário implementar uma política de obrigatoriedade de tratamento das águas residuais em estações próprias. Este tratamento é parametrizado, sendo necessário respeitar um conjunto de condições (parâmetros de qualidade) para a descarga das

águas residuais tratadas no meio recetor, seja este ambiental ou um serviço de coleta público (e.g. serviço de saneamento básico municipal).

A carga orgânica (biodegradável) e os principais nutrientes (azoto- N, e fósforo - P) podem ser removidos (parcialmente ou com uma elevada eficiência) nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) através de processos biológicos. Nestes processos são usados microrganismos - maioritariamente bactérias - na oxidação da matéria orgânica, mas também, em certos casos, inorgânica, como é o caso dos nutrientes azoto e fósforo nas suas formas inorgânicas. Do ponto de vista tecnológico existem processos biológicos onde os microrganismos (também designados por biomassa) se desenvolvem em suspensão ou em filme fixo, na presença (aeróbios) ou ausência de oxigénio (anaeróbios). As lamas ativadas são um exemplo de um sistema em que a biomassa se encontra em suspensão, e é caracterizado por conter órgãos característicos, tais como um tanque aeróbio onde ocorre o tratamento biológico, um sedimentador e um sistema de recirculação interna das lamas ativadas [12]. Por outro lado, os leitos percoladores e biodiscos são exemplos de sistemas onde os microrganismos se desenvolvem (em filme fixo) num suporte.

Quando os critérios de descarga de águas residuais em meios recetores (águas superficiais e solo/subsolo) são particularmente restritos nos teores de azoto e fósforo, obrigam a tratamentos mais avançados.

A água residual processual da Bresfor é muito rica em compostos orgânicos azotados, pelo que este nutriente deverá ser removido de forma significativa na ETARI da empresa.

Nos processos biológicos que visam a degradação da matéria orgânica, o azoto orgânico (proteínas, ureia, etc.) é convertido a azoto amoniacal (NH_4^+) e este, por sua vez, pode ser convertido a nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-), na presença de oxigénio, no processo que se designa por nitrificação. A desnitrificação é conseguida sob condições anaeróbias (anóxicas), onde o nitrato é convertido a azoto molecular (N_2), que é libertado para atmosfera sob a forma de gás. Na Figura 6 é apresentado um esquema deste ciclo do azoto, que pode ocorrer no curso do tratamento de uma água residual.

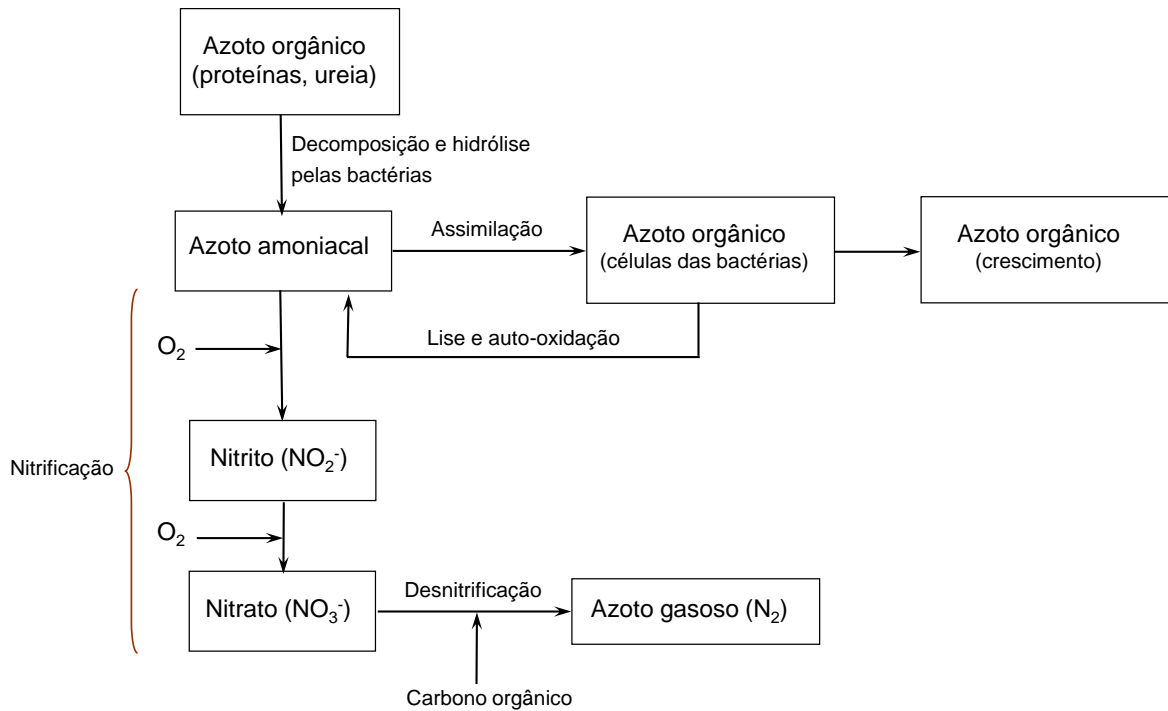
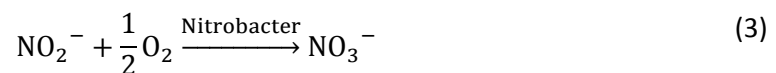
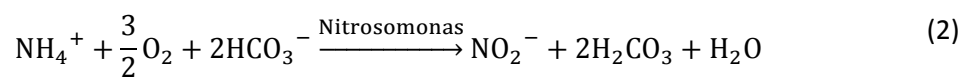


Figura 6: Remoção biológica de azoto numa estação de tratamento de águas residuais (adaptado de [13]).

A nitrificação é um processo onde a energia necessária para o crescimento das bactérias vem da oxidação de compostos inorgânicos, primeiramente da amónia. A oxidação da amónia a nitrato, é um processo que envolve duas fases: (i) a primeira fase dá-se a oxidação da amónia a nitrito utilizando as Nitrosomonas (Equação 2), e (ii) a segunda fase ocorre a transformação de nitrito em nitrato utilizando as Nitrobactérias (Equação 3) [14].



Nos processos biológicos de crescimento em suspensão, a nitrificação ocorre simultaneamente com a remoção da carga orgânica da água residual (CBO – carência bioquímica de oxigénio). Todavia, no caso de existirem substâncias com potencial tóxico e inibidor

(para a biomassa) na água residual, é recomendável que a remoção da CBO e destas substâncias tóxicas seja feita numa primeira fase, seguida da etapa de nitrificação [13].

Para além da toxicidade, existem outros fatores ambientais que afetam a eficiência da nitrificação, tais como a presença de certos metais e de amoníaco (NH_3) e o pH. Este último fator deve encontrar-se na gama de 7,5 – 8,0, sendo que para valores inferiores a 6,8 registou-se uma significativa diminuição da taxa de nitrificação [13].

Como foi referido anteriormente, a desnitrificação é o processo onde se dá a redução dos nitratos a azoto molecular, que na forma gasosa é libertado para a atmosfera [15]. Esta redução (biológica) do nitrato requer um dador de eletrões, que pode ser a CBO da água residual, a respiração endógena (lise das células microbianas) ou uma fonte externa de carbono (e.g. metanol, ácido acético, etc.). As bactérias responsáveis por esta transformação são do tipo “*Bacillus*” e “*Pseudomonas*”, que utilizam o oxigénio dos nitratos para metabolizar a matéria orgânica em ambientes isentos de oxigénio.

Existem processos de desnitrificação alternativos, nomeadamente: “*ammonia stripping*”, “*breakpoint chlorination*” e permuta iónica, no entanto os processos biológicos são mais económicos e por isso mais frequentemente usados [13].

Um exemplo de processo biológico de crescimento suspenso utilizado na remoção de azoto é o de Ludzack-Ettinger, desenvolvido em 1962, cujo esquema encontra-se na Figura 7. Neste esquema, o efluente a tratar é alimentado primeiramente a um tanque (ou zona) anóxica, seguindo posteriormente para um tanque aeróbio. A finalizar a linha de tratamento existe um sedimentador (secundário) onde a biomassa é separada, por gravidade, do efluente tratado. A corrente de lamas é recirculada ao tanque anóxico trazendo consigo nitratos. Todavia, como a única alimentação de nitratos para a zona anóxica é esta corrente de lamas, a taxa de desnitrificação conseguida é limitada pela razão de recirculação (rácio entre o caudal de recirculação de lamas e o caudal de efluente que entra no sistema).

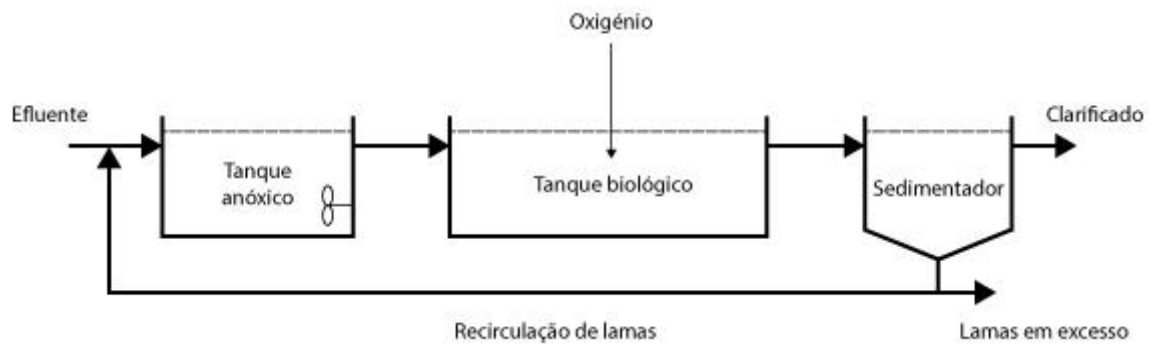


Figura 7: Processo Ludzack-Ettinger (adaptado de [10]).

No sentido de ultrapassar as limitações do processo de Ludzack-Ettinger, em 1973 Barnard alterou-o, introduzindo uma corrente de recirculação interna do licor biológico do tanque aeróbio para o anóxico (vide Figura 8), conseguindo desta forma alimentar mais nitrato à zona anóxica, e com isso aumentar significativamente a eficiência global de remoção de azoto. Este processo designa-se de Ludzack-Ettinger modificado (MLE) e é adaptável aos sistemas de lamas ativadas existentes nas ETAR.

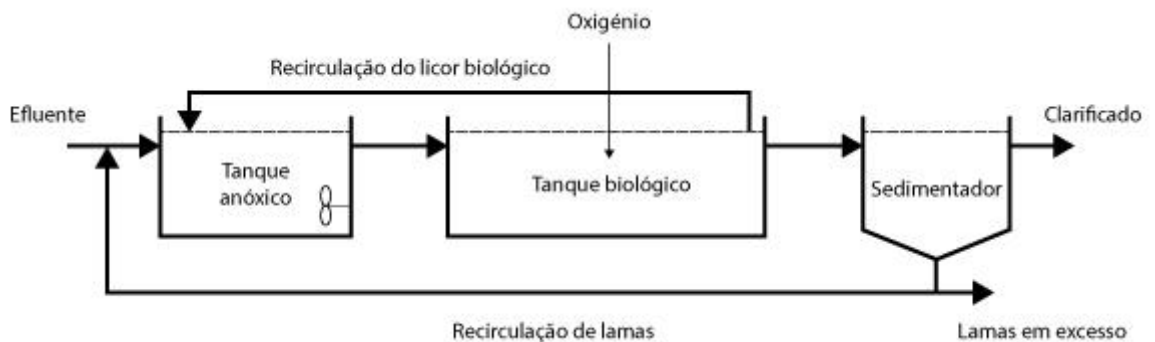


Figura 8: Processo Ludzack-Ettinger modificado (adaptado de [10]).

No MLE a razão de recirculação interna do licor biológico (rácio entre o caudal de recirculação do licor biológico e o caudal de efluente a tratar) varia tipicamente entre 2 e 4; o tempo de retenção no tanque anóxico é de 2 a 4 h. A razão de CBO/TKN² de 4:1 no efluente a tratar é geralmente suficiente para uma redução efetiva dos nitratos neste tipo de sistemas.

² TKN - Azoto total de Kjeldahl

Os parâmetros mais relevantes, e que podem condicionar a eficiência da remoção de azoto neste tipo de tratamento, são [13]: tempo de residência na zona anóxica, concentração de sólidos suspensos voláteis nos tanques, caudais de recirculação do licor biológico e de lamas, CBO do efluente a tratar (ou a biodegradabilidade da carência química de oxigênio – CQO) e a temperatura.

5.2. *Layout* da ETARI da Bresfor

De acordo com o referido nas Secções 2.1 e 2.2, a atividade da Bresfor centra-se na produção de formaldeído (CH_2O), de concentrado de ureia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)-formaldeído e de resinas sintéticas de formaldeído-ureia ou de formaldeído-ureia-melamina ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$). Estas atividades geram efluentes ricos em matéria orgânica azotada.

A Figura 9 representa o esquema atual da ETARI da Bresfor, onde constam os principais órgãos.

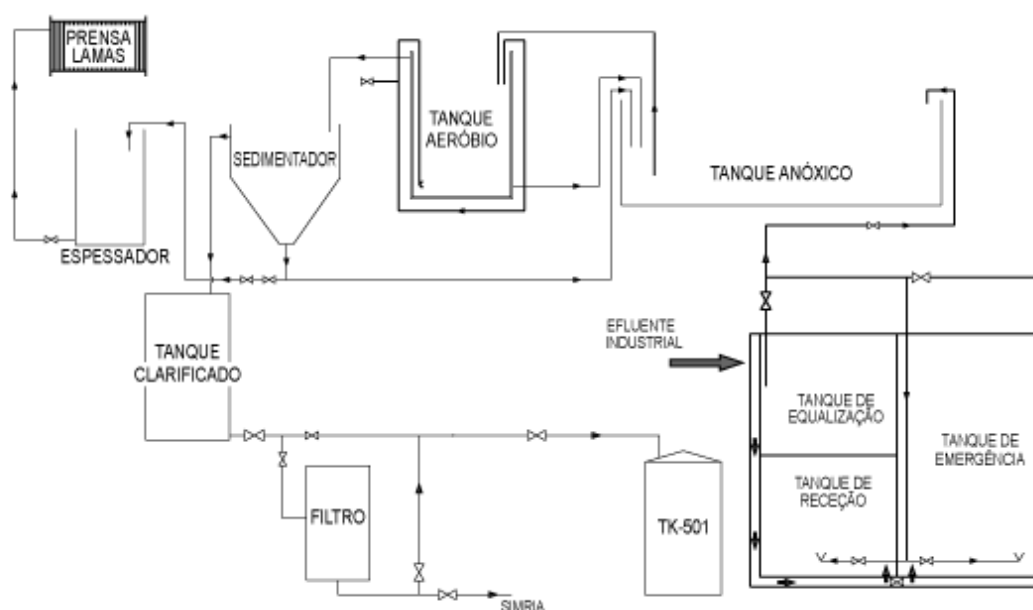


Figura 9: *Layout* da ETARI da Bresfor.

A ETARI da Bresfor é constituída por duas linhas de tratamento relativas: à fase líquida (constituída pelo pré-tratamento, tratamento primário e tratamento secundário) e à fase sólida (desidratação das lamas biológicas).

A água residual provem dos vários processos (ver Secção 4.1), e ao chegar à ETARI sofre um pré-tratamento. Este consiste na remoção de sólidos grosseiros, através de cestos-filtro instalados à entrada da ETARI, evitando que estes prossigam para os tratamentos subsequentes danificando os equipamentos.

Após o pré-tratamento, o efluente é sujeito ao tratamento primário onde ocorre um pré-arejamento e equalização tanto do caudal como da carga poluente.

Uma vez que o pH do efluente varia significativamente, conforme a produção das fábricas, é necessário garantir que este seja neutralizado. Para isso, é feita a adição de ácido fórmico (CH_2O_2) ou de hidróxido de sódio (NaOH) conforme a necessidade. É também necessário garantir um adequado rácio de nutrientes, nomeadamente de 100:5:1 (C:N:P), de modo a atingir elevadas eficiências do tratamento biológico. Uma vez que o efluente da Bresfor é rico em compostos azotados, é necessário a adição de carbono e fósforo para respeitar este rácio. O carbono é adicionado sob a forma de metanol (CH_3OH) e o fósforo sob a forma de ácido fosfórico (H_3PO_4).

O tratamento secundário consiste no processo Ludzack-Ettinger modificado, representado na Figura 8, usado na remoção biológica de nutrientes, principalmente de azoto [13]. Quando necessário é feita correção do pH no reator biológico aeróbio com carbonato de sódio.

O efluente sai do tanque aeróbio para o sedimentador secundário onde ocorre a decantação e separação da biomassa. Uma parte das lamas provenientes do sedimentador são recirculadas para o tanque anóxico, de forma a manter constante a concentração de microrganismos no sistema. A restante fração das lamas purgadas do sedimentador são encaminhadas para um espessador onde ocorre a sua decantação, facilitando a sua separação do sobrenadante. De seguida, as lamas são submetidas a uma desidratação mecânica numa prensa de lamas sendo, posteriormente, encaminhadas para o destino mais adequado.

Relativamente ao clarificado do sedimentador secundário, este segue para um tanque onde é armazenado, e posteriormente é alimentado a um filtro rotativo para remoção de

sólidos suspensos, sendo de seguida descarregado no coletor municipal gerido pelo SIMRIA³. Assim, este efluente tratado tem de cumprir os requisitos impostos pelo SIMRIA (ver Secção 5.3).

5.3. Caracterização das correntes de água residual

5.3.1. Parâmetros físico-químicos

Como foi referido anteriormente, a atividade produtiva da Bresfor gera efluentes ricos em matéria orgânica e em compostos de azoto. É fundamental conhecer as características da água após tratamento, uma vez que o efluente tratado tem como destino final o coletor municipal do SIMRIA e existem exigências contratuais que restringem a descarga das águas tratadas (vide Tabela 5). Se a água residual tratada fosse descartada num dos domínios constantes no Decreto-lei nº 236/98, teria que cumprir os valores limite de emissão (VLE), definidos no Anexo XVIII, no que concerne à sua composição físico-química. Alguns desses valores encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Valores limite de emissão de águas residuais descritos no contrato com o SIMRIA e estabelecidos pelo Decreto-lei nº 236/98.

Parâmetros	Unidades	VLE DL 236/98	VLE SIMRIA
pH	-	6 – 9	6 – 9
CQO	mg O ₂ /L	150	1000
Cloretos	mg/L	-	1000
Azoto amoniacal	mg NH ₄ /L	10	-
Nitratos	mg NO ₃ /L	50	50
Azoto total	mg N/L	15	90
Fósforo total	mg P/L	10	20

³ Saneamento Integrado dos Municípios da Ria

Analisando a Tabela 5 verifica-se que os padrões de qualidade estabelecidos pelo Decreto-lei nº 236/98 são mais exigentes do que o contratualizado com o SIMRIA, e tal deve-se ao facto de esta água não ser descartada diretamente para o meio ambiente, sofrendo um tratamento posterior pela entidade gestora do coletor municipal.

Do exposto, depreende-se que é imprescindível monitorizar a qualidade da água residual à entrada e em vários pontos da ETARI, i.e. para controlar o funcionamento dos vários órgãos da ETARI. De forma a garantir o cumprimento dos VLE é necessário recolher amostras em pontos específicos da instalação (assinalados na Figura 10) para posterior caracterização em termos de diferentes parâmetros (definidos na

Tabela 6).

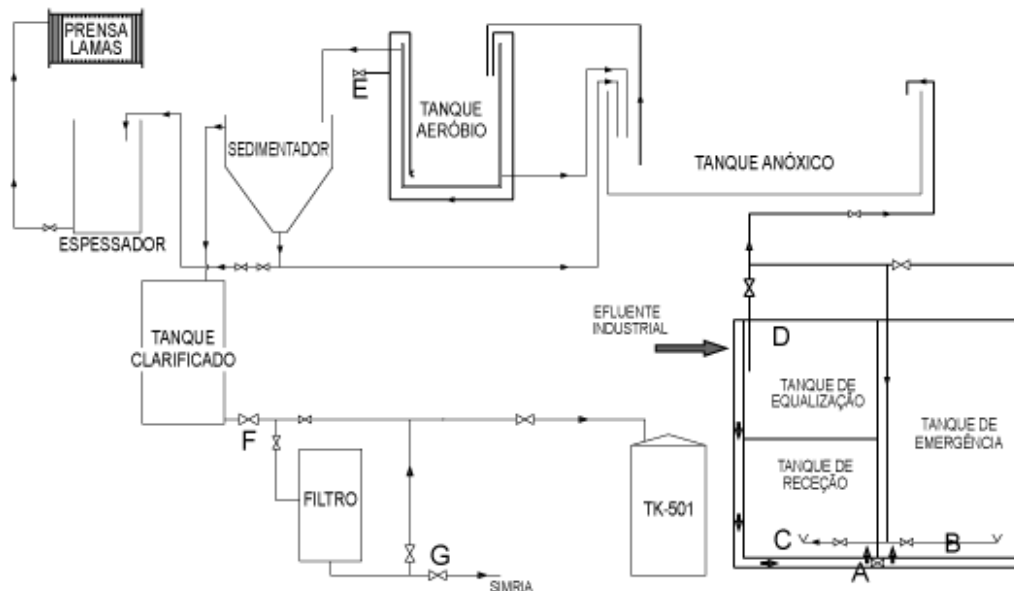


Figura 10: Pontos de amostragem de água residual na ETARI para caracterização no laboratório da Bresfor.

As análises feitas às amostras recolhidas nos diversos locais de amostragem da ETARI são realizadas semanalmente (à segunda-feira) pelo laboratório da Bresfor. Mensalmente a Luságua, que é uma entidade externa competente para a realização de análises, analisa a água que é descarregada no coletor, certificando que os parâmetros monitorizados se encontram dentro do limite contratual estabelecido.

Na operação da ETARI, a monitorização com uma periodicidade semanal pode não ser suficiente para controlar a operação da mesma. Por este motivo, o pH e o oxigénio dissolvido no tanque aeróbio são monitorizados com maior frequência. O pH é analisado uma vez por turno, correspondendo a um total de três medições diárias. Já o oxigénio dissolvido é analisado em contínuo por uma sonda e verificado, no mostrador, pelo operador sempre que este vai recolher a amostra para analisar o pH (vide Secção 6.2).

Tabela 6: Pontos de recolha de amostras na ETARI e parâmetros monitorizados.

Pontos de amostragem	Localização	Parâmetros monitorizados
A	Caleira	pH, formaldeído, azoto amoniacal.
B	Tanque de emergência	pH, formaldeído, azoto amoniacal.
C	Tanque de receção	pH, formaldeído, azoto amoniacal.
D	Tanque de equalização	Condutividade, pH, formaldeído, fósforo total, azoto amoniacal, nitratos, CQO.
E	Tanque aeróbio	Oxigénio dissolvido, pH, formaldeído, fósforo total, azoto amoniacal, nitratos, V30 ⁴ , CQO.
F	Tanque de clarificado	Condutividade, pH, formaldeído, fósforo total, azoto amoniacal, nitratos, CQO.
G	Coletor municipal	Condutividade, pH, formaldeído, fósforo total, azoto total, azoto amoniacal, nitratos, sólidos suspensos, cloretos, CQO.

⁴ Volume de lama sedimentado após 30 minutos.

Os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros acima mencionados na monitorização da ETARI estão resumidos na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros analisados e métodos utilizados na monitorização da ETAR da Bresfor.

Parâmetros	Unidades	Métodos
(a) Formaldeído (0-10 ppm)	mg/L	Método interno baseado na norma BS EN 120:1992
(b) Formaldeído (> 30 ppm)	mg/L	Método interno baseado na norma BS EN 120:1992
Fósforo total	mg P/L	Test Kits para Hach DR/2010 – Método do Molibdovanadato
Azoto amoniacal	mg /L	Test Kits para Hach DR/2010 – Método de Nessler
Nitratos	mg/L	Test Kits para Hach DR/2010 – Método de Nessler
CQO	mg de O ₂ /L	Test Kits para Hach DR/2010 – Método colorimétrico utilizando um digestor
Cloretos	mg/L	Método do nitrato de prata

Para a determinação do V30 utiliza-se um cone Imhoff e faz-se uma leitura visual do volume de lamas sedimentado ao final de 30 min.

A monitorização da concentração de oxigénio dissolvido é feita por uma sonda automática instalada junto ao tanque aeróbio.

Nas Tabela 8 e Tabela 9 encontram-se resumidos os resultados (valores médios e desvios padrão), referentes ao ano de 2015, das caracterizações efetuadas às amostras recolhidas nos pontos da

Tabela 6 e assinalados na Figura 10. No Anexo A encontra-se informação adicional, mais detalhada destes parâmetros.

Tabela 8: Resultados da monitorização da qualidade da água residual, referente ao ano 2015, na zona de retenção da ETARI (\bar{x} – média aritmética; σ – desvio padrão).

		Caleira	Tanque de emergência	Tanque de receção	Tanque de equalização
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	\bar{x}	-	-	-	1409,7
	σ	-	-	-	1094,7
pH	\bar{x}	9,8	9,4	10,1	9,9
	σ	1,1	1,5	1,2	1,5
Formaldeído (mg/L)	\bar{x}	572,5	788,8	613,6	719,2
	σ	613,3	1405,6	461,5	1588,6
Fósforo total (mg P/L)	\bar{x}	-	-	-	3,6
	σ	-	-	-	3,2
Azoto amoniacal (mg NH_4/L)	\bar{x}	488,7	565,5	576,6	542,6
	σ	435,9	492,7	466,5	426,8
Nitratos (mg NO_3/L)	\bar{x}	-	-	-	5,6
	σ	-	-	-	5,8
CQO (mg O_2/L)	\bar{x}	-	-	-	1901,4
	σ	-	-	-	2622,4

Tabela 9: Resultados da monitorização da qualidade da água residual, referente ao ano 2015, nos órgãos do tratamento biológico da ETARI e na saída para o coletor municipal (\bar{x} – média aritmética; σ – desvio padrão).

		Tanque aeróbio	Tanque de clarificado	Coletor municipal
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	\bar{x}	-	2092,7	1909,1
	σ	-	942,1	742,2
Oxigénio dissolvido (mg/L)	\bar{x}	1,9	-	-
	σ	0,7	-	-
pH	\bar{x}	7,0	7,2	8,3
	σ	0,8	0,9	0,7
Formaldeído (mg/L)	\bar{x}	17,8	0,8	1,0
	σ	119,1	1,1	1,5
Fósforo total (mg P/L)	\bar{x}	4,4	4,3	3,6
	σ	4,9	3,9	2,9
Azoto amoniacal (mg NH_4/L)	\bar{x}	91,3	62,0	72,3
	σ	167,0	144,9	165,8
Nitratos (mg NO_3/L)	\bar{x}	33,4	27,3	14,4
	σ	57,5	21,6	16,7
CQO (mg/L)	\bar{x}	483,9	430,9	107,7
	σ	617,2	450,9	27,2
Cloretos (mg/L)	\bar{x}	-	-	181,2
	σ	-	-	17,9
Sólidos totais (mg/L)	\bar{x}	-	32,7	25,5
	σ	-	26,3	32,9
V30 (mL/L)	\bar{x}	656,5	-	-
	σ	266,1	-	-

Por norma, a concentração de oxigénio dissolvido desejada no tanque aeróbio deve estar entre 1,5 e 3 mg/L [13]. Observando a Tabela 9, verifica-se que este parâmetro se encontra dentro desta gama. Nesta tabela é também possível constatar que o valor do pH

se encontra abaixo do desejável. Tal deve-se às rápidas variações deste parâmetro devido à contaminação por formaldeído e à falta de uma análise contínua do pH.

De uma forma geral, analisando a Tabela 8 e a Tabela 9, observa-se que os parâmetros de formaldeído e CQO sofrem oscilações muito significativas (desvio padrão elevado) à entrada da ETARI. Em situações em que a carga de formaldeído é excessivamente elevada, é necessário fazer um doseamento controlado do efluente alimentado ao reator, já que existe uma carga máxima que este consegue processar. Para além disso, existe também um rácio de nutrientes que deve ser respeitado de forma a garantir a eficiência do tratamento biológico (descrito na Secção 5.2). Para isso, deve determinar-se a carga orgânica presente no afluente à ETARI, sendo a CQO o parâmetro utilizado. No entanto, no caso específico das águas residuais da Bresfor, ricas em formaldeído e ureia, a CQO não é um parâmetro adequado para a quantificação da carga orgânica, já que o dicromato (oxidante usado no método analítico para oxidar a matéria orgânica) não oxida a ureia, logo os valores de carga orgânica são subestimados através deste método [16]. De forma a contornar este problema, a determinação da CBO₅ seria o método mais adequado. No entanto, sendo este um método moroso, seria limitativo no controlo diário da ETARI. Desta forma, sugere-se a quantificação de ureia, de forma indireta através do azoto de Kjeldahl, que em conjunto com a concentração de formaldeído (já medida atualmente) serviriam de indicadores para contornar o problema da monitorização da carga orgânica afluente à ETARI, ultrapassando a limitação do método da CQO.

Para além destes parâmetros, é também importante analisar índices de performance, tais como o índice volúmico de lamas (IVL), a idade das lamas e a razão alimento/microrganismos (A/M). O IVL permite identificar a existência de problemas no funcionamento do sedimentador secundário, através da avaliação a qualidade da sedimentação das lamas. Para o cálculo deste parâmetro recorre-se ao V30 e aos sólidos suspenso totais (SST), com base na equação seguinte.

$$IVL = \frac{V30}{SST} \quad (4)$$

A idade das lamas corresponde ao período de tempo que os microrganismos permanecem no sistema, refletindo a sua taxa de crescimento específico e indicando a necessidade de as purgar. Esta é calculada através da Equação 5, admitindo que os sólidos suspensos voláteis (SSV) do caudal de efluente são desprezáveis.

$$\text{Idade das lamas} = \frac{SSV \times V}{Q_p \times SSV_p} \quad (5)$$

Onde: V – volume do tanque aeróbio; Q_p – caudal da purga; SSV_p – sólidos suspensos voláteis nas lamas purgadas.

Por último, a razão A/M corresponde à relação existente entre a quantidade de alimento e os microrganismos existentes no licor misto indicando a eficiência do tratamento biológico. Para determinar este parâmetro recorre-se à equação seguinte.

$$A/M = \frac{Q \times CBO_5}{V \times SSV} \quad (6)$$

Uma vez que os parâmetros SSV, SST, CBO_5 e o Azoto de Kjeldahl não são analisados no laboratório da Bresfor, sugere-se que se realize a sua monitorização com o objetivo de obter um melhor controlo sobre o processo de tratamento biológico da ETARI. Ainda com este objetivo, é esquematizada, no Anexo B, uma proposta de um plano de monitorização completo da ETARI onde constam os parâmetros a analisar, os locais e a periodicidade. Desta forma, seria possível obter um melhor controlo permitindo a otimização do funcionamento da ETARI através da análise dos índices de performance acima mencionados.

Em suma, como se pode observar pela comparação da Tabela 5 com a Tabela 9, os resultados encontram-se dentro dos limites contratualizados para a descarga no coletor municipal, sendo, atualmente, toda a água descarregada neste. No entanto, com vista a reduzir o impacto ambiental do consumo de água, bem como reduzir os custos para a empresa, é desejável que toda a água, proveniente da ETARI, seja própria para reutilização nos processos da empresa. Por este motivo, foi conduzido um estudo sobre o atual funcionamento da ETARI com vista a identificar os motivos e potenciais problemas associados ao tratamento do efluente, que será discutido em detalhe no Capítulo 6.

5.3.2. Caudais

Segundo os dados analisados referentes à operação da ETARI no ano 2015, esta recebe atualmente um caudal médio de cerca de 3.300 m³/mês. Na Figura 11 encontram-se representados os valores de caudal de afluente registados em cada mês do referido ano.

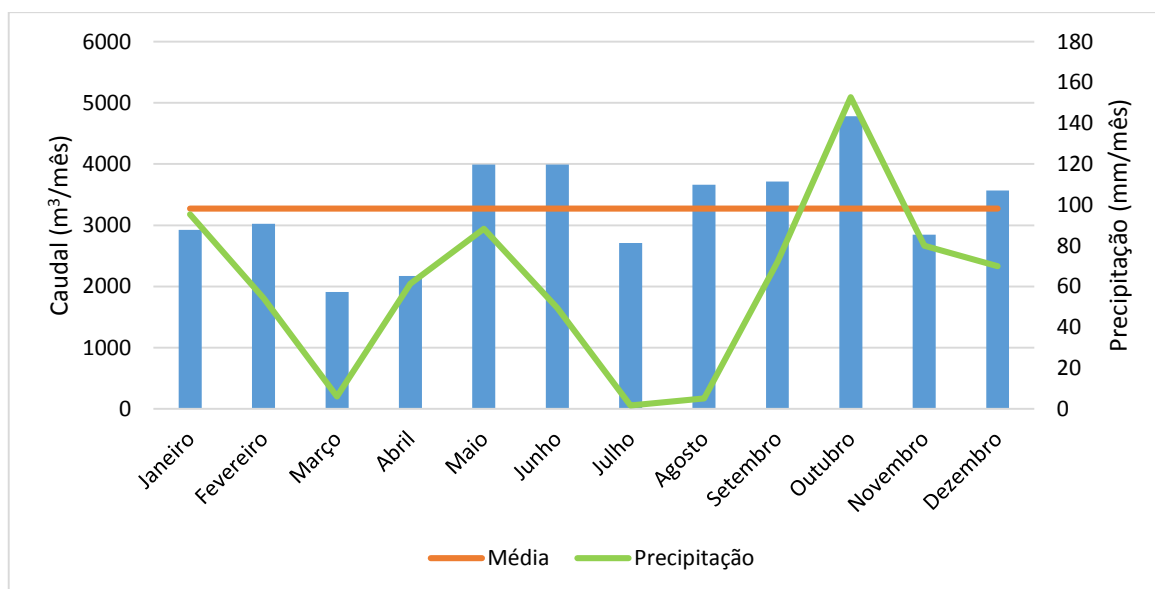


Figura 11: Relação do caudal afluente à ETARI com a precipitação no ano 2015.

Para verificar a influência da precipitação no caudal de entrada na ETARI, foram analisados os dados presentes nos boletins climatológicos mensais do ano 2015, redigidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Estes dados são referentes ao Distrito de Aveiro pelo que, em alguns casos, a precipitação total nas instalações da Bresfor poderá não ser totalmente proporcional ao registado no Distrito. A Figura 11 apresenta a relação entre o caudal registado na ETARI da Bresfor e a precipitação total do Distrito de Aveiro.

Comprando os dados da precipitação com os dos caudais, verifica-se que existe uma relação entre estes já que em meses mais chuvosos o caudal é maior do que em meses em que a precipitação registada é menor. Por exemplo, no mês de outubro registou-se o pico de precipitação, e também o caudal atingiu o valor mais elevado do ano. Não obstante, em alguns meses verifica-se uma pequena divergência entre estes dados, podendo este facto estar relacionado com a variação da produção das fábricas.

Capítulo 6

Proposta de instrumentação e automação da ETARI

A estação de tratamento de águas residuais da Bresfor apresenta as seguintes etapas:

- **Zona de retenção:** sendo esta composta por três tanques. O tanque de receção, que é o ponto de entrada de todo o efluente para a ETARI. O tanque de equalização, onde se igualizam os nutrientes necessários para o tratamento e, por último, o tanque de emergência usado em situações anormais;
- **Tratamento biológico:** ocorre o tratamento biológico seguindo o processo “*Modified Ludzack-Ettinger*” (MLE), onde existe um tanque anóxico e um tanque aeróbio;
- **Decantação:** zona onde ocorre a sedimentação das lamas biológicas, permitindo a separação do clarificado;
- **Recuperação de água:** onde é filtrado o clarificado e armazenada a água depois de concluído o seu tratamento;
- **Processamento de lamas em excesso:** zona onde ocorre o espessamento e desidratação mecânica das lamas em excesso.

Neste capítulo é, inicialmente, apresentado o modelo atual de funcionamento da ETARI da Bresfor. De seguida serão discutidos os problemas presentes na estação e possíveis soluções. Finalmente, será explicada a proposta de automação, resultante deste trabalho, e, de seguida, serão apresentados os parâmetros de controlo.

6.1. Instrumentação e controlo atual da ETARI

A ETARI recebe todos os efluentes, por gravidade, maioritariamente através de caleiras , águas pluviais e águas de lavagens. Todos estes fluxos de água ao chegarem à ETARI sofrem um pré-tratamento com vista à remoção de sólidos grosseiros e de areias. Esta remoção é feita por cestos-filtros colocados estrategicamente no fim das caleiras, sendo estes limpos regularmente por um operador.

Todos os efluentes das fábricas são encaminhados para a zona de retenção (Figura 12), sendo que numa situação normal estes são encaminhados para o tanque de receção através das caleiras. No entanto, quando há efluentes com elevada carga poluente (resultantes de lavagens dos tanques e/ou de derrames), estes são desviados para o tanque de emergência através de uma válvula manual. Neste caso, o efluente é analisado no laboratório e, dependendo do resultado da análise, procede-se ao doseamento do efluente, do tanque de emergência, através da bomba P-5 para o tanque de receção. Tanto o tanque de receção como o tanque de emergência possuem bóias de nível que atuam nas bombas, e bombeiam o efluente. No caso do tanque de receção, a bomba P-4 pára quando se atinge um nível mínimo de efluente no tanque, o mesmo acontece no tanque de emergência mas em relação à bomba P-5. Ambos os tanques, de receção e de emergência, são tanques sem agitação e com separadores para facilitar a decantação de sólidos.

Uma vez que todos os efluentes industriais da Bresfor são deficitários (para o tratamento biológico) em fósforo, este nutriente é adicionado sob a forma de ácido fosfórico no tanque de receção (com vista a atingir o rácio ideal). Para isto, é efetuada uma análise regular ao efluente com vista a determinar a necessidade de adição de fósforo. De seguida, mediante o resultado da análise, um operador desloca-se à instalação onde tem de regular manualmente a bomba de dosagem de ácido fosfórico.

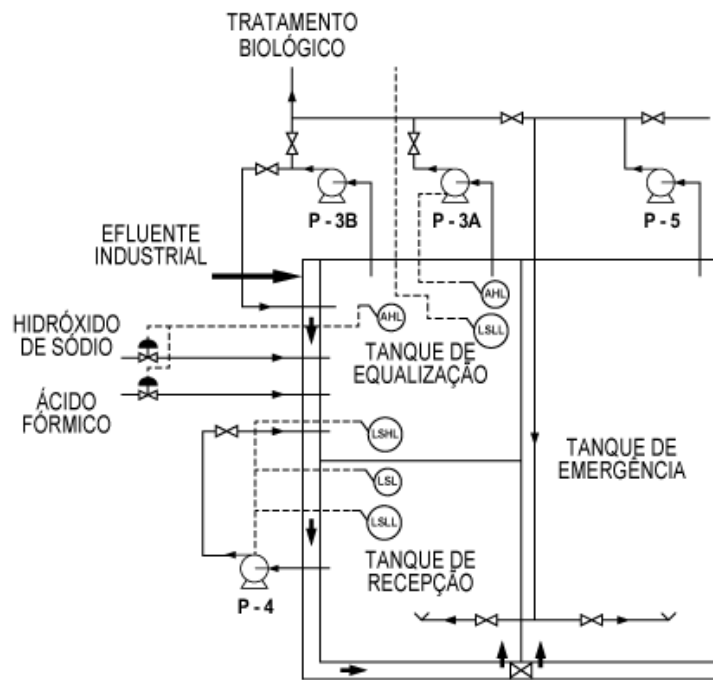


Figura 12: Zona de retenção composta por tanques de recepção, equalização e emergência.

O conteúdo do tanque de recepção é transferido lentamente, através da bomba P-4, para o tanque de equalização. Neste tanque o efluente é homogeneizado com ar comprimido e é corrigido o pH, utilizando-se como base o hidróxido de sódio e como o ácido fórmico, para a gama de valores pretendida. Embora o valor médio de pH do efluente seja entre os 7 e 9, devido à auto-neutralização os valores extremos podem ser inferiores a 3 ou superiores a 10,5. Por isso, são empregadas soluções - ácida e alcalina - que permitem manter o valor de pH no efluente entre os 6 e 8. De modo a acertar corretamente o pH existe um sensor ligado a um controlador que avalia a necessidade de adição de ácido ou soda, sendo este acerto feito de modo automático por electroválvulas, que abrem durante uns segundos. Estas voltam a abrir passado uns minutos, permitindo uma correta leitura do sensor, uma vez que é garantida uma homogeneização feita pela bomba P-3B que faz a recirculação do efluente. Assim que o pH esteja dentro da gama pretendida, o efluente é bombeado pela P-3A para o tanque anóxico, passando por um contador. Caso o tanque de equalização atinja o limite máximo de nível, a bomba P-4 para automaticamente. Já a bomba P-3A para quando o tanque de equalização atinge o nível mínimo admissível ou quando o efluente não se encontra dentro da gama de pH ótima.

O tratamento biológico (Figura 13) efetuado na ETARI da Bresfor utiliza lamas ativadas, aplicando o processo “*Modified Ludzak-Ettinger Process*” (MLE). Com base neste modelo (ver Secção 5.1), a presença de nitratos no tanque anóxico é garantida pela recirculação do efluente do tanque aeróbio, já nitrificado, bem como pela recirculação de lamas. A circulação entre os dois tanques, anóxico e aeróbio, é mantida pelas bombas BE2 e BE3 no sentido anóxico-aeróbio, e pela ação da gravidade, através de uma válvula no sentido aeróbio-anóxico. A agitação no anóxico é mecânica e é garantida por um agitador submersível de modo a não introduzir oxigénio no sistema.

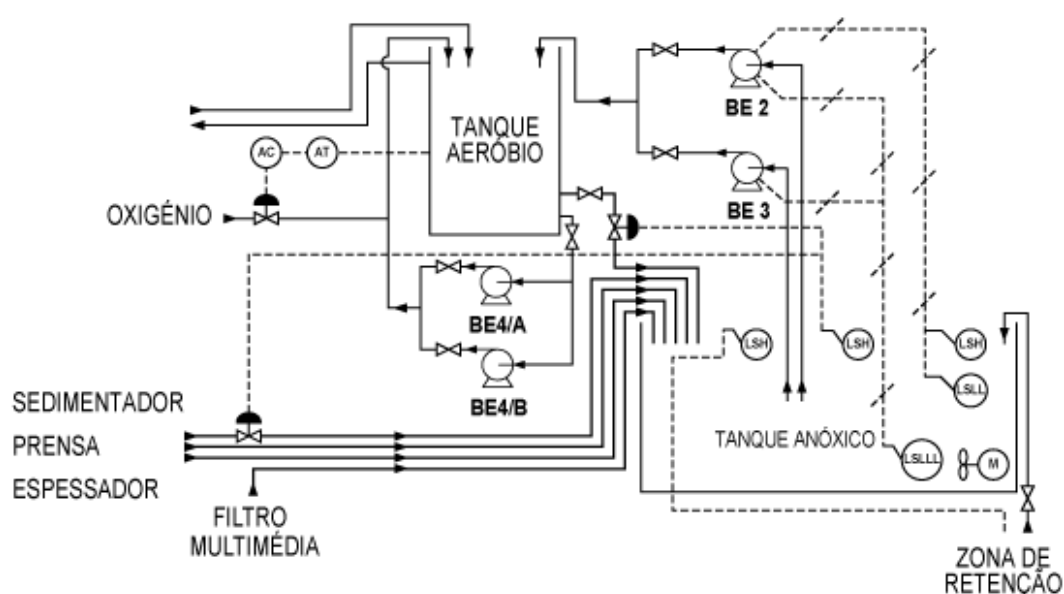


Figura 13: Tratamento biológico Ludzak-Ettinger modificado.

No tanque anóxico existem bóias de nível que atuam sobre as bombas BE2 e BE3. Habitualmente, apenas a bomba BE2 está em funcionamento. No entanto, quando o nível do tanque anóxico ultrapassa um limite pré-definido é ligada a bomba BE3 por forma a aumentar o caudal de saída. De forma inversa, quando o nível desce abaixo do limite mínimo as bombas são desativadas. Quando o limite máximo deste tanque é atingido, a bomba P-3A é desativada e as válvulas das correntes de recirculação (do tanque aeróbio e das lamas ativadas) são fechadas.

O tanque aeróbio possui um sistema de arejamento e homogeneização constituído por um conjunto de bombas de injeção, a BE 4/A e a BE 4/B, de efeito *venturi* que fornecem

oxigénio puro, armazenado num tanque isolado. Com vista a reduzir o consumo de oxigénio líquido, existe um sistema de sucção de ar atmosférico, aspirando-se o mesmo através de uma tubagem para sucção de ar pelos hidro-injetores do sistema de recirculação de lama biológica, com uma válvula de acionamento pneumático controlada pela sonda de oxigénio dissolvido. Apenas se utiliza oxigénio puro quando os níveis de oxigénio dissolvido, no tanque aeróbio, se encontram abaixo do *setpoint* definido. Com a subida do nível do tanque aeróbio, o conteúdo deste é conduzido para o sedimentador por gravidade.

No sedimentador (ver Figura 14) ocorre a sedimentação gravítica dos sólidos suspensos, o que permite a separação dos flocos biológicos do efluente tratado, denominado por clarificado. O licor biológico cai para o centro do sedimentador por gravidade e os flocos biológicos, por terem peso suficiente, acumulam-se na base do sedimentador. As lamas sedimentadas são recirculadas para o tanque anóxico por gravidade e, periodicamente, o seu excesso é removido para o espessador. Já o clarificado transborda e é armazenado no tanque de clarificado.

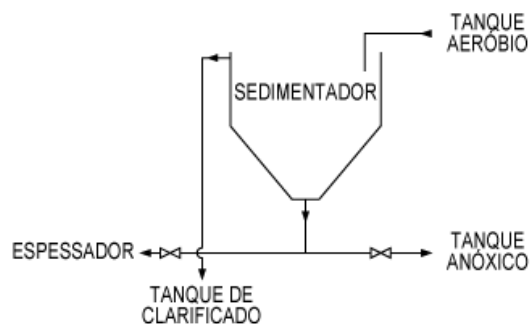


Figura 14: Zona de decantação onde ocorre a sedimentação das lamas.

O tanque de clarificado (ver Figura 15) é um reservatório que está equipado com duas boias, sendo uma de nível mínimo que protege as bombas de serviço, desligando-as quando o limite é atingido, e outra de nível máximo que serve somente de alarme. À saída do reservatório de clarificado, as bombas A e B de pressurização são responsáveis por enviar o efluente tratado até ao filtro multimédia onde serão removidos os sólidos em suspensão. O filtro “multi-meios” é constituído por camadas filtrantes de areia e antracite, com granulometrias descendentes do topo para a base, assim a ação filtrante desenvolve-

se gradualmente, evitando que as partículas de maior diâmetro obstruam-o demasiado cedo.

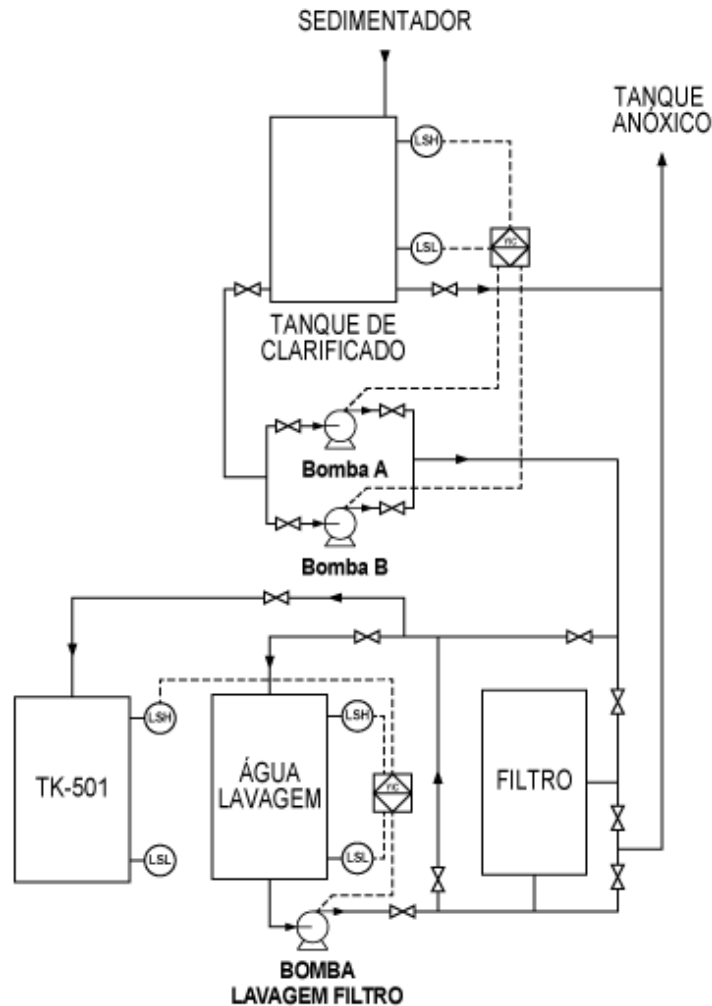


Figura 15: Zona de recuperação da água composta por tanque de clarificado, filtro e tanques de armazenamento de água.

Após a remoção dos sólidos suspensos, termina o processo de tratamento da água residual e esta é enviada para o tanque 501, onde é armazenada e posteriormente reutilizada. No entanto, devido ao deficiente funcionamento do sistema de controlo atual da ETARI (ver Secção 6.2), a água não apresenta características apropriadas para a sua reutilização nos processos da fábrica. Não obstante, uma vez que respeita os parâmetros contratualizados é descarregada diretamente para o coletor municipal.

As lamas em excesso são purgadas do sistema biológico e encaminhadas para o espessador (Figura 16) para, posteriormente, serem submetidas a uma desidratação mecânica utilizando um filtro prensa. Esta remoção é feita por gravidade para o espessador abrindo-se, manualmente, uma válvula na base do sedimentador. As lamas entram no topo do espessador e ficam em repouso até que ocorra sedimentação e espessamento das mesmas. O líquido clarificado retorna para o tanque anóxico e as lamas espessadas são retiradas, pela base do espessador, para o filtro prensa utilizando as bombas BL2 e BL3. As lamas espessadas entram no filtro prensa e o excesso de água resultante da desidratação é descarregado no tanque anóxico. Entre as placas do filtro fica o bolo de lamas, que é posteriormente encaminhado para tratamento em entidades credenciadas para o efeito.

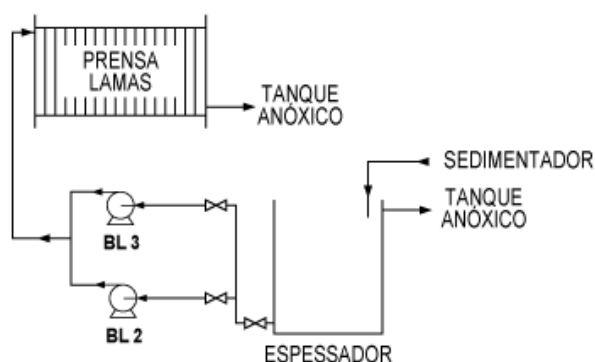


Figura 16: Zona de processamento de lamas em excesso com espessador e prensa de lamas.

6.2. Definição do problema

A ETARI da Bresfor apresenta problemas hidráulicos relacionados com a capacidade das bombas. Com o objetivo de perceber melhor e solucionar este problema, foi realizado o balanço de massa apresentado no Anexo C. Com base na análise da Figura 17 e da Tabela 10, percebe-se que existe um estrangulamento do processo causado pelas bombas localizadas à saída do tanque de clarificado. A capacidade máxima destas bombas é de $7 \text{ m}^3/\text{h}$, no entanto foi medido o caudal atual e verificou-se que este era apenas $3,7 \text{ m}^3/\text{h}$, devido às perdas de carga, o que causa muitas vezes transbordo nos órgãos que precedem estas bombas.

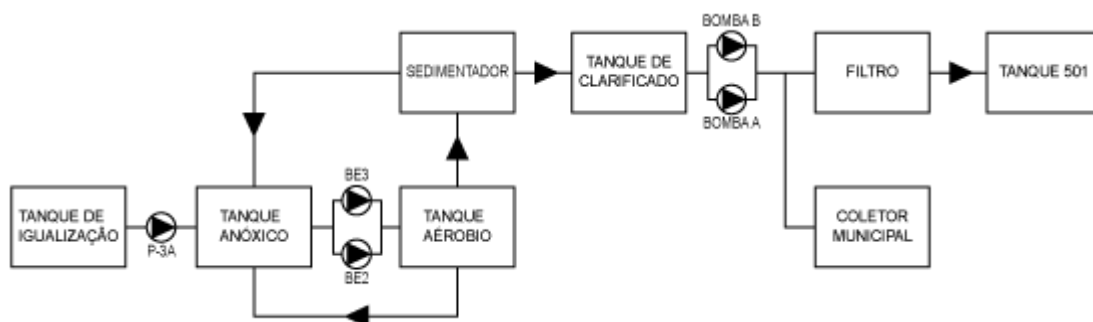


Figura 17: Esquema simplificado do caudais da ETARI

Tabela 10: Caudal das bombas existentes na ETARI

Bomba	Caudal (m ³ /h)
P-3A	16
BE2	60
BE3	60
Bomba A	3,7
Bomba B	3,7

Outro problema que a ETARI da Bresfor enfrenta está relacionado com o facto o pH do licor biológico do tanque aeróbio baixar drasticamente de uma forma descontrolada e imprevisível, o que pode causar problemas graves no tratamento e, em casos extremos, a inatividade dos microrganismos.

Pela análise da Figura 18, e considerando que para valores de pH inferiores a 6,8 se regista uma diminuição do desempenho do tratamento biológico (detalhado na Secção 5.1), verifica-se que, apesar de os valores médios estarem acima deste valor, o desvio padrão deste parâmetro apresenta valores significativos. Para além disso, os resultados apresentados representam apenas as medições feitas pelo laboratório da Bresfor (semanalmente), no entanto um operador por turno é responsável por fazer a medição (três vezes por dia) e atuar, conforme necessário para regular o pH, minimizando as flutuações deste parâmetro.

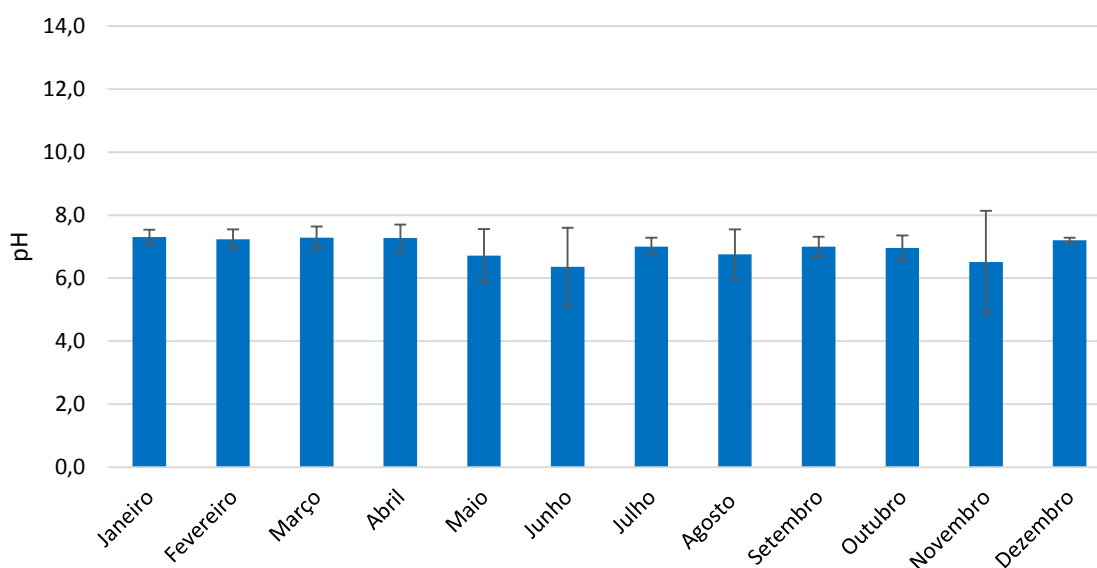


Figura 18: Valores médios mensais do pH no tanque aeróbio durante o ano 2015.

Em situações de emergência o sistema poderá não ter capacidade para remoção dos nitratos, o que poderá significar excedências do VLE. Estas situações verificam-se, por exemplo, aquando das descargas de ureia. Analisando a Figura 19 verifica-se que os valores de nitratos monitorizados apresentam desvios padrão bastante elevados devido a estas situações anómalas.

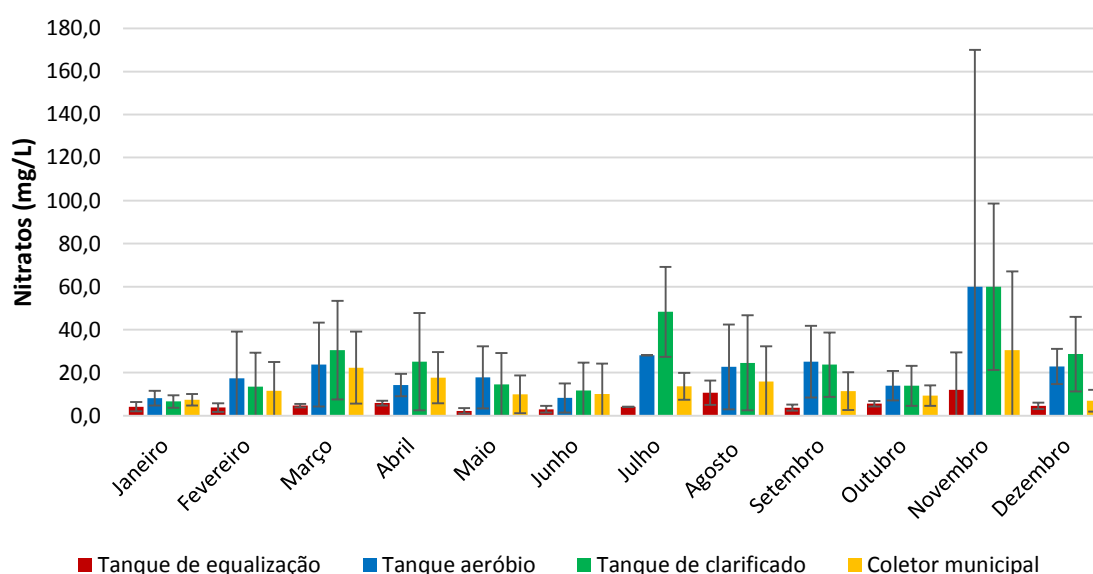


Figura 19: Valores médios mensais de nitratos em vários pontos da ETARl, durante o ano de 2015.

Em suma, apesar de a água ter as características próprias para ser descarregada no coletor, estas não são apropriadas para ser reutilizada nos processos da empresa.

6.3. Proposta de modelo de automatização

Atualmente a Bresfor envia as águas residuais através de caleiras que descarregam, normalmente, no tanque de receção. Uma vez que o formaldeído é um contaminante destas águas residuais, que apenas se encontrará presente em situações anómalas, uma solução para se detetar contaminações seria instalar um analisador de formaldeído, em contínuo, na caleira de entrada da ETARI. Dependendo do valor da concentração de formaldeído analisado, a água residual seria enviada para o tanque de emergência ou para o tanque de receção. O objetivo é que a seleção do tanque seja automatizada e, caso o efluente apresente uma elevada carga orgânica, seja desviado para o tanque de emergência. Para isso, sugere-se a instalação na entrada dos tanques de receção e emergência de uma válvula on/off utilizando um controlo de ação dupla para controlar estas válvulas.

O controlo de ação dupla é utilizado quando se pretende controlar mais do que uma válvula, recorrendo apenas a um controlador. Para isto, é necessário configurar as válvulas para que tenham um comportamento inverso. Neste caso, utilizando um analisador de formaldeído em contínuo é definido um *set-point* para a concentração máxima em que o controlador envia um sinal de fecho à válvula instalada na entrada do tanque de receção. A válvula do tanque de emergência, estando configurada para ter um comportamento inverso, interpretará esse sinal como ordem de abertura.

De forma a evitar o transbordo do tanque de equalização, sugere-se a instalação de um controlador de nível ultrassónico que atuará sobre a válvula instalada à entrada do tanque fechando-a assim que se atinja o nível máximo do órgão. A Figura 20 mostra o esquema do controlo proposto para a zona de retenção.

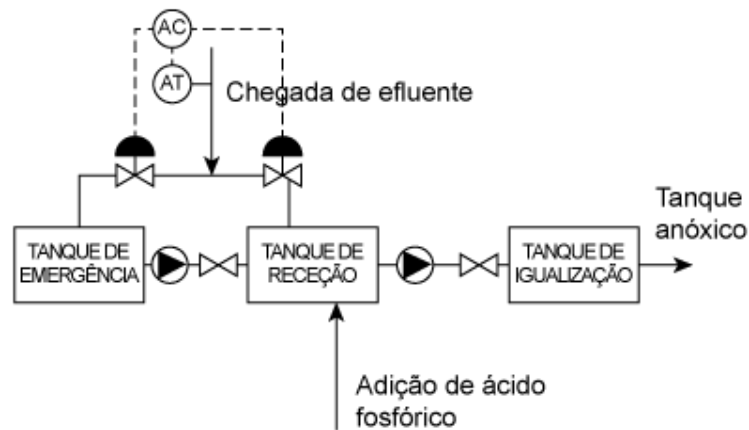


Figura 20: Esquema P&ID proposto da zona de retenção.

O tratamento biológico é constituído por um tanque anóxico e um tanque aeróbio com capacidades volumétricas de 96,8 m³ e 800 m³, respetivamente. Na linha de bombagem, entre a zona de retenção e o tratamento biológico, sugere-se a instalação de uma válvula reguladora de caudal e de um medidor de caudal. Como referido anteriormente, a água residual da Bresfor é caracterizada por ter um elevado teor de azoto orgânico, sendo que a conversão deste em nitratos ocorre no tanque aeróbio. Neste caso, o tanque aeróbio não é um ponto crítico do processo devido ao seu elevado volume, que se traduz num elevado tempo de residência garantindo que a nitrificação ocorre, caso não haja falhas de admissão de oxigénio ou carga orgânica excessiva. Os nitratos gerados nesta etapa devem de ser eliminados no tanque anóxico, no entanto este pode não ter volume suficiente para que a desnitrificação ocorra, traduzindo-se isto numa ineficiência do processo podendo levar a valores de descarga de nitratos acima dos VLE (ver Secção 5.3).

Na situação em que os valores limite de nitratos é constantemente ultrapassada, uma possível solução seria o aumento da profundidade do tanque anóxico que se traduziria num aumento do seu volume e, conseqüentemente, num aumento do tempo de residência. Sugere-se também a instalação de um medidor de nível ultrassónico, de mais um agitador submersível e de um medidor de oxigénio dissolvido. Este último, dará informação se a etapa de desnitrificação está a ocorrer corretamente (valores de concentração de oxigénio dissolvido inferiores a 0,5 mg/L) ou se é necessário intervir em alguns parâmetros, tais

como a taxa de reciclo interno, a dosagem de carbono ou fósforo, ou o tempo de residência. A instalação de mais um agitador submersível surge da necessidade de garantir que todo o tanque sofre agitação, o que atualmente não acontece uma vez que um único agitador não consegue garantir uma agitação homogênea por todo o volume. O medidor de nível ultrassónico tem como objetivo regular a válvula localizada na entrada do tanque anóxico, mantendo um nível constante dentro do tanque. Na linha de bombagem das BE2 e BE3, ligação anóxico-aeróbio, sugere-se a instalação de uma válvula reguladora de caudal, a jusante das bombas.

Um dos problemas relacionados com o tanque aeróbio é a queda drástica do pH que poderá levar à inatividade das bactérias. De forma a contornar este problema, sugere-se a instalação de um analisador de pH que dará um alerta na sala de controlo quando o pH for inferior a 6,8. Por último, sugere-se a instalação de um medidor de nível ultrassónico e de válvulas reguladoras de caudal na linha anóxico-aeróbio. O medidor de nível ultrassónico irá atuar sobre a válvula referida, de forma a manter o nível no tanque aeróbio constante. Na Figura 21 pode observar-se o esquema do controlo proposto para esta zona e também para a zona de decantação.

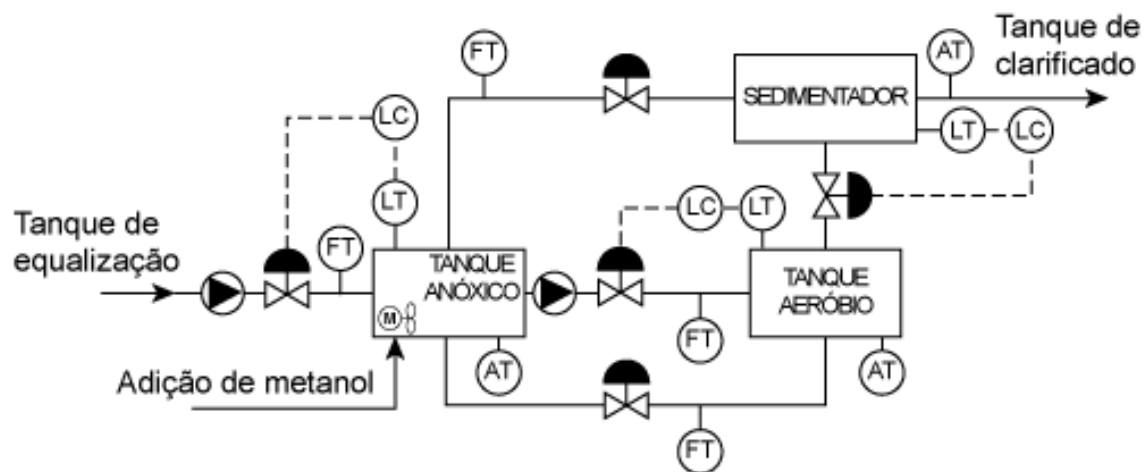


Figura 21: Esquema P&ID proposto nas zonas de tratamento biológico e decantação.

No sedimentador prevê-se a instalação de um medidor de nível ultrassónico, de uma válvula reguladora de caudal e um medidor de caudal na linha aeróbio-sedimentador e uma

válvula reguladora de caudal na linha sedimentador-anóxico. O medidor de nível ultrassónico irá atuar sobre a válvula localizada na linha aeróbio-sedimentador para que o nível seja constante. De referir que, um analisador de nitratos na linha sedimentador-tanque de clarificado é uma mais-valia já que, quando detetar que o valor de nitratos está elevado, ativa um alarme na sala de controlo, e o operador irá atuar da forma a aumentar o tempo de residência no tanque anóxico, promovendo assim a desnitrificação.

O clarificado transborda por uma tubagem para o tanque de clarificado. Nessa tubagem, sugere-se a instalação de um medidor de caudal bem como uma válvula reguladora de caudal. No tanque de clarificado prevê-se a instalação de um medidor de nível ultrassónico que irá atuar sobre a referida válvula evitando assim transbordos.

A alimentação ao filtro é feita por duas bombas que constituem o estrangulamento do processo. Isto significa que, como as bombas apenas conseguem processar cerca de 7,4 m³/h, o caudal de entrada na ETARI fica limitado a esse valor. Apesar de, atualmente, este caudal ser suficiente para tratar a carga média diária das águas residuais produzidas pela Bresfor, no futuro pode existir a necessidade de se trocar as bombas por umas que consigam responder mais eficazmente às necessidades. Assim, sugere-se a instalação de um medidor de caudal.

O objetivo será enviar toda a água do tanque de clarificado para o filtro rotativo, pois este possui uma grande capacidade de processamento. No entanto, o tanque 501 poderá não possuir capacidade suficiente para armazenar toda a água tratada, havendo a necessidade de implementar uma purga no sistema. Assim, sugere-se a instalação de uma válvula reguladora de caudal nas linhas filtro-tanque 501 e filtro-coletor. No tanque 501 sugere-se também a instalação de um medidor de nível ultrassónico que irá atuar sobre as válvulas mencionadas acima. Neste caso, sugere-se um controlo de ação dupla onde o nível do tanque irá comandar, proporcionalmente, a abertura de ambas as válvulas. Na situação em que o tanque atinge o limite máximo, o controlador irá enviar um sinal a cada válvula que o interpretará de forma inversamente proporcional. Com estas modificações garante-se que, quando o tanque 501 estiver cheio, a válvula reguladora de entrada no tanque fecha, e a água tratada que vem do filtro segue para o coletor municipal. As alterações propostas para esta zona encontram-se ilustradas na Figura 22.

Um dos principais objetivos da ETARI da Bresfor é conseguir reutilizar toda a água residual tratada nas torres de refrigeração. No entanto, a água não possui características necessárias para essa reutilização, tanto por causa do filtro não estar a funcionar corretamente, como por não haver um processo de desinfecção da água tratada. O filtro foi substituído recentemente por um filtro rotativo que garante um caudal tratado de 50 m³/h onde a água sai com menos de 15 NTU⁵, característica necessária para a alimentação da água às torres de refrigeração. Para colmatar o problema da desinfecção, sugere-se colocar um sistema de circulação interna da água tratada dentro do tanque 501, que irá possuir uma injeção de hipoclorito por forma a garantir uma correta desinfecção da água. Esta injeção seria controlada por um analisador contínuo instalado na linha, que daria uma ordem à bomba que envia a água para as torres de refrigeração.

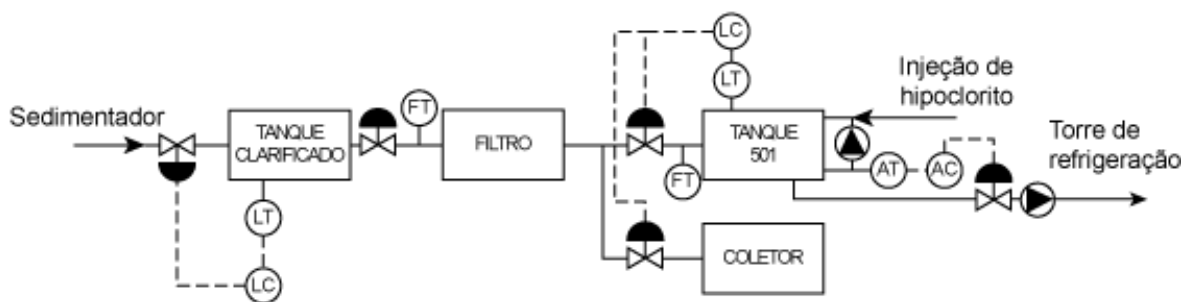


Figura 22: Esquema P&ID proposto da zona de recuperação de água.

Em situações de emergência, como referido na Secção 6.2, o tanque anóxico poderá não ter um tempo residência suficiente para reduzir os nitratos, propõe-se por isso uma solução de emergência de forma a tentar maximizar o processo de desnitrificação. Esta consiste em fechar a alimentação de efluente ao tanque anóxico e utilizar a linha entre o sedimentador – tanque aeróbio, que se encontra instalada mas inativa. Deste modo, consegue-se aumentar o tempo de residência no tanque anóxico, promovendo a desnitrificação. Para que esta tubagem seja utilizada em modo automático, basta instalar uma válvula on/off na linha a reativar, para que o operador possa abrir ou fechar a válvula através da sala de controlo.

⁵ NTU – Unidade de medição da turbidez.

No anexo D está ilustrado o esquema global proposto para o controlo da ETARI da Bresfor. O Anexo E contém a lista de todo o equipamento que é necessário adquirir para a implementação desta proposta. É também apresentado o custo e os fornecedores de cada instrumento neste mesmo anexo. Esta proposta foi analisada e validada pelo diretor da empresa, pela engenheira responsável pela ETARI e pelo engenheiro responsável pela manutenção.

6.4. Parâmetros de controlo

O objetivo da automatização é permitir centralizar todo o controlo no *software* DeltaV onde o operador pode supervisionar o funcionamento da ETARI e atuar quando necessário. Neste *software* é possível observar com detalhe o que está a acontecer em tempo real na unidade de tratamento (ver Figura 23).

Deste modo, e de acordo com o controlo previamente discutido, uma vez que o correto funcionamento da ETARI é garantido de forma automática através dos sensores e controladores instalados, torna-se apenas necessário definir três parâmetros de controlo nos quais o operador poderá atuar. Estes parâmetros de controlo são: caudal de entrada no tanque anóxico, razão de recirculação de licor biológico e razão de recirculação de lamas.

De forma a auxiliar o operador a definir os valores destes parâmetros, a interface apresentada no software de controlo possui informação, atualizada em tempo real, sobre as leituras obtidas pelos vários analisadores instalados. Por último, são também apresentados os valores máximo e mínimo admissíveis, bem como uma gama de funcionamento ideal, para cada parâmetro. Um exemplo de possível interface para este software encontra-se na Figura 23.

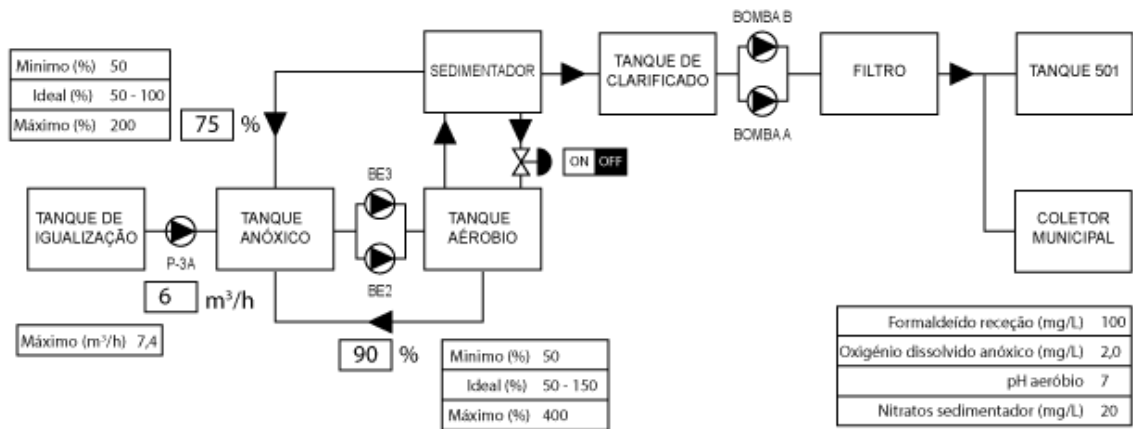


Figura 23: Exemplo de interface do *DeltaV* com o novo esquema de funcionamento da ETARI

Capítulo 7

Conclusões

O presente trabalho, realizado nas instalações da Bresfor – Indústria do Formol S.A., teve como principal objetivo o estudo e melhoria do funcionamento da sua estação de tratamento de águas residuais industriais (ETARI). Não obstante, foram também realizados dois trabalhos, não enquadrados nos objetivos iniciais deste estágio, propostos pelo diretor da empresa. Estes trabalhos, acabaram por se tornar relevantes para um melhor conhecimento da empresa e do seu modo de funcionamento. Tendo também impacto, direto ou indireto, na conclusão dos objetivos iniciais do projeto.

Os trabalhos adicionais consistiram na identificação e quantificação de fugas difusas de formaldeído e no estudo do ciclo de água da empresa, sendo o primeiro um estudo pioneiro e inovador já que foi realizado pela primeira vez na empresa.

O trabalho de identificação e quantificação de fugas difusas – ou emissões de compostos orgânicos voláteis – consistiu em identificar os locais (ou equipamentos) vulneráveis à existência de fugas e, posteriormente, quantificar as mesmas. O método de quantificação utilizado baseou-se no protocolo EPA 21 *“Determination of Volatile Organic Compound Leaks”* [2] desenvolvido pela *“Environmental Protection Agency”*. Este trabalho acabou por ser de grande importância para a empresa na medida em que permitiu identificar a existência de fugas e perceber a necessidade de intervenção por parte da equipa de manutenção para prevenir as mesmas, permitindo diminuir estas emissões prejudiciais para o meio ambiente.

O estudo do ciclo de água consistiu num estudo detalhado que permitiu identificar locais da empresa onde existem desperdícios ou consumos excessivos de água. Com a proposta feita neste trabalho será possível reduzir o consumo em cerca de 8,5 %, reduzindo também o impacto ambiental associado ao elevado consumo deste recurso natural. Para além do consumo, também a quantidade de água enviada para o coletor municipal e água tratada na ETARI será reduzida em 32,7 % e 29,0 %, respetivamente. Estes decréscimos implicam reduções de custos para a empresa e também redução da carga a ser tratada pela ETARI, traduzindo-se numa beneficiação para esta. Porém, esta proposta deve ser complementada de um estudo económica visando avaliar a sua viabilidade.

Relativamente ao objetivo principal do estágio – o estudo e melhoria do funcionamento da ETARI – este foi cumprido de forma satisfatória. Através do estudo do funcionamento atual da unidade de tratamento de água, foram identificados problemas funcionais relacionados com os caudais, o descontrolo do valor do pH no tanque aeróbio e os elevados valores de nitratos à saída do tratamento. Concluiu-se ainda que a água resultante do tratamento na ETARI não possuía características apropriadas à sua reutilização nos processos da empresa, sendo esta descarregada diretamente no coletor municipal implicando custos acrescidos à empresa.

Com vista ao aproveitamento da água tratada na ETARI da Bresfor, foi proposta a automatização do controlo da unidade com o objetivo de eliminar os problemas relacionados com os caudais e obter informações atualizadas em tempo real sobre o valor do pH e dos nitratos, permitindo controlar estes parâmetros de forma contínua. Tal como mencionado anteriormente, a proposta apresentada foi validada pela direção da empresa. No entanto, à data de conclusão deste estágio, as alterações ainda não estavam concluídas.

A nível pessoal, o projeto desenvolvido permitiu à estagiária desenvolver novas capacidades e consolidar conhecimentos aplicados em contexto empresarial. Vivenciar o ambiente de uma empresa líder no seu mercado traz uma enorme motivação e satisfação para a realização deste projeto.

Bibliografia

- [1] “Foresa - Folheto de Apresentação.” [Online]. Available: http://www.foresa.com/paweb/img/for/pdf_foresa/foresa_pt.pdf. [Accessed: 18-Jan-2016].
- [2] Environmental Protection Agency, “Protocol for Equipment Leak Emission Estimates,” 1995.
- [3] “The Formox™ process.” [Online]. Available: <http://www.formox.com/formox-process>. [Accessed: 15-Feb-2016].
- [4] European Commission, “Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry February 2003,” *Integr. Pollut. Prev. Control*, vol. 1, no. February, pp. 267–289, 2003.
- [5] European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental L, “Diffuse VOC Emissions,” 2000.
- [6] “International Decade for Action ‘Water for Life’ 2005-2015. Focus Areas: Water scarcity.” [Online]. Available: <http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>. [Accessed: 28-May-2016].
- [7] I. Bulatov, F. Friedler, J. Klemes, and P. Varbanov, *Sustainability in the Process Industry: Integration and Optimization*. US: McGraw-Hill Professional, 2010.
- [8] “Cooling Tower Blowdown Treatment Reduces Chemical Costs and Maintains Zero Discharge Standards: Innovative Solutions Using Pall Rochem Technology to Protect the Environment.” [Online]. Available: <http://www.pall.com/main/water-treatment/literature-library-details.page?id=8147>. [Accessed: 12-Feb-2016].
- [9] “RO Pretreatment & RO Recovery: Power Plant RO Reject Reclaim.” [Online]. Available: <http://www.porexfiltration.com/applications/tubular-membrane-app/lime-softening-ro-reclaim/>. [Accessed: 12-Feb-2016].
- [10] C. Adams, D. Aulenbach, Lj. Bollyky, J. Boyd, R. Buchanan, D. Burns, L. Canter, G. Crits, D. Dahlstrom, S. Daniels, F. Dittman, W. E. Jr, R. Gantz, L. G. Jr, B. Goodman, N. Harfouche, Rd. Holbrook, S.-N. Hong, D. Huibers, F. K. Jr, M. Lee, B. Lipták, J. Lipták, D. Liu, F. McGarvey, T. M. Jr, V. Nguyen, J. Rabosky, L. Reuter, B. R.- Ortega, C. Santhanam, E. S. Savage, F. Sebastian, G. Shell, W. Shieh, J. Snell, P. Stavenger, and M. Switzenbaum, “Wastewater Treatment,” in *Environmental Engineers’ Handbook, Second Edition*, CRC Press, 1997.
- [11] N. W. Jern, “Industrial wastewater treatment,” in *London: Imperial College Press*, 2006.
- [12] J. B. White, *Wastewater engineering*, 2nd ed. Edward Arnold London, 1978.

- [13] Metcalf & Eddy Inc, *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*, 4 Edition. 2002.
- [14] J. M. Stubbart, W. C. Lauer, T. J. McCandless, and P. Olson, *Awwa Wastewater Operator Field Guide*. 2006.
- [15] M. H. Gerardi, *Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process*, John Wiley. New York, 2003.
- [16] L. Li, S. Zhang, G. Li, and H. Zhao, "Determination of chemical oxygen demand of nitrogenous organic compounds in wastewater using synergetic photoelectrocatalytic oxidation effect at TiO₂ nanostructured electrode," *Anal. Chim. Acta*, vol. 754, pp. 47–53, 2012.

Anexo A

Evolução temporal dos parâmetros físico-químicos na ETARI

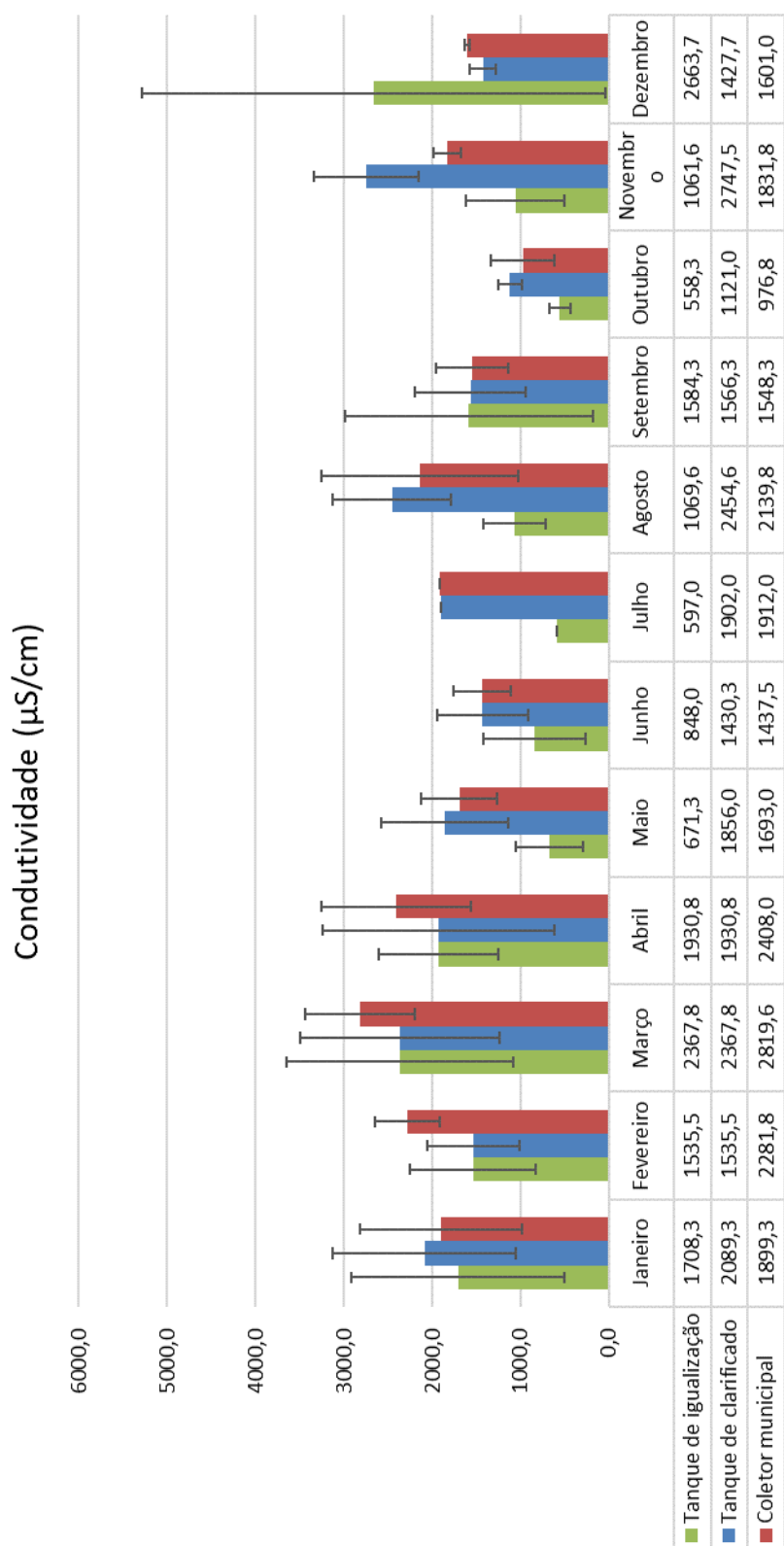


Figura 24: Evolução da condutividade média mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

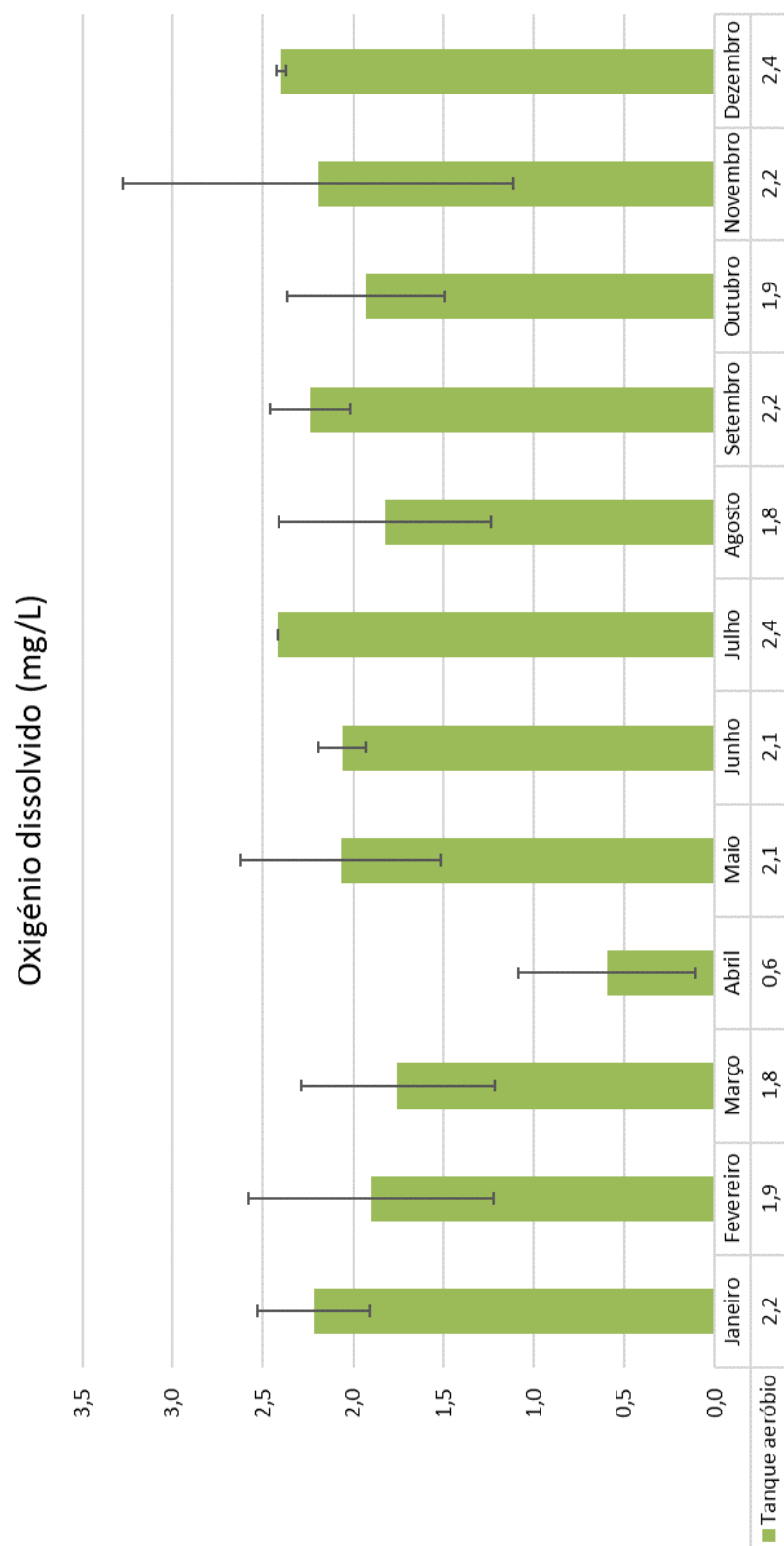


Figura 25: Evolução do oxigénio dissolvido médio mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, no tanque aeróbio da ETARI da Bresfor.

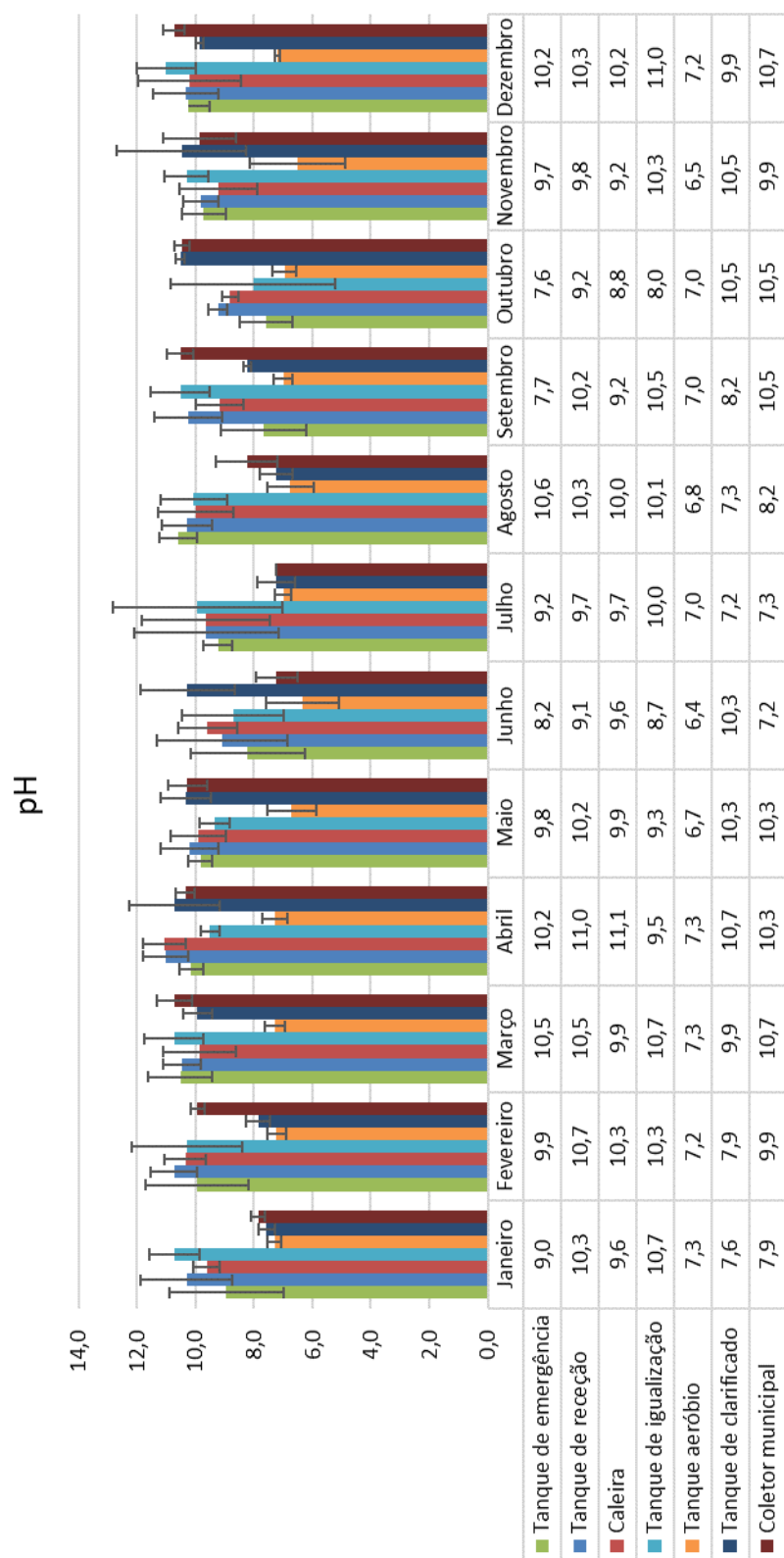


Figura 26: Evolução do pH médio mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

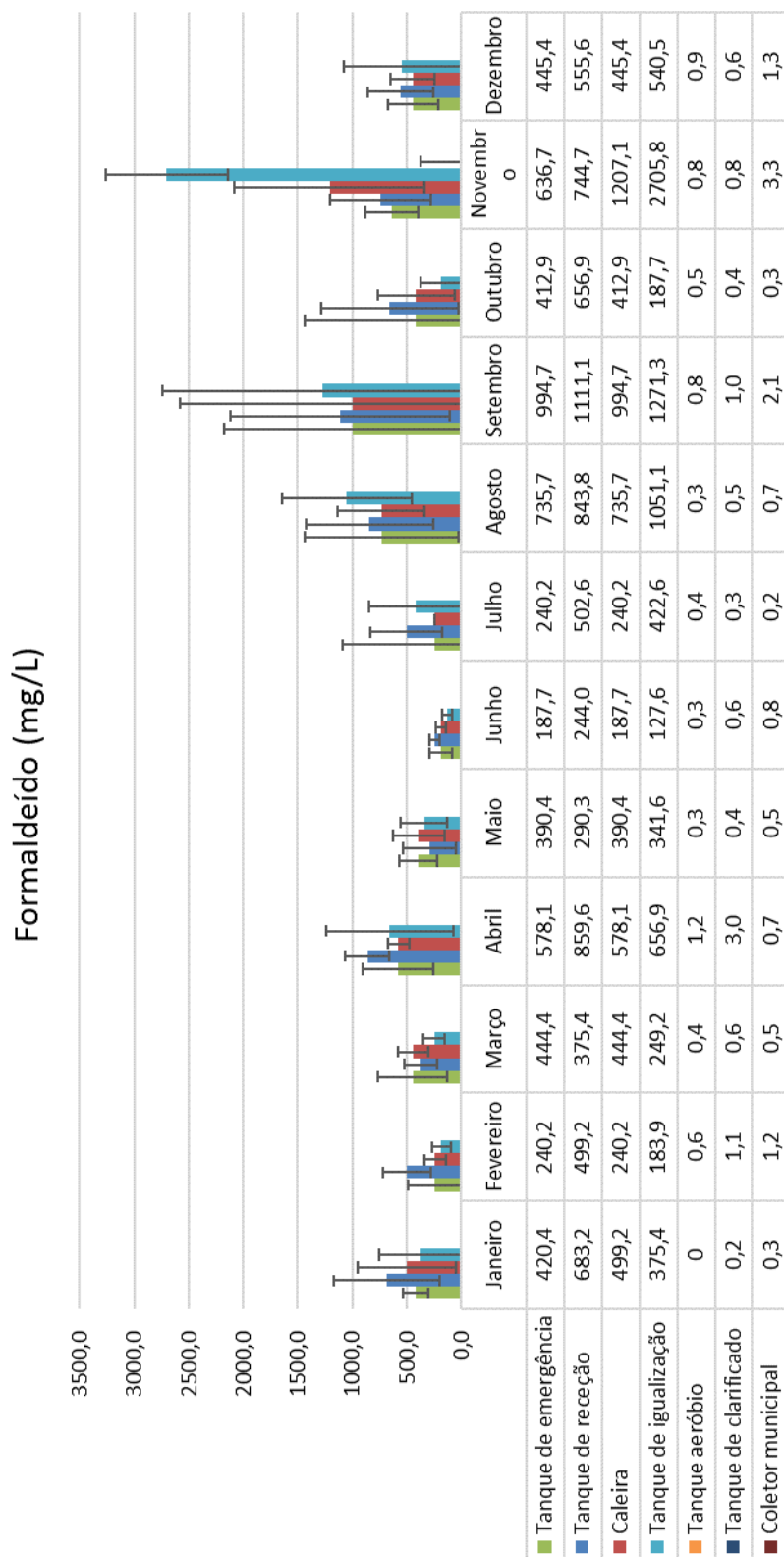


Figura 27: Evolução da concentração média mensal de formaldeído (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

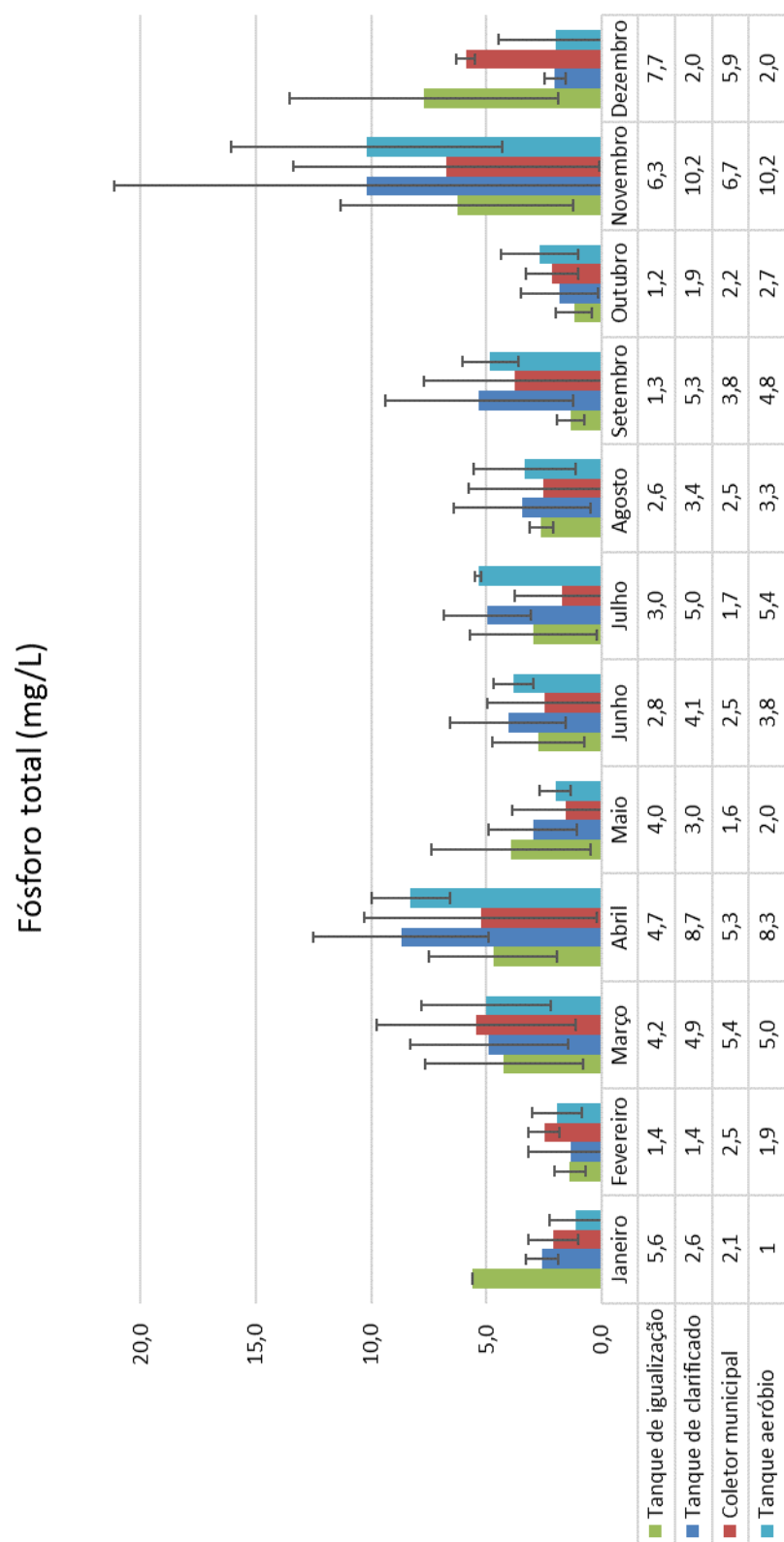


Figura 28: Evolução da concentração média mensal de fósforo total (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

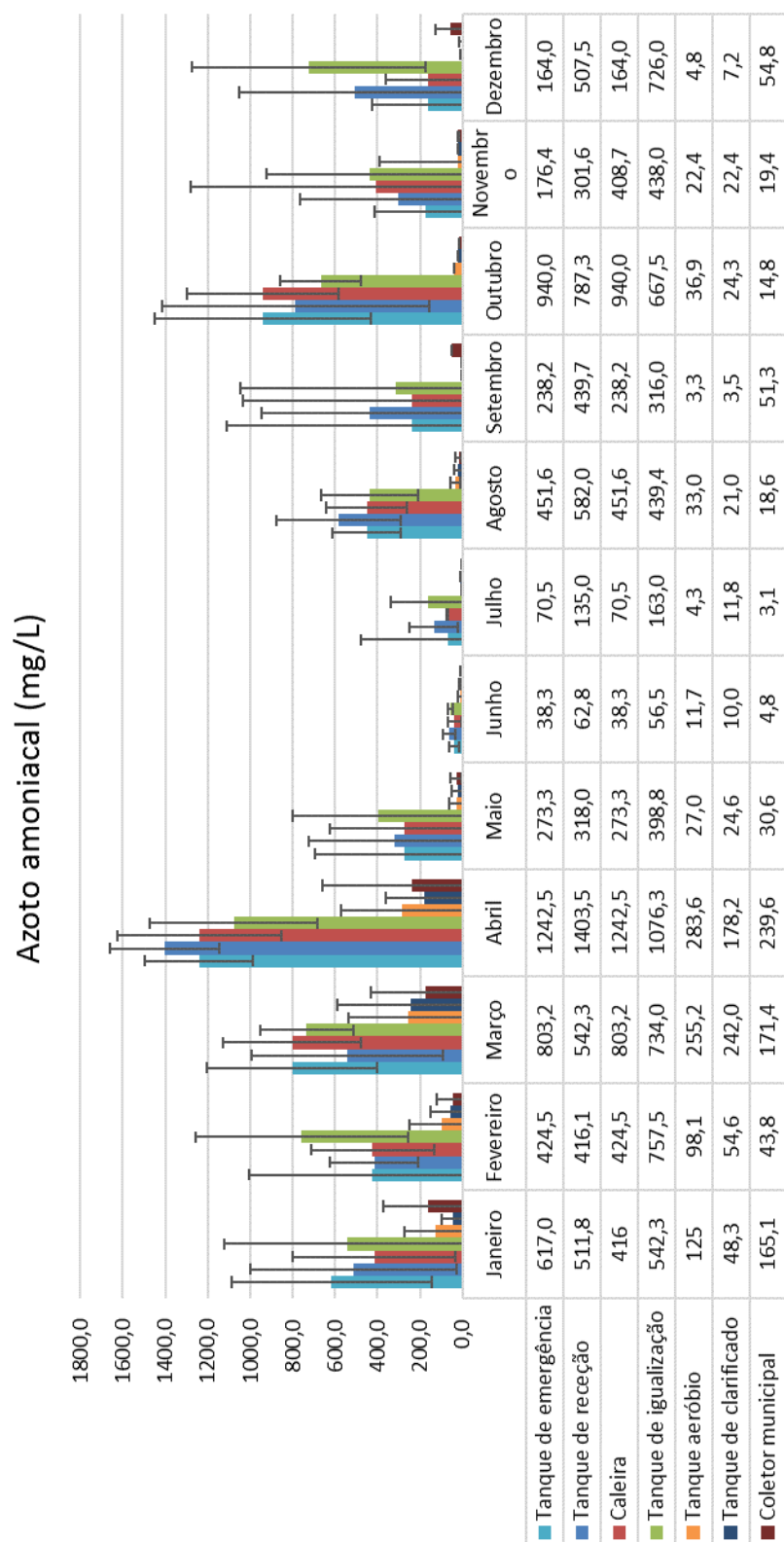


Figura 29: Evolução da concentração média mensal de azoto amoniacal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

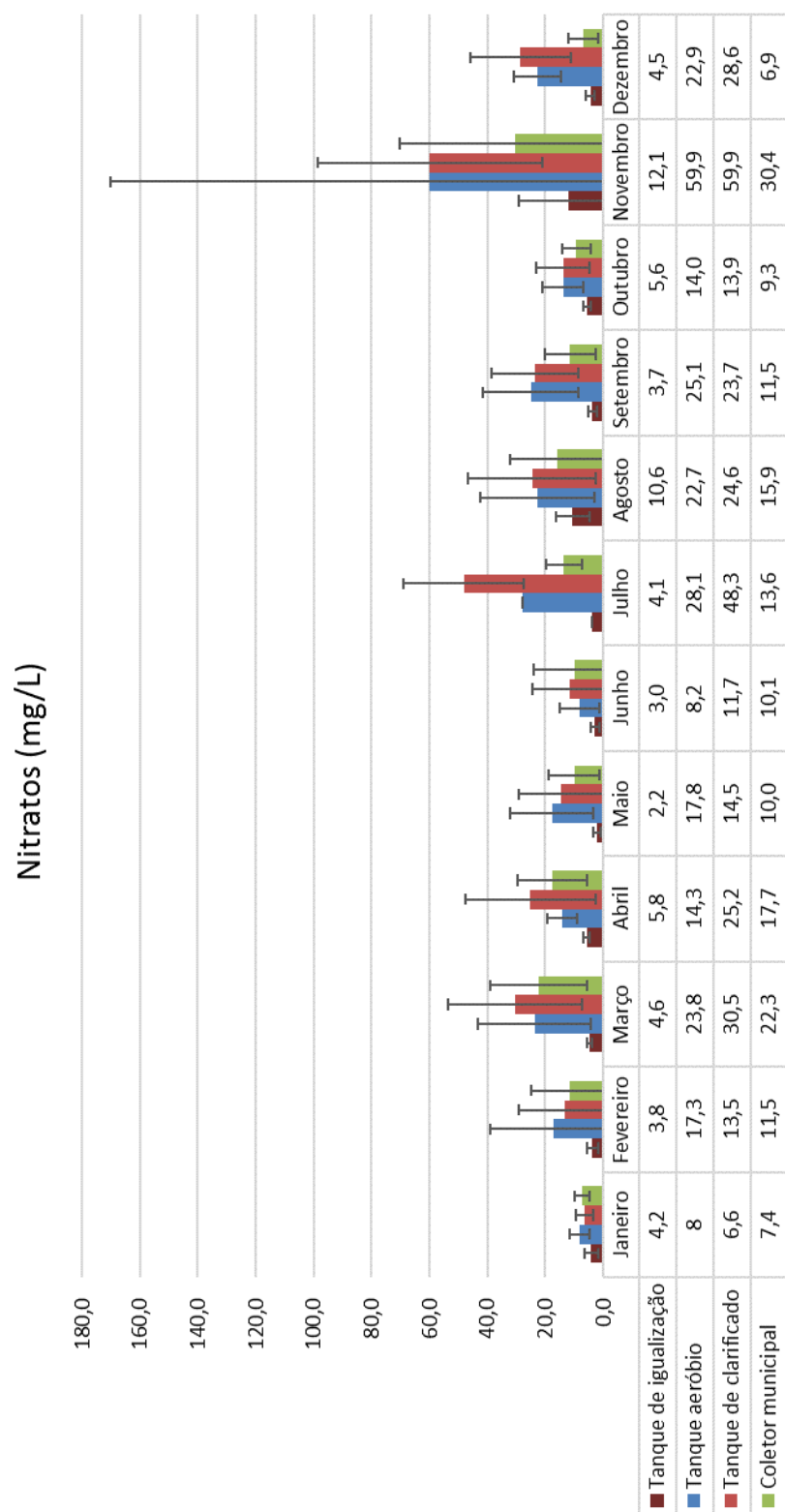


Figura 30: Evolução da concentração média mensal de nitratos (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

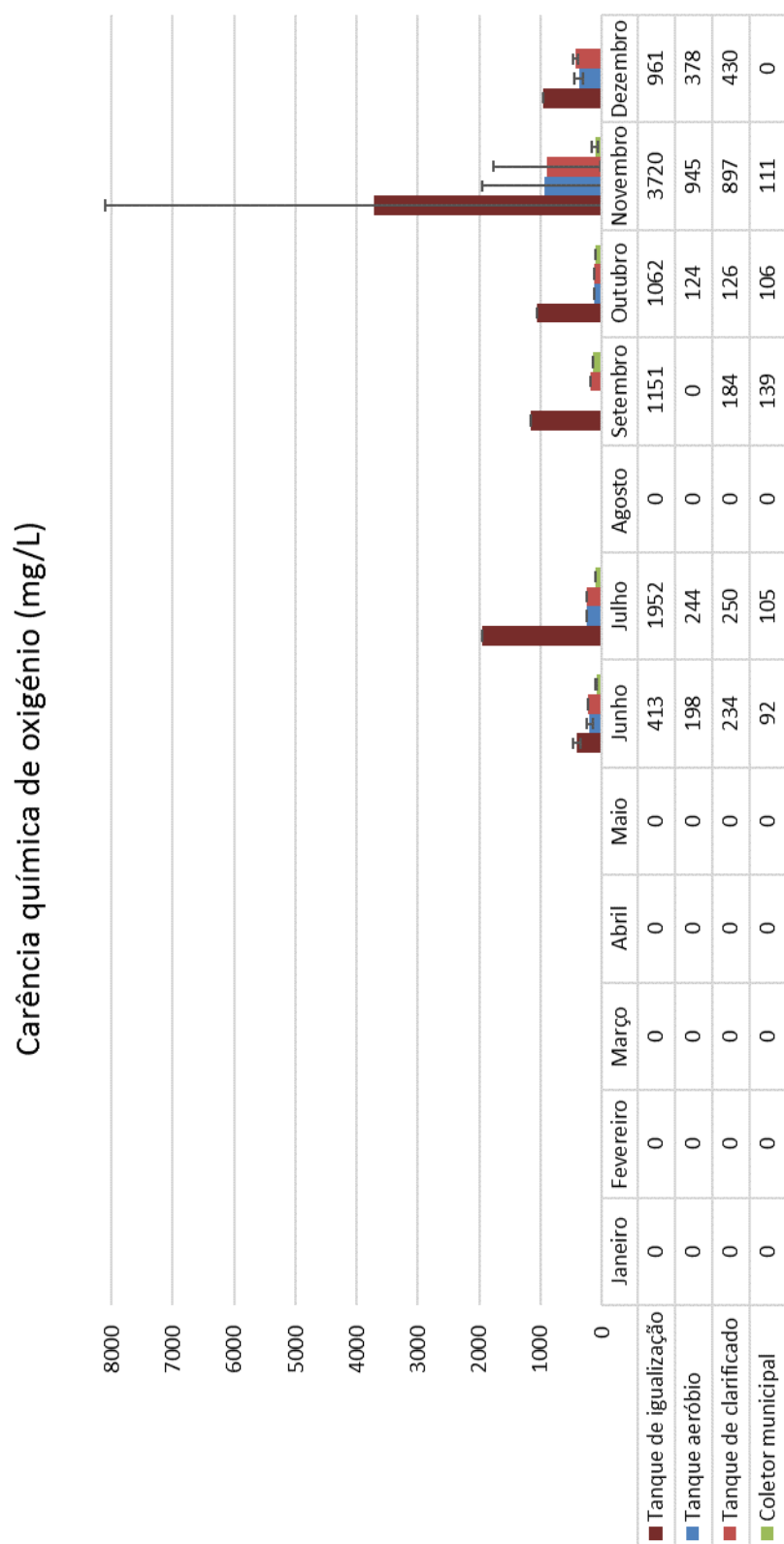


Figura 31: Evolução da carência química de oxigênio média mensal (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

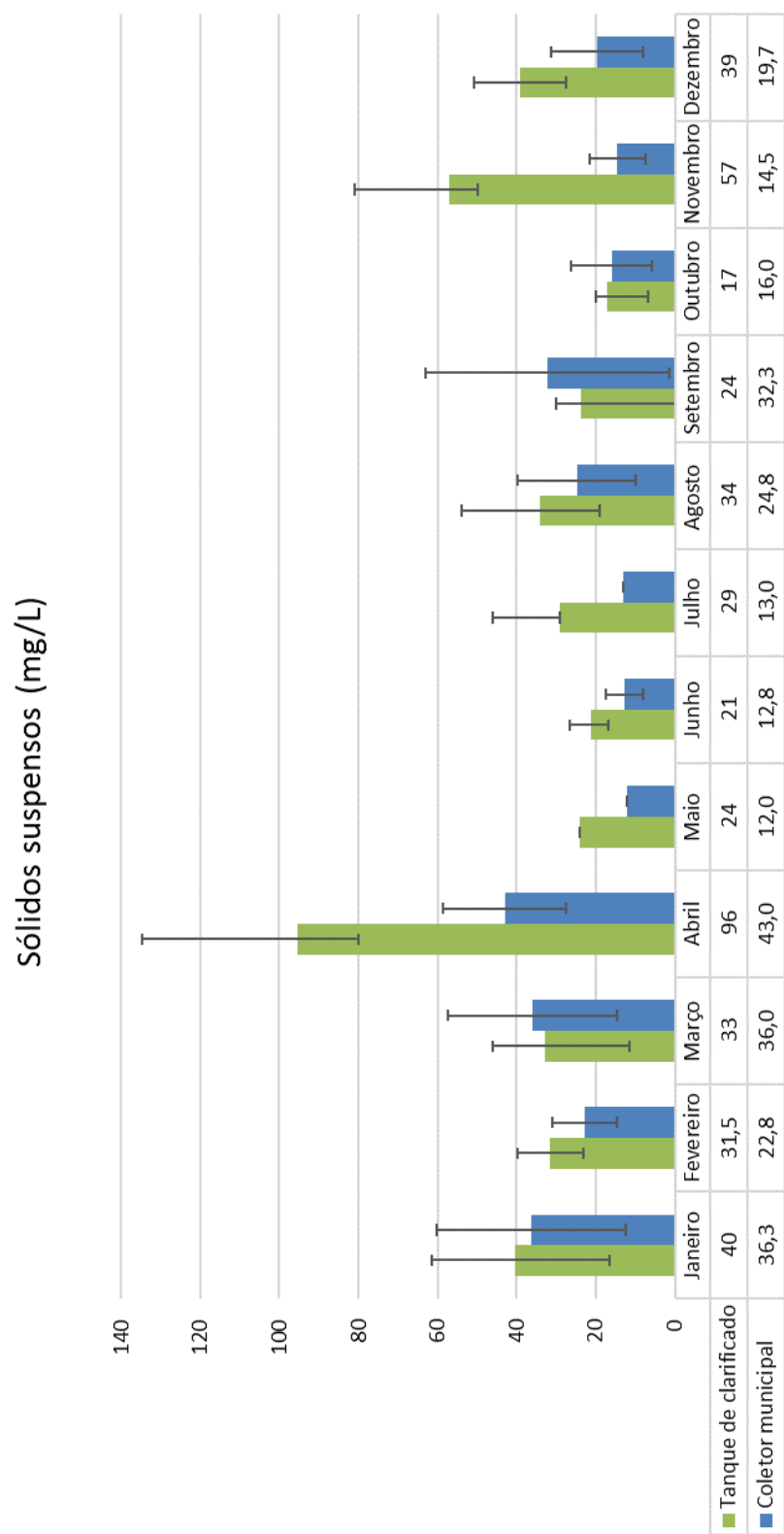


Figura 32: Evolução da concentração média mensal de sólidos suspensos totais (e desvio padrão), durante o ano 2015, em diferentes pontos da ETARI da Bresfor.

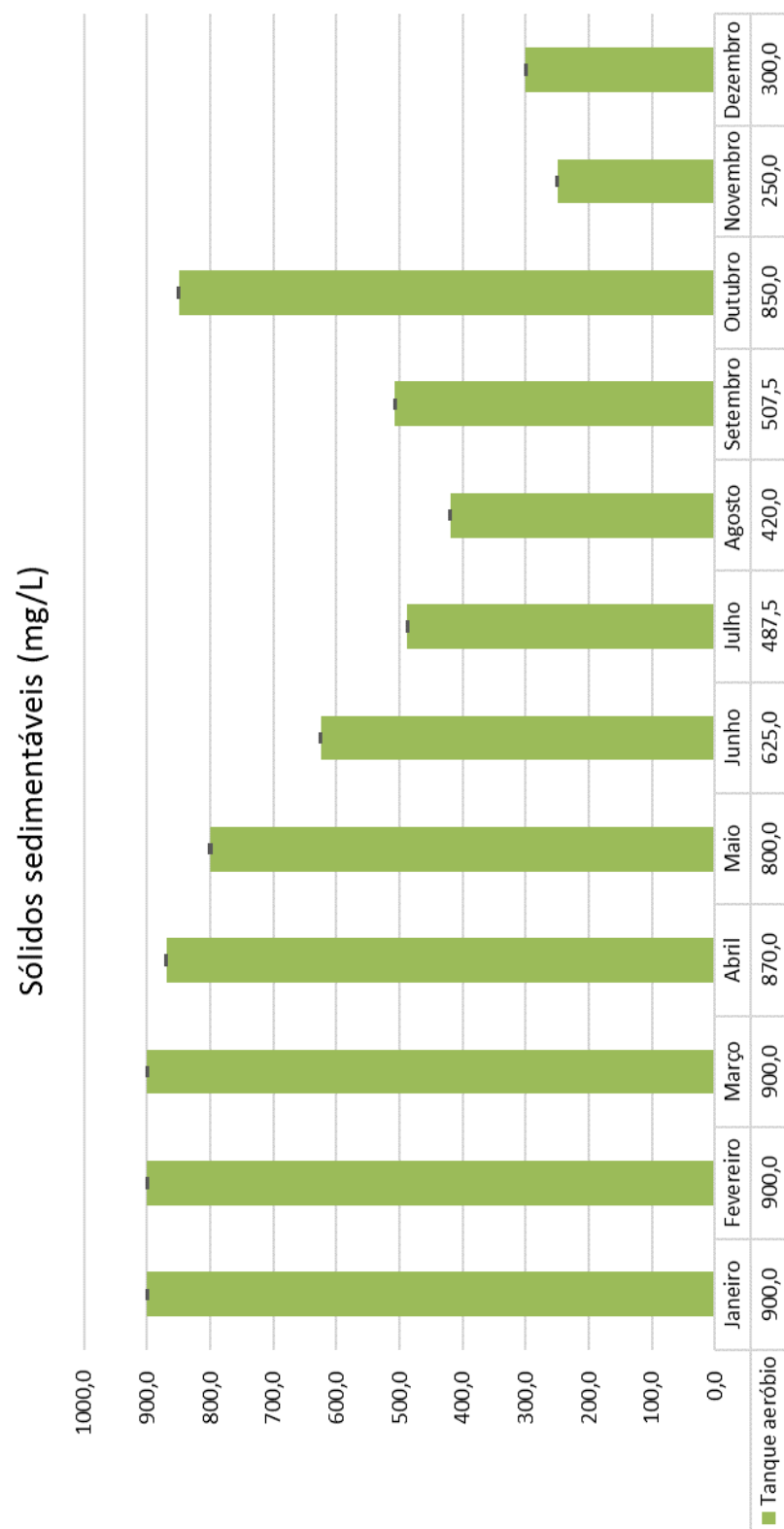


Figura 33: Evolução da concentração média mensal de sólidos sedimentáveis (e desvio padrão), durante o ano 2015, no tanque aeróbio da ETARI da Bresfor.

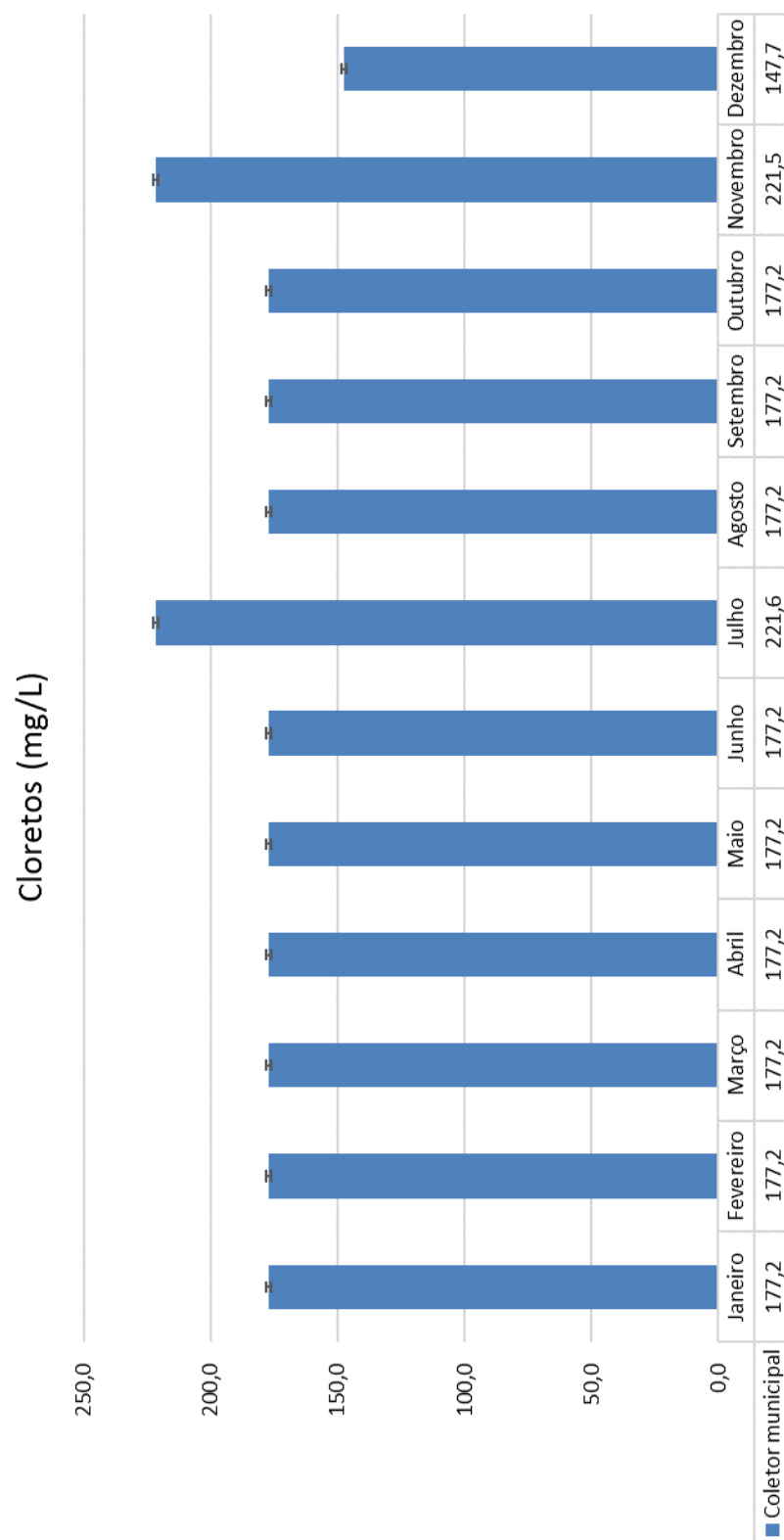


Figura 34: Evolução da concentração média mensal de clorets (e desvio padrão), durante o ano 2015, na água residual ETARI da Bresfor descarregada no coletor municipal.

Anexo B

Plano de monitorização da ETARI

Tabela 11: Plano de monitorização da ETARI. (3D - 3 vezes por dia; 3S - 3 vezes por semana; 5S - 5 vezes por semana)

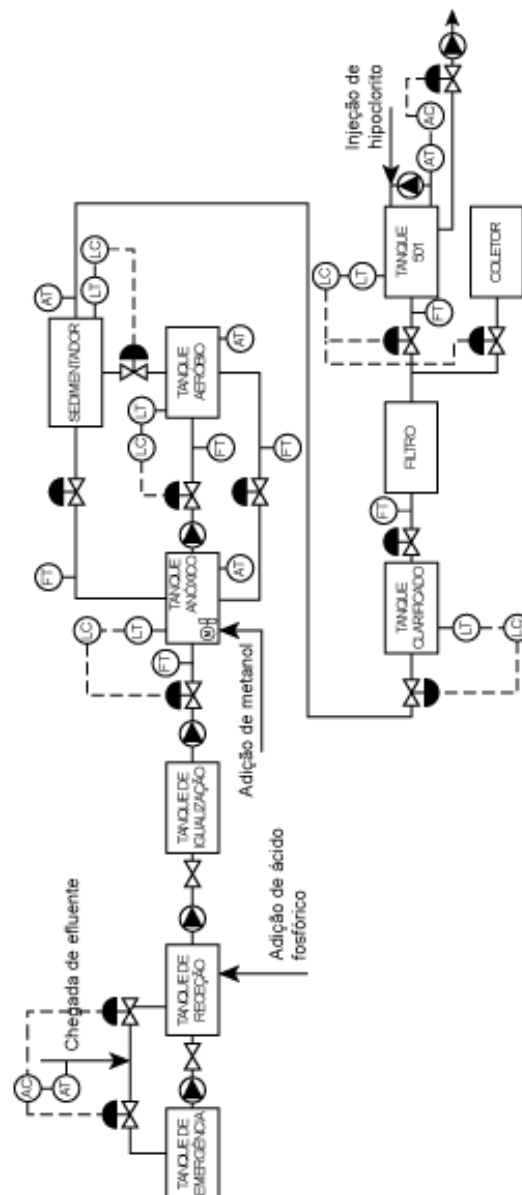
	Caleira	Tanque de emergência	Tanque de receção	Tanque de equalização	Tanque aeróbio	Tanque de clarificado	Coletor municipal
pH	5S	5S	5S	5S	5S	5S	5S
Temperatura (°C)	5S	5S	5S	5S	5S	5S	5S
Oxigénio dissolvido (mg/L)	---	---	---	---	3D	---	---
Condutividade (µS/cm)	5S	5S	5S	5S	---	5S	5S

Tabela 12: Plano de monitorização da ETARI. (3D - 3 vezes por dia; 3S - 3 vezes por semana; 5S - 5 vezes por semana)

	Caleira	Tanque de emergência	Tanque de receção	Tanque de equalização	Tanque aeróbio	Tanque de clarificado	Coletor municipal
CQO (mg O₂/L)	---	---	---	---	---	---	1S
CBO₅ (mg O₂/L)	---	---	---	1S	---	---	---
SST (mg/L)	---	---	---	---	3S	---	---
SSV (mg/L)	---	---	---	---	3S	---	---
Azoto total (mg N/L)	---	---	---	3S	---	3S	3S
Azoto de Kjeldahl (mg/L)	---	---	---	3S	---	3S	---
Azoto amoniacal (mg NH₄/L)	3S	3S	3S	3S	---	3S	3S
Nitratos (mg NO₃/L)	---	---	---	---	---	3S	3S
Fósforo total (mg P/L)	---	---	---	3S	---	3S	3S
Formaldeído (mg CH₂O/L)	3S	3S	3S	3S	---	3S	3S
Cloretos (mg Cl/L)	---	---	---	---	---	---	3S
V30 (mL/L)	---	---	---	---	5S	---	---

Anexo C

Esquema global do P&ID proposto para a automatização da ETARI



Anexo D

Metodologia de cálculo do balanço de massa

Foram assumidos, como pressupostos, que o fluido presente em cada caudal é água, o caudal de entrada no tanque anóxico, a razão de recirculação de licor biológico e a razão de recirculação de lamas.

- Caudal de entrada no tanque anóxico (A): $6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Razão de recirculação de licor biológico: 75%
- Razão de recirculação de lamas: 80%

Na Figura 35 encontram-se representados todos os caudais e equipamentos aos quais foram aplicados os cálculos.

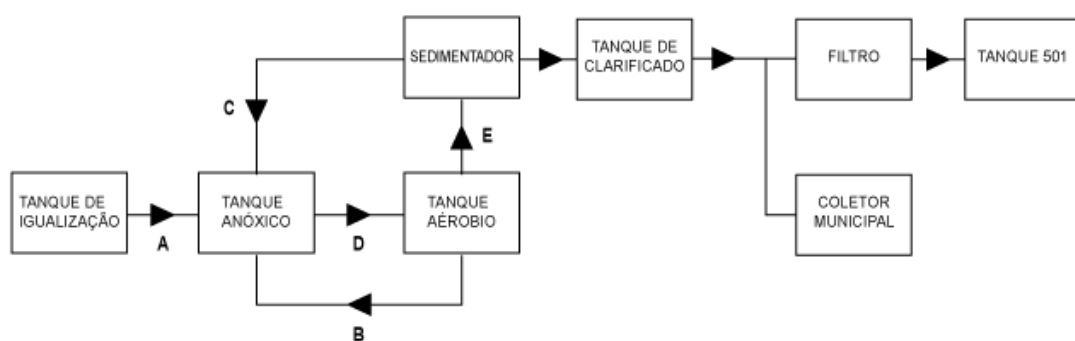


Figura 35: Esquema simplificado da ETARI da Bresfor.

Fazendo um balanço global à ETARI e sabendo que o caudal de entrada no tanque anóxico tem de ser igual ao caudal de clarificado que sai do sedimentador, sabe-se que o caudal de clarificado será de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Sabendo que ambas as recirculações são calculadas com base no caudal de entrada no tanque anóxico, calculam-se os caudais de recirculação de licor biológico (B) e de recirculação de lamas (C).

$$B = 6 \times 0,75 \Leftrightarrow B = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C = 6 \times 0,80 \Leftrightarrow B = 4,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Fazendo um balanço mássico ao tanque anóxico, calcula-se o caudal de entrada no tanque aeróbio (D).

$$D = 6 + 4,5 + 4,8 \Leftrightarrow D = 15,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Fazendo um balanço de massa ao sedimentador, calcula-se o caudal de entrada no mesmo (E).

$$E = 4,8 + 6 \Leftrightarrow E = 10,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Anexo E

Orçamento dos equipamentos para a ETARI

Equipamento	Quantidade	Fornecedor	Preço
Sonda de oxigénio dissolvido (lamas)	1	GlobalÁgua	2.237,90€
Sonda de pH (lamas)	1	GlobalÁgua	958,70€
Medidor de nível ultrassónico (água)	4	GlobalÁgua	2.512,80€
Medidor de nível ultrassónico (lamas)	3	GlobalÁgua	2.651,40€
Válvula reguladora de caudal (água) DN50	4	Valcontrol	3.200,00€
Válvula reguladora de caudal (água) DN 80	2	Valcontrol	2.000,00€
Válvula reguladora de caudal (água) DN 200	1	Valcontrol	3.500,00€
Válvula reguladora de caudal (lamas) DN 80	2	Valcontrol	2.000,00€

Válvula reguladora de caudal (lamas) DN 125	1	Valcontrol	2.500,00€
Válvula reguladora de caudal (lamas) DN 300	1	Valcontrol	6.000,00€
Agitador submersível (lamas)	1	Sulzer	2.500,00€
Sistema de desinfecção hipoclorito e bomba de recirculação (água)	1	Prominent	7.500,00€