Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento

Ano 2010

Tânia Filipa Antunes Martins

Avaliação da capacidade de tratamento do processo LFT

Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento

2010

Tânia Filipa Antunes Martins

Avaliação da capacidade de tratamento do processo LFT

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

"Água é vida, é o caldo salgado das nossas origens, o sistema circulatório do planeta. Ancoramos as nossas civilizações nas margens dos oceanos e dos rios. O nosso maior medo é a possibilidade de escassez ou excesso de água"

Barbara Kingsolver

O júri

Presidente	Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
Vice-Presidente	Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
Vogal - Arguente Principal	Doutor José Alcides Silvestre Peres Professor Auxiliar do Departamento de Química de Trás-os-Montes e Alto Douro
Vogal - Orientador	Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

No final de mais uma etapa da minha vida, chega o momento de agradecer a todos os que percorreram comigo esta caminhada…

Ao Eng.º José Pereira da Bongás Energias pelo apoio, ajuda e tempo dispendido para a instalação e operacionalização do equipamento nos locais pretendidos.

Ao Senhor José Padeiro da Estação de Lavagens Auto pela ajuda fornecida para a recolha das amostras e procedimentos inerentes.

Ao Senhor João Almeida da Estação de Lavagens Auto e ao Eng.º Gil da Avicasal pelo interesse demonstrado na instalação do equipamento LFT.

Aos meus pais e família, ao Nuno e amigos que me apoiaram e ouviram nos momentos mais difíceis.

A todos agradeço, profundamente.

Palavras-chave

Reutilização, recuperação e reciclagem da água, desinfecção por ozono, filtração, viabilidade económica e tratamento de água residual

Resumo

Tendo em vista a reutilização de águas residuais industriais, foi desenvolvida uma tecnologia denominada Liquid Filtration Technology destinada a desinfectar e filtrar um efluente passível de reutilização. As variáveis de processo consideradas no que concerne a este trabalho, basearam-se em parâmetros de qualidade da água e estudos de viabilidade económica.

Para o efeito o equipamento foi instalado em dois locais distintos, em termos de características do efluente e relativamente ao tipo de tratamento de águas residuais aplicado na indústria, com o intuito de estudar e avaliar a sua aplicabilidade.

No âmbito do trabalho foi ainda desenvolvido e aplicado um conceito de viabilidade económica à avaliação da tecnologia, com consideração aos consumos de água, tarifários e custos do equipamento e instalação.

Os resultados obtidos permitem retirar as seguintes considerações:

(a) A qualidade do efluente após passagem pelo LFT tem valores mais significativos numa Estação de Lavagem de Automóveis, que num Matadouro de Aves;

(b) A viabilidade económica do LFT varia consoante os consumos de água requeridos. Assim sendo, a implementação na Estação de Lavagens não se torna viável ao contrário do Matadouro, que suporta um valor de VAL muito significativo;

(c) A ineficiência operacional do LFT verificada no matadouro, encontra-se relacionada com a rápida colmatação do filtro, devido às características dos sólidos em suspensão;

(d) A possibilidade de acoplar um equipamento extra de filtração, a fim de evitar problemas técnicos foi estudada, nomeadamente no caso do efluente do Matadouro;

(e) A tecnologia desenvolvida possui condições adequadas para aplicação na reutilização de efluentes industriais, nomeadamente em lavagens auto com elevada eficiência.

Keywords

Water Reuse, reclamation and recycling, disinfection with ozone, filtration, economic viability, wastewater treatment

Abstract

Considering the reuse of industrial wastewater has been developed a technology called Liquid Filtration Technology designed to filter and disinfect an effluent capable of reuse. The process variables considered in regard to this work, based on parameters of water quality and economic feasibility studies.

For this purpose the equipment was installed in two locations, both in terms of effluent treatment as compared to the subject in order to study and evaluate its applicability.
As part of the work has already been developed and applied a concept of economic viability assessment of technology, with regards to water consumption, prices and equipment costs and installation.

The results allow to draw the following considerations:

a) The quality of the effluent after passage through the LFT is more significant in the Station Car Wash, which in a poultry slaughterhouse;

b) The economic viability of the LFT depends on the consumption of water required. Therefore, the implementation of Washing Station does not become viable in contrast to Slaughterhouse, which supports a significant amount of VAL;

c) The operational inefficiency observed in the treatment of the treated effluent from the slaughterhouse is associated with rapid filter clogging due to the characteristics of the suspended solids;

d) The possibility of engaging an extra filtration equipment in order to avoid technical problems have been studied, particularly in the case of wastewater of slaughterhouse;

e) The technology developed has conditions suitable for application in industrial wastewater reuse, including car washes, with high efficiencies.

Índice

Índice i
Índice de Figuras iii
Índice de Tabelas v
Lista de abreviaturas vii
1 Introdução 1
1.1 Organização da Dissertação 2
1.2 Objectivos 3
2 Reutilização da Água 5
2.1 A função da recuperação e reutilização da água no contexto do ciclo hidrológico 5
2.2 Importância do Uso e gestão eficiente da água 9
2.3 Aplicações da reutilização de água residual 12
2.3.1 Âmbito Industrial 16
2.3.1.1 Procura de água actual para Indústria em Portugal 17
2.4 Termos técnicos utilizados 19
3 Reutilização de Água Industrial em Contexto LFT 21
3.1 Reutilização de água em sistemas de lavagem automóvel, pelo LFT 22
3.2 Descrição do Processo de funcionamento 23
3.2.1 Especificações Técnicas 27
3.2.2 Características do sistema, Vantagens versus Benefícios 28
3.3 Processos associados ao LFT 29
3.3.1 Tratamento por ozono 29
3.3.1.1 Aspectos químicos e propriedades do ozono 30
3.3.1.2 O processo de ozonização 33
3.3.1.3 Especificações técnicas e procedimentos do LFT 34
3.3.2 Filtração 38
3.3.2.1 Tipos de filtração 39
3.3.2.2 Tecnologias para remoção matéria residual particulada suspensa 39
3.3.2.3 Especificações técnicas do LFT 43
4 Casos de Estudo: Instalação Experimental do LFT 45
4.1 Metodologia 45
4.1.1 Parâmetros analíticos 45
4.2 Estação de Lavagem de Carros da BP 46
4.2.1 Caracterização do efluente 46
4.2.2 Dados Laboratoriais 47
4.2.3 Vantagens e desvantagens do LFT 52
4.3 Matadouro de aves 53
4.3.1 Caracterização do Efluente 53

4.3.2 Dados Laboratoriais 53
4.3.3 Vantagens e Inconvenientes do LFT 55
5 Projecto económico de investimento 57
5.1 Caracterização e Custos de Investimento 59
5.2 Custos de Exploração e Tarifários 59
5.3 Poupança mensal 61
5.4 Análise dos Resultados 61
5.4.1 Estação de Lavagem de carros da BP 61
5.4.2 Matadouro de Aves 63
6 Conclusões e sugestões 65
6.1 Conclusões sobre os resultados obtidos 65
6.2 Limitações do trabalho 67
6.3 Sugestões para trabalho futuro 67
Referências bibliográficas 69
Anexo A – Fotografias da Instalação de Lavagem de Automóveis 75
Anexo B – Âmbito de aplicação do LFT, diversas performances disponíveis 79
Anexo C – Análise quantitativa da qualidade da água da Estação de Lavagem 81
Anexo D – Análise económica do investimento do LFT 83

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa mundial representativo dos aquíferos subterrâneos (Fonte: WHYMAP, 2008) 6
Figura 2. A água subterrânea no globo (Fonte: CEAS, n.d.) 6
Figura 3. O papel da recuperação e reutilização da água no ciclo da água através do ciclo hidrológico. (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003) 7
Figura 4. Diagrama de fluxo relativo às várias áreas da ciência para as disciplinas de água e tecnologias de água residual com integração dos aspectos de abastecimento de água e controlo da poluição (Fonte: Hammer, 1996) 8
Figura 5. Disponibilidade de água versus população (Fonte: WWAP, 2003) 10
Figura 6. Representação gráfica da distribuição estimada por sector consumptivo em Portugal (2000) (Fonte: Adaptado do PNA, 2002) 11
Figura 7. Representação do stress hídrico no mundo e número de pessoas afectadas pela falta deste recurso Fonte: UNEP, 2002 13
Figura 8. Representação esquemática da distribuição do consumo de água industrial no sector da transformação. (Fonte: Adaptado do PNUEA, 2001) 18
Figura 9. Fotografia do gerador de ozono 23
Figura 10. Representação esquemática dos tanques de preparação dos efluentes brutos (Fonte: VASQUEZ et al., 1999) 24
Figura 11. Esquema representativo da instalação para lavagens auto 24
Figura 12. Esquema do Princípio de Funcionamento da Estação de Lavagem de automóveis 26
Figura 13. Difusor de turbina (Fonte: Alves, 2007) 34
Figura 14. Performance do gerador de ozono em termos da concentração e produção de ozono com o oxigénio 36
Figura 15. Performance do gerador de ozono em termos da concentração e produção com ar 37
Figura 16. Tanque para desinfecção do efluente, por ozono 37
Figura 17. Esboço dos diversos processos/mecanismos para remoção de partículas: a) filtração em profundidade, b) filtração em superfície, c)filtração por membranas e d) por ar dissolvido (Fonte: Asano, 2006) 38
Figura 18. Tubo de suporte à filtração 42
Figura 19. Funcionamento do sistema filtrante 44
Figura 20. Detalhe da concepção da membrana filtrante 44
Figura 21. Variações de CQO total com diferentes taxas de alimentação (tempo de contacto: 10-15 min) 50
Figura 22. Variação da eficiência de remoção de CQO total, com diferentes taxas de alimentação 51
Figura 23. Variação de CBO_5 com diferentes taxas de alimentação 51
Figura 24. Poupança acumulada actualizada no caso de estudo de Albergaria-a-Velha 62

Figura 25. VAL no caso de estudo de Albergaria-a-Velha 62
Figura 26. Poupança acumulada actualizada no caso de estudo de S. Pedro do Sul 63
Figura 27. VAL no caso de estudo de S. Pedro do Sul 64
Figura 28. Fotografia de parte da instalação onde se processa a filtração 75
Figura 29. Retorno de águas para o sedimentador acoplado ao tanque de introdução de ozono .. 76
Figura 30. Condutas de água reciclada e da rede 76
Figura 31. Quadro eléctrico imprescindível na instalação vista exterior e interior 77
Figura 32. Local onde ocorre a filtração do ar 77
Figura 33. Condutas onde se escoa o excedente 78
Figura 34. Local onde ocorre o push-back 78
Figura 35. Aplicação de um sistema com uma performance de 4000 l/h 79
Figura 36. Sistema com performance de 15000 l/h 79
Figura 37. Sistema com performance de 40000 l/h 80

Índice de Tabelas

Tabela 1. Pressupostos da Directiva Quadro da Água enquadrados no Uso Efectivo da água (INAG, 2000) 9
Tabela 2. Aplicações da reutilização de água municipal com potenciais problemas associados (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy) 14
Tabela 3. Dados quantitativos relativos às várias classes de consumo (Fonte: PNUEA, 2001) 18
Tabela 4. Definição dos termos utilizados nas aplicações de reutilização da água (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003) 19
Tabela 5. Especificações técnicas da tecnologia 27
Tabela 6. Características do sistema em termos de vantagem/benefício 28
Tabela 7. Propriedades do ozono (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003) 31
Tabela 8. Especificações técnicas do gerador de ozono 35
Tabela 9. Características dos processos decorrentes da membrana (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003) 41
Tabela 10. Interpolação dos valores de alimentação com a Figura 14 47
Tabela 11. Considerações finais da instalação do LFT na Estação de Lavagens 52
Tabela 12. Dados laboratoriais do Matadouro de Aves 54
Tabela 13. Considerações finais da instalação do LFT no Matadouro 55
Tabela 14. Custos de investimento associados aos dois locais propostos 59
Tabela 15. Tarifas aplicadas aos consumos, nos locais de implementação 60
Tabela 16. Custos de exploração associados aos dois locais propostos 60
Tabela 17. Poupança associados aos dois locais propostos 61
Tabela 18. Dados laboratoriais da Estação de Lavagem de Carros 81
Tabela 19. Estudo de viabilidade económica em Albergaria-a-Velha 83
Tabela 20. Estudo de viabilidade económica em S. Pedro do Sul 84

Lista de abreviaturas

LFT - Liquid Filtration Technology

CQO - Carência Química de Oxigénio

CBO_5 - Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias

SST - Sólidos Suspensos Totais

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais

PNA - Plano Nacional da Água

DQA - Directiva Quadro da Água

INAG - Instituto da Água

INSAAR - Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

1 INTRODUÇÃO

Na Europa, nas últimas duas décadas tem-se constatado o aumento significativo do stress hídrico, quer em relação à escassez de água quer pela deterioração da qualidade da mesma. O índice de stress hídrico - razão entre a necessidade de água de um país e a capacidade de regeneração total dos recursos hídricos do mesmo - traduz-se num indicador relativo à pressão exercida sobre os recursos hídricos. Assim sendo, muitos países têm vindo a requerer usos mais eficientes para as reservas de água, incluindo a aceitação de práticas de reutilização (Bixio et al., 2006).

Embora a reutilização e recuperação de água seja aplicada actualmente em diversos países do mundo, os níveis presentes de reutilização constituem uma pequena fracção do volume total de efluentes industriais e municipais gerados (Miller, 2006)

Em Portugal, até 1974 o tratamento da água residual era quase inexistente, tendo sofrido um forte impulso desde essa altura. Assim sendo, em 1992 a percentagem de população continental servida por sistemas de abastecimento de água, colectores de água residual e tratamento de água residual eram de 77, 55 e 38%, respectivamente (Angelakiz et al., 1999). A implementação definitiva da Directiva para Tratamento de Água Residual Urbana (91/271/EEC), na Europa, contribuiu significativamente para a obtenção de águas residuais tratadas com qualidade elevada, sendo possível a sua reutilização em certas aplicações (Urkiaga et al., 2008). O cenário existente em Portugal foi modificado significativamente desde 1992, sendo que em 2008 a percentagem de população servida por sistemas de abastecimento de água subiu para 94%. Em termos de metas relativas à percentagem de população servida por água potável, o PEAASAR II (2007-2013) aponta uma cobertura de 95% da população (INSAAR, 2009).

Diferentes estudos internacionais recentes têm apontado a água como um dos maiores problemas do século XXI, sendo que biliões de pessoas dependem deste bem para sobreviver. A água é uma necessidade básica e essencial para as necessidades humanas, tanto para uso urbano, industrial como agrícola, sendo necessário considerá-la como um recurso limitado (Urkiaga et al., 2008).

Em geral, a procura de água com a qualidade requerida para os diferentes usos conduziu à necessidade de encontrar recursos alternativos. Ao invés, a exigência face à qualidade dos efluentes a descarregar, requer a definição de estratégias de utilização de águas residual tratada (US EPA, 2004).

Neste documento revê-se as práticas de reutilização da água, apresentando uma tecnologia para este fim, bem como as suas aplicabilidades.

A Bongás Energia, através da sua unidade de negócios Energias Renováveis & Ambiente é representante de um sistema denominado Liquid Filtration Technology – LFT, para tratamento e filtragem de água residual, com o intuito de a reciclar e reintroduzir em determinados processos industriais. O LFT consiste num sistema de ozonização e filtração para águas provenientes de lavagens (automóveis, comboios, autocarros) e com potencialidades de aplicação na reutilização de águas residuais tratadas provenientes de alguns processos industriais.

Assim sendo, esta dissertação pretende dar a conhecer o desenvolvimento de um equipamento de reutilização de águas, avaliando a performance de uma unidade-piloto em questões ambientais, técnicas, económicas e sociais.

A implementação da unidade efectuou-se em dois cenários distintos, numa Estação de Lavagem de Veículos e numa indústria de Abate de Aves. A análise centrou-se em amostragens periódicas de água residual antes e depois do LFT para monitorização da qualidade do efluente. Parâmetros como carência química de oxigénio, carência biológica de oxigénio, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis, bem com parâmetros visuais foram tidos em conta. A realização de um estudo económico foi visto como uma mais-valia para a análise da poupança anual obtida com a implementação do sistema, contando com variáveis como a tarifação dos recursos hídricos, a inflação e a taxa de actualização dos mercados.

1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente documento encontra-se organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 1 será apresentada uma exposição clara e sucinta do problema em questão, tendo em foco a definição dos objectivos do trabalho e a metodologia escolhida;
- No capítulo 2 mostrar-se-á o estado actual do conhecimento sobre a reutilização da água, através de uma revisão bibliográfica;
- No Capítulo 3 serão descritos os pontos essenciais na reutilização de água industrial, conduzindo ao estudo e descrição detalhados do sistema LFT;

- No Capítulo 4 será efectuada uma exposição sobre os resultados obtidos através da instalação do LFT em dois locais distintos, assim como uma discussão das vantagens e desvantagens do mesmo;

- No capítulo 5 será apresentado um estudo sobre a viabilidade da implementação do Liquid Filtration Technology na Estação de Lavagem de Veículos em Albergaria-a-Velha e no Matadouro de Aves em S. Pedro do Sul

- Finalmente, no Capítulo 6, serão apresentadas as conclusões e sugestões da presente dissertação.

1.2 OBJECTIVOS

O processo da Reutilização da Água é a alternativa mais viável para o tratamento de águas residuais. Contudo, para que o processo ocorra nas melhores condições é necessário procurar desenvolver equipamentos, que ajudem a optimizar o tratamento da água a nível técnico, económico e ambiental.

Os objectivos propostos inicialmente para este trabalho referiam as seguintes fases:

(a) Caracterização do processo de reutilização da água em contexto industrial;

(b) Avaliação da tecnologia/solução;

(c) Definição das vantagens e desvantagens associados ao processo;

(d) Avaliação da aplicabilidade do LFT em alguns sectores da indústria, assim como a possibilidade de algumas modificações para melhorar o processo;

(e) Desenvolvimento de um estudo económico da mais-valia da aplicação do LFT.

2 REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Este capítulo pretende abordar as questões relacionadas com a água e com os recursos hídricos incentivando uma gestão e uso eficiente, tendo como base o conceito do desenvolvimento sustentável. Assim, o objectivo é fomentar a importância do uso eficiente da água, demonstrar o papel da reutilização e recuperação da água no seio do ciclo hidrológico, fornecer uma visão sobre as potenciais aplicações da reutilização da água com ênfase no estudo da reutilização da água industrial e introduzir os conceitos técnicos usados na reutilização da água.

2.1 A FUNÇÃO DA RECUPERAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO CONTEXTO DO CICLO HIDROLÓGICO

Em todo o mundo, comunidades inteiras enfrentam nos dias de hoje desafios face ao abastecimento de água, derivado da crescente procura, da seca e da contaminação e escassez dos recursos subterrâneos. A Directiva Quadro da Água refere que “A água é essencial para a vida no Planeta”, assim como a existência do Homem e as suas actividades económicas dependem da água. Todavia e em termos globais, a água é muitas vezes, um recurso limitado, pelo que a vida e o sustento das populações dependem deste bem. A crescente procura da água está relacionada directamente com o crescimento populacional, tornando-se impossível manter o fornecimento de água doce para abastecimento público, indústria e agricultura, se a maior e mais segura fonte de água potável na Terra não for aproveitada convenientemente. (Struckmeier et al., 2007) No mundo a maior parte da água potável encontra-se sob a forma de água subterrânea, apresentando os aquíferos uma distribuição irregular tal como se pode visualizar pela Figura 1.

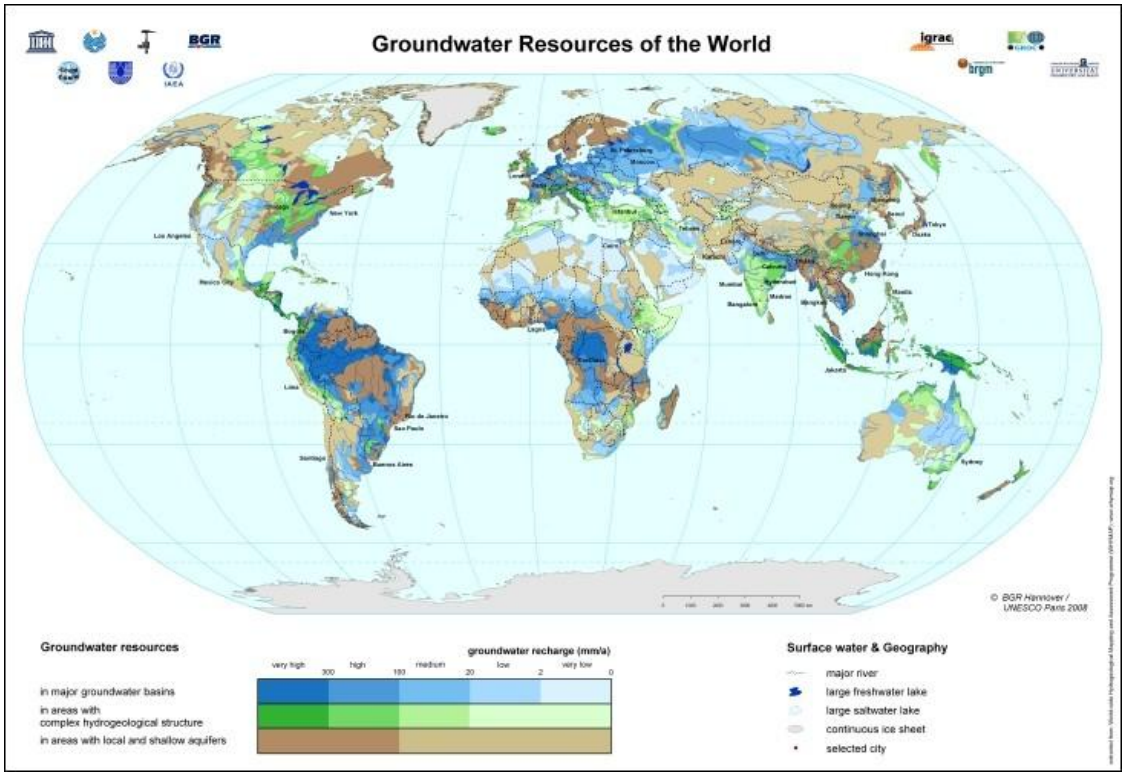


Figura 1. Mapa mundial representativo dos aquíferos subterrâneos (Fonte: WHYMAP, 2008)

Na Terra, do total de água que se encontra disponível, somente 2,5% representa água doce, sendo que desta percentagem 29,9% corresponde a água subterrânea e 0,3% a água que corre nos rios e lagos (Figura 2). Do descrito, e para atender às exigências da sociedade e aos avanços tecnológicos, torna-se evidente a necessidade de procurar soluções convergentes, como sendo a recuperação, reciclagem e reutilização da água.

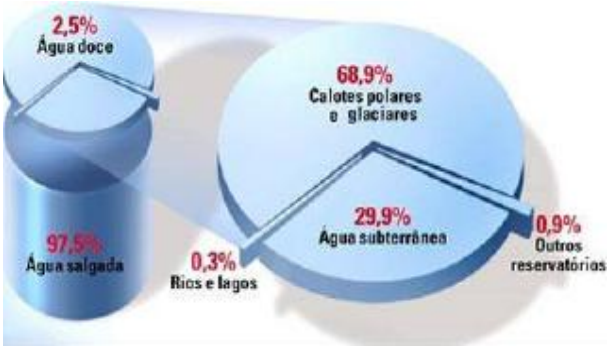


Figura 2. A água subterrânea no globo (Fonte: CEAS, n.d.)

A água, intervêm em processos químicos interligados à produção de alimentos, tem um papel vinculativo na transferência de energia e matéria na Terra, é responsável pelo clima e condições climáticas, e transporta os desperdícios ao mesmo tempo que controla a sua degradação. Toda a água que existe no planeta pode ser dividida em três partes - os oceanos, os continentes e a atmosfera - interligados entre si por uma circulação contínua – o Ciclo Hidrológico. O conceito de ciclo da água consiste num movimento e troca de água em diferentes estados físicos, entre os oceanos, as calotes de gelo, as águas subterrâneas e superficiais e a atmosfera. (Alves, 2007) Dentro do ciclo hidrológico existem diversos sub-ciclos incluindo o transporte de água por métodos de engenharia. A reutilização, a recuperação e a reciclagem são exemplos de componentes significativos no ciclo, particularmente nas áreas urbanas, industriais e agrícolas, tal como pode ser visualizado na Figura 3. (Metcalf & Eddy, 2003)

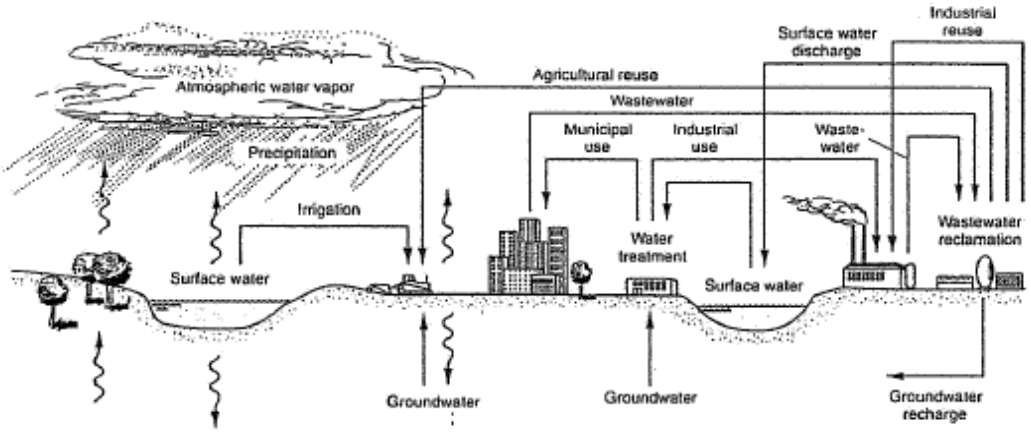


Figura 3. O papel da recuperação e reutilização da água no ciclo da água através do ciclo hidrológico. (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

A importância dos recursos hídricos subterrâneos e a sua gestão torna-se assim evidente, pelo que a sua exploração tem de ser meticulosa, cuidadosa e sustentável de forma a evitar uma crise global relativa à água. Tendo em vista este pressuposto, a necessidade de soluções para o não desperdício da água e respectiva reutilização devem ser incrementadas.

Por outro lado a descarga de efluentes tratados em rios, lagos e estuários pode acelerar a eutrofização dos mesmos e provocar deterioração da qualidade da água, interagindo com a reutilização da água indirecta para abastecimento público e actividades de âmbito recreativo. A instalação de sistemas de tratamento de água mais eficientes e avançados pode permitir recuperar a qualidade da água original, sendo uma solução que tem incentivado cidades a pensar na reutilização directa da água residual tratada para fins industriais, recreativos e agrícolas, entre outras aplicações. Apesar das vantagens adjacentes a estes processos, este tipo de tecnologias tem restrições no que se refere ao abastecimento de água potável, dado que este tipo de águas pode conter riscos potenciais para a saúde pública, devido à presença de vírus e substâncias tóxicas. Contudo, com o aumento da procura por água, a reutilização directa deste bem é uma visão para o futuro e potencia o desafio para o século XXI. (Hammer, 1996)

A compreensão dos processos de abastecimento de água e controlo da poluição passa em primeiro lugar por quatro alicerces básicos: a química, a biologia, a hidráulica e a hidrologia. A interligação e acção destes quatro pilares do conhecimento na temática do uso da água, encontram-se esquematizados na Figura 4. Os princípios químicos são a base para as grandes aplicações no processamento da água, enquanto o tratamento das águas residuais depende dos sistemas biológicos. A chave para a distribuição da água e recolha da água residual passa pelos princípios hidráulicos.

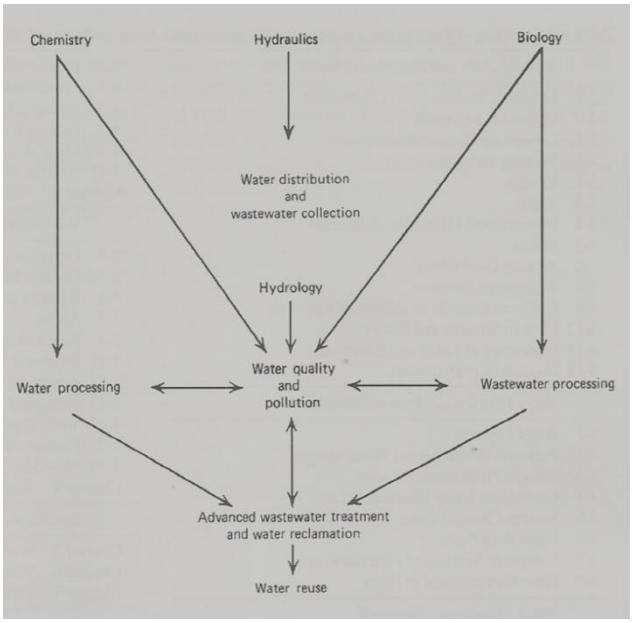


Figura 4. Diagrama de fluxo relativo às várias áreas da ciência para as disciplinas de água e tecnologias de água residual com integração dos aspectos de abastecimento de água e controlo da poluição (Fonte: Hammer, 1996)

A qualidade da água é o ponto central do ciclo de reutilização indirecta de água. A última etapa do processo induz para o futuro da reutilização directa da água, promovido pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pelas necessidades crescentes de água. (Hammer, 1996)

A recuperação e reutilização da água, tem vindo assim a ganhar importância, constituindo uma nova alternativa no contexto da gestão integrada dos recursos hídricos. Tal como citado por Aline Delgado da Quercus num texto sobre Reutilização e reencaminhamento das águas residuais, "A reutilização da água *in situ* oferece muitas oportunidades para racionalizar o consumo de água em nossas casas. Infelizmente, toda a água que utilizamos em casa e jardins é potável e utilizada para praticamente tudo. Se reutilizássemos grande parte dessa água para destinos não potáveis estaríamos a contribuir para a sua racionalização".

2.2 IMPORTÂNCIA DO USO E GESTÃO EFICIENTE DA ÁGUA

O mundo enfrenta actualmente situações de aumento da procura de água, alterações climáticas, condições meteorológicas adversas, sobre exploração e poluição dos cursos de água. Com vista a antecipar consequências mais graves deste problema, evitando a geração de impactos extremos e conflitos pela gestão da água é necessário procurar gerir de forma mais eficiente os recursos hídricos.

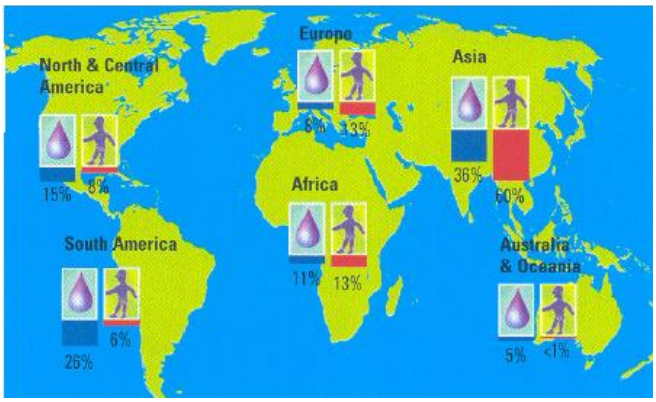
Portugal é um dos países que tem descurado as suas obrigações face à procura de soluções eficientes na gestão e utilização da água. Todavia, essa mentalidade terá de dar lugar a uma nova visão, visto que muitas regiões do país podem começar a viver situações de escassez de água. A gestão eficiente da água em Portugal é assim uma prioridade em todos os níveis, desde a conservação e recuperação dos recursos hídricos, ao seu uso e no desenvolvimento de novas soluções para gerar água passível de ser utilizada. (Aboutblue, 2008) Assim sendo, a necessidade crescente de melhorar a eficiência no uso da água, constitui uma das prioridades da gestão da água em Portugal, demonstrada pelos pressupostos da Directiva Quadro da Água (Tabela 1).

Tabela 1. Pressupostos da Directiva Quadro da Água enquadrados no Uso Efectivo da água (INAG, 2000)

Art.º 1.ºb	Necessidade de promover um **consumo de água sustentável**
Art.º 9.º	Estados-membros devem assegurar, até 2010, o estabelecimento de políticas de preços de água que considerem o princípio da recuperação dos custos dos serviços, induzindo **incentivos adequados para que os consumidores utilizem eficazmente a água**.
Art.º 11.º e Anexo VI	Medidas destinadas a promover uma utilização eficaz e sustentável da água, incluindo **medidas de gestão da procura de água e da eficiência e reutilização da água**.

Segundo a Comissão Directiva da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, em 1970 a água era vista como um factor de produção, na era do fomento hidráulico. Entre 1970 e 1990 a água passou a ser vista como um bem de consumo com valor e custo associado, tendo sido no início de 1970 que se revelaram as primeiras preocupações face à qualidade da água. A partir de 1990, o conceito de desenvolvimento sustentável começou a ser associado à água e aos recursos hídricos, levando este recurso a ser entendido num contexto de qualidade ecológica (APEA, 2005). Este conceito foi adoptado pela Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE de 22 de Dezembro) que protagoniza neste âmbito, o objectivo de atingir até 2015 o bom estado de todas as águas de superfície (rios, lagos e águas costeiras e de transição) e subterrâneas.

Os problemas associados à deterioração e escassez da qualidade dos recursos hídricos são um dos maiores dilemas do século actual, face ao crescimento exponencial populacional que se tem verificado. Como pode ser verificado na Figura 5, o crescimento populacional em algumas regiões do globo é superior às reservas hídricas existentes, criando-se desta forma uma pressão face às disponibilidades deste recurso. Consequentemente, os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável tornam-se indissociáveis e imperativos no domínio dos Recursos Hídricos.



Europa: 4,1 x 10^3 m^3/ano/capita

América do Norte: 17,5 x 10^3 m^3/ano/capita

África: 5,1 x 10^3 m^3/ano/capita

Ásia: 3,3 x10^3 m^3/ano/capita

América do Sul: 28,3 x 10^3 m^3/ano/capita

Austrália/Oceania: 50 x10^3 m^3/ano/capita

Figura 5. Disponibilidade de água versus população (Fonte: WWAP, 2003)

Apenas há algumas décadas foi tomada a consciência plena que, face aos usos excessivos do passado, os recursos hídricos têm-se tornado escassos, sendo indispensável modificar a ideia que os recursos hídricos são inesgotáveis. A água não sendo especificada como um recurso renovável e inesgotável, mas em que somente uma parte é facilmente acessível, implica a necessidade de administrá-la de forma racional e sustentável. (Lencastre, 2006) Assim sendo e em consonância com a Figura 6, existem em Portugal grandes variações nas quantidades de água consumidas por cada sector.

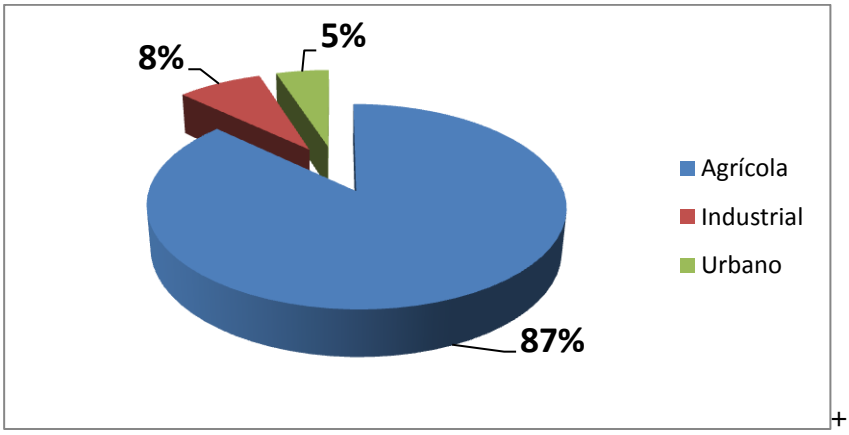


Figura 6. Representação gráfica da distribuição estimada por sector consumptivo em Portugal (2000) (Fonte: Adaptado do PNA, 2002)

O consumo total de água em Portugal ronda os 7500 milhões m^3/ano (PNUEA, 2001), sendo 87% desse valor para a agricultura, 8% para abastecimento urbano e os restantes 5% para abastecimento industrial. Apesar da parcela para abastecimento industrial ser pequena o seu impacto ambiental ao invés é bastante significativo, uma vez que a água quando devolvida ao meio ambiente, tem as suas características alteradas pela presença de poluentes. Segundo o Plano Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH, 2007), a capacidade útil total das albufeiras é cerca de 8862 hm^3. Este valor é susceptível de afirmar que uma eficiente gestão e utilização dos recursos hídricos podem minimizar muitos problemas futuros. Tendo em conta que, nem toda a água que é captada é efectivamente aproveitada, existe uma parcela importante associada à ineficiência de uso e a perdas, passível de ser considerada uma significativa poupança. Como apontado pelo Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), estima-se perdas de cerca de 40% ao nível do abastecimento urbano e agricultura e 30% para o abastecimento industrial.

Por outro lado, é vinculativo fomentar a implementação das medidas presentes nos planos de gestão existentes, de forma a resolver os problemas atempadamente e conduzindo o país para um planeamento e gestão dos recursos hídricos eficaz. Dos planos referidos destacam-se o Plano Nacional da Água (PNA), nomeadamente ao estabelecido no Programa n.º 7, «Conservação dos recursos hídricos», eixo n.º 3, «Gestão sustentável da procura», medida P7M1, «Uso eficiente da água - Abastecimento público e industrial», e a medida P7M2, «Eficiência da rega e controlo das perdas - Rega», assim como no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), no Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) e nos Planos de Bacia Hidrográfica.

Tendo em conta as necessidades de uso, bem como as operações do ciclo da água, é possível estabelecer uma gestão integrada dos Recursos Hídricos de forma eficaz. A solução para a redução das externalidades negativas, a par dos desperdícios da água, passa por uma orientação na criação de um mercado efectivo da água no âmbito legislativo e institucional e no enquadramento estabelecido pelas políticas nacionais e europeias. Deste modo garante-se assim, a quantidade e a qualidade da água necessárias para " procurar satisfazer as necessidades da geração actual, sem comprometer a capacidade da geração futura de satisfazer as suas próprias necessidades" de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável estabelecido no Relatório Bruntland (1987).

2.3 APLICAÇÕES DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL

Segundo o Relatório Planeta Vivo 2004 da WWF a quantidade de água doce disponível em forma de recurso renovável é inferior a 1%. Os restantes 99% encontram-se alojados nas calotes de gelo, em reservas subterrâneas fôsseis a muitos metros de profundidade, ou por questões de ordem geográfica não têm acesso. Os humanos procuram água por razões de sobrevivência, lazer, industrial, entre outras, utilizando cerca de metade dos recursos que se encontram disponíveis. Diversos países encontram-se neste momento a exceder os limites toleráveis de captação de água, variável consoante a situação ecológica, captando mais de cem por cento das suas reservas anuais renováveis. Assim, só se pode antever um cenário de esgotamento de recursos. Deste modo estão criadas as condições para uma sobre exploração dos recursos hídricos, que se esgotam mais rapidamente do que são renovados, e casos como o Rio Nilo, Colorado e Amarelo são exemplos claros desse fenómeno (WWF, 2004).

A expansão de novas tecnologias e conhecimentos científicos, na área da água está a modificar a forma como este recurso é utilizado, promovendo um cuidado mais acentuado face à sua preservação e essencialmente à sua reutilização, tendo como intuito satisfazer as necessidades económicas e ambientais. Visto que ao longo dos tempos se tem criado uma pressão face aos recursos hídricos disponíveis é previsível que esta pressão aumente num futuro próximo como pode ser constatado por análise da Figura 7 (WWAP, 2009).

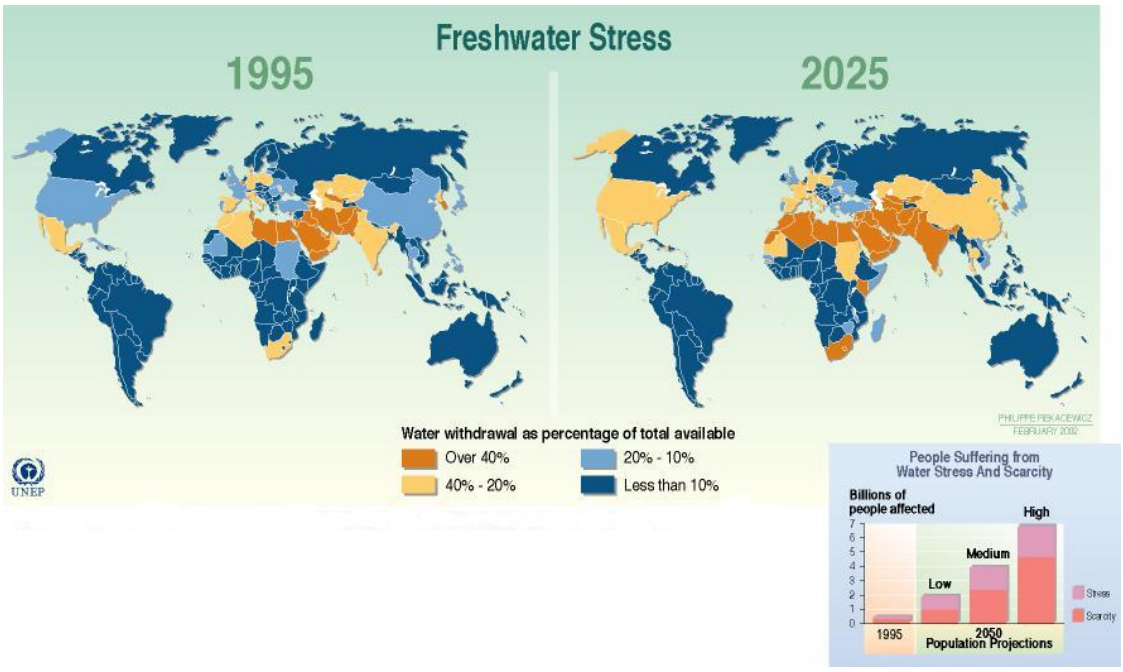


Figura 7. Representação do stress hídrico no mundo e número de pessoas afectadas pela falta deste recurso
Fonte: UNEP, 2002

Numa escala global, a reutilização da água para fins não potáveis é efectivamente a solução para suprimir eventuais faltas para irrigação, indústria, fluxos de rios e outras aplicações. (WWAP, 2006). Pela observação da Figura 7 são notórias as diferenças que se vão sentir mundialmente pela falta da água. Prevê-se que para 2025 diversos países deixem de captar cerca de 10% deste recurso passando o factor de captação para aproximadamente 20 a 40% do total de água disponível.

As principais categorias de reutilização de água municipal encontram-se apresentadas na Tabela 2, em ordem decrescente de volume a usar, juntamente com as restrições da sua aplicação.

Tabela 2. Aplicações da reutilização de água municipal com potenciais problemas associados (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy)

Categorias de reutilização da água	Problemas de aplicação
Irrigação Agrícola	Contaminação de águas superficiais e subterrâneas se a reutilização não for bem gerida.
Irrigação de culturas	
Viveiros comerciais	Aceitação por parte do público da comercialização deste tipo de culturas.
Irrigação de paisagens	
Parques e Pátios escolares	Efeitos na qualidade das águas devido ao aumento da concentração em sais (culturas e solos).
Auto-estradas	
Campos de golfe	Preocupações com a saúde pública devido a patogénicos (vírus, bactérias e parasitas).
Cemitérios	
Ordenamento do Território	Elevados custos para o utilizador no caso de controlo das áreas usadas.
Residenciais	
Reutilização e reciclagem industrial	Constituintes da água recuperada podem causar problemas de corrosão, crescimento biológico e incrustações.
Água de refrigeração	Preocupações com a saúde pública particularmente com a transmissão de aerossóis contendo patogénicos.
Alimentação de caldeiras	
Água de processos	Ligação cruzada de redes de água potável e água recuperada.
Recarga de aquíferos	Possível contaminação de aquíferos usados como fonte de água potável.
Reposição de águas subterrâneas	Presença de produtos químicos orgânicos na água recuperada com efeitos tóxicos. Presença de sólidos totais dissolvidos, nitratos e agentes patogénicos na água recuperada.
Controlo da intrusão de água salgada	

Recreação/Uso ambiental	
Lagos e lagoas Aprimoramento de pântanos Aumento de caudais em rios Pesca Fabrico de neve artificial	Problemas de saúde relacionados com a presença de vírus e bactérias. Risco de eutrofização relacionado com a presença de fósforo e azoto nas águas receptoras. Toxicidade para a vida aquática.
Usos urbanos não potáveis Protecção contra incêndios Ar condicionado Descargas de sanitários	Preocupações com a saúde pública sobre patogénicos transmitidos por aerossóis. Efeitos na qualidade da água devido a corrosão, crescimento biológico e incrustações. Ligação cruzada de redes de água recuperada e potável.
Reutilização potável Mistura em reservatórios para abastecimento de água	Presença de produtos químicos orgânicos na água recuperada. Estética pode não ser aceite pelo público. Preocupações com a saúde pública sobre a transmissão de patogénicos, nomeadamente de vírus entéricos.

O uso da água reciclada para rega agrícola é das aplicações mais utilizadas, oferecendo grandes oportunidades de futuro. Como visualizado na Figura 6, a irrigação agrícola em Portugal apresentava em 2000 cerca de 87% da percentagem total nacional de água consumida.

A nível da rega paisagística, incluí-se a irrigação de parques; play-grounds; campos de golfe; auto-estradas; áreas paisagísticas rodeando zonas comerciais, escritórios, desenvolvimentos industriais e residenciais. A maior parte destes sistemas podem incluir em simultâneo dois sistemas de rega: um com água potável e outro com a água recuperada.

A actividade industrial é o segundo sector de actividade com maiores consumos de água, tal como se verificou na Figura 6. A água para fins de refrigeração é a parcela mais considerável na indústria, sendo de igual forma aquela em que se recorre mais frequentemente a água recuperada.

A quarta aplicação de reutilização corresponde à recarga de aquíferos, quer através de bacias de dispersão quer por injecção directa.

As utilizações de água recuperada para fins recreativos e ambientais envolve inúmeros usos na forma de água não potável, desenvolvendo lagoas de recreio (p.e. arranjos paisagísticos de empreendimento urbanos, lagos de armazenamento em campos de golfe, entre outros), aumento de caudal de cursos de água, podendo também criar ou recuperar habitats.

A sexta categoria diz respeito a utilizações urbanas não potáveis, como sendo o combate a incêndios, ar condicionado, descargas sanitárias, entre outras. Por questões de ordem económica, estes usos dependem da localização onde a água residual é recuperada.

A última categoria de reutilização de água corresponde a usos potáveis, através da mistura com água bruta nos reservatórios (albufeiras) e alimentação directa de água residual altamente tratada ao sistema de distribuição. (Metcalf & Eddy, 2003)

Com o intuito de preservar a qualidade da água é necessário ter em conta princípios para a reutilização deste recurso. Quando se fala em princípios, refere-se a assegurar um eficiente tratamento das águas residuais de tal forma que se possam satisfazer as normas regulamentares de qualidade para o uso pretendido. Segundo J. M. Simpson da Australian Water Association, *"The quality of water matters, not its degree of treatment"*. A reutilização da água tem ainda de criar condições para a protecção da saúde pública, promovendo a aceitação do público. (Monte, 2005)

2.3.1 ÂMBITO INDUSTRIAL

A preocupação para o uso eficiente da água e para a implementação interna da reutilização da água na indústria teve um despontar mais relevante desde 1990. Até aos dias de hoje, o uso de água reutilizada na indústria proveniente de águas residuais, encontra-se limitada pelos custos, qualidade das águas e pela disponibilidade de água reutilizada. (Asano, 2006)

Os usos da água industrial incluem águas para fins de processamento, lavagem e arrefecimento, facilitando o fabrico de produtos ou serviços. A reutilização da água para este tipo de uso representa uma parcela bastante significativa com potencial substancial. Cerca de 25% das necessidades mundiais de água estão relacionadas com aplicações industriais. (Metcalf & Eddy, 2003)

A reciclagem da água tem sido implementada com sucesso em diversas indústrias, e em outros casos, a água residual municipal recuperada tem sido utilizada como fonte externa de água para aplicação industrial. (Asano, 1998)

O uso de água recuperada e a reciclagem de água industrial potencia três grandes benefícios para a indústria como sendo:

- Fonte de água suplementar e de confiança (conhecimento efectivo da sua qualidade), que pode aumentar ou substituir as fontes de água fresca;
- Promove a redução da quantidade líquida de água consumida;
- Garante uma redução dos efluentes gerados e, em algumas situações, os custos associados ao seu tratamento;

Para algumas indústrias, a reciclagem interna de água residual pode reduzir o consumo em cerca de 50 a 95%. (Lens et al., 2002)

2.3.1.1 PROCURA DE ÁGUA ACTUAL PARA INDÚSTRIA EM PORTUGAL

A água para a indústria em Portugal é a mais requerida ao nível dos sectores de transformação, isto é, no fabrico de pasta de papel, papel e cartão, produtos alimentares e bebidas, metalúrgica de base, produtos químicos e têxteis, absorvendo aproximadamente 84% da água para consumo industrial. As captações de água para suportar estes fins podem advir de captações próprias como poços, furos e águas superficiais com cerca de 84% ou através da própria rede de abastecimento público correspondendo a 16%. (Silva et al., 2002) Na Figura 8, encontram-se representadas quantitativamente as quantidades de água requeridas para cada uso referido. Do consumo total de água nacional, 7500 x 10^6 m^3/ano, cerca de 385 x 10^6 assegura fins industriais. (PNUEA, 2001)

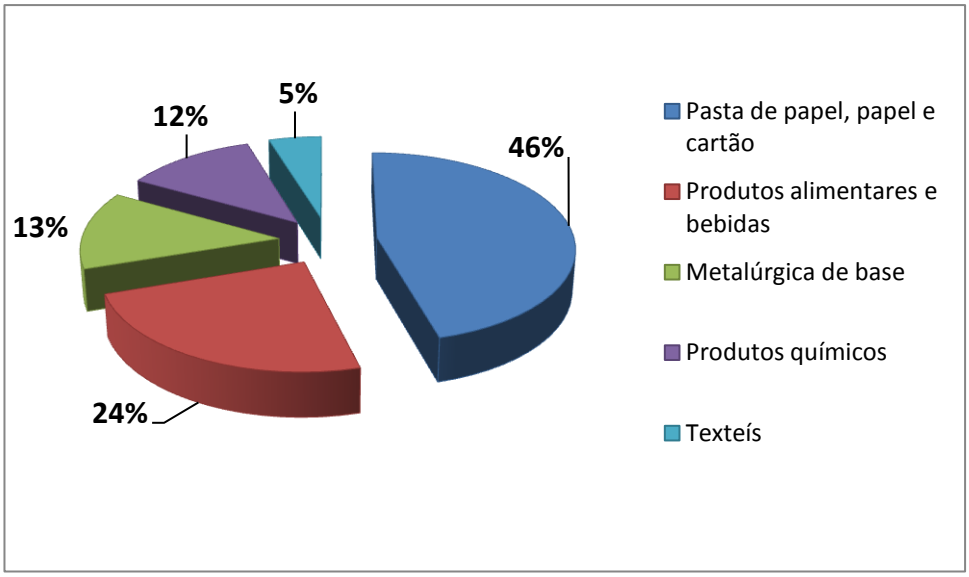


Figura 8. Representação esquemática da distribuição do consumo de água industrial no sector da transformação. (Fonte: Adaptado do PNUEA, 2001)

Pelo Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água é possível aferir quanto às eficiências actuais de consumo e as expectáveis para um prazo de 10 anos, dados estes representados na Tabela 3. A tabela apresentada permite ainda a comparação dos valores de consumo industrial com os consumos agrícolas e urbanos.

Tabela 3. Dados quantitativos relativos às várias classes de consumo (Fonte: PNUEA, 2001)

	Consumo Urbano	Consumo Agrícola	Consumo Industrial
Consumo útil actual (m^3/ano) (a)	330 X 10^6	3800 X 10^6	275 X 10^6
Procura efectiva (m^3/ano) (b)	570 X 10^6	6550 X 10^6	385 X 10^6
Eficiência actual (a/b*100)	58%	58%	71%
Eficiência proposta a 10 anos	80%	66%	84%
Poupança (m^3/ano)	160 X 10^6	790 X 10^6	57 X 10^6

O uso eficiente da água na Indústria é uma prioridade, na qual se destaca o factor económico a ele intrínseco. Assim sendo, deve ser visto "como um factor de produção passível de gerar um aumento da eco-eficiência e uma melhoria da imagem das empresas devido ao seu adequado desempenho ambiental". (Silva et al., 2002)

2.4 TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS

O tratamento das águas residuais engloba actualmente processos de reutilização, recuperação e reciclagem os quais assumem importância acrescida no contexto da gestão e uso eficiente da água. Assim, o reaproveitamento ou reutilização da água consiste num processo pelo qual a água quer seja tratada ou não, é reutilizada para o mesmo fim ou outro diferente. O método pode ser considerado como directo ou indirecto, decorrente de acções planeadas ou não planeadas. A Tabela 4 apresenta um resumo dos termos e definições mais usados e relacionados com esta temática.

Tabela 4. Definição dos termos utilizados nas aplicações de reutilização da água (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003)

Reutilização Directa	Ocorre quando a água recuperada é encaminhada directamente do seu ponto de descarga até ao local da reutilização, não sendo descarregada no meio ambiente. É normalmente aplicada para o uso em indústria ou na irrigação.
Reutilização Indirecta	Ocorre quando a água utilizada numa actividade humana é descarregada no meio hídrico, sendo novamente utilizada a jusante.
Reutilização da Água	Corresponde à utilização das águas residuais tratadas para um uso benéfico como sendo a irrigação agrícola, a refrigeração industrial, entre outros.
Recuperação da Água	Traduz-se por um tratamento das águas residuais de forma a torná-las reutilizáveis. Este termo é usado para incluir a entrega da água recuperada para o local de uso e a sua utilização efectiva.
Reciclagem da Água	Trata-se de uma reutilização de água interna, ou seja, a água é capturada e redireccionada de volta para o mesmo esquema de uso da água.

3 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL EM CONTEXTO LFT

O consumo de água na União Europeia deve ser reduzido em praticamente metade do seu valor actual, segundo o relatório publicado a 31 de Agosto de 2007 em Bruxelas, na sequência da reunião do Conselho Informal de Ministros do Ambiente dos 27, que decorreu em Lisboa. Nesse relatório é afirmado que "o consumo de água pode ser reduzido em cerca de 40%", tendo por base uma gestão eficiente da água e ao mesmo tempo existir uma mudança de hábitos por parte dos consumidores. Estima-se que até 2030, o consumo de água por parte dos vários sectores possa aumentar até 16% se nada for modificado. Por outro lado, se forem implementadas novas tecnologias de redução dos consumos de água, os excedentes podem ser diminuídos até 43%. (Agência Lusa, 2007)

Face a toda a problemática em torno dos recursos hídricos, é expectável que o custo da água sofra aumentos, tal como já acontece em muitos países e em algumas autarquias portuguesas, e as captações particulares de recursos hídricos sejam fortemente penalizadas. O Decreto-Lei nº 97/2008 de 11 de Junho no âmbito do enquadramento legal da taxa de recursos hídricos é já uma pequena amostra dessa realidade "Assim, a nova taxa de recursos hídricos não se dirige à generalidade dos pequenos utilizadores, que provocam custos administrativos e ambientais reduzidos, mas antes aos utilizadores de maior dimensão que, pela utilização mais intensiva que fazem dos recursos hídricos, provocam maior desgaste ambiental e obrigam a uma administração e encargos de planeamento e monitorização mais cuidados".

Em diversas partes do Mundo, a actual falta de água potável, gera condições para a implementação de novas oportunidade para a reutilização e reciclagem de água. Em termos quantitativos, uma das aplicações industriais onde se consomem muitos metros cúbicos de água é em lavagem de automóveis. Em centros de lavagem automóvel a quantidade consumida é tendencialmente inferior às lavagens feitas em casa, mas apenas em sistemas automáticos é possível criar condições para promover uma reutilização da água que se gasta.

Na Alemanha foi desenvolvido um sistema para a reutilização de água nos sistemas automáticos de lavagens auto. Consiste num sistema combinado de separação de sólidos por um sistema de filtro automático, e um tratamento com ozono para desinfecção e controlo de odores.

A água obtida depois da reutilização é de boa qualidade e apropriada para o uso requerido, propiciando uma redução nas quantidades de detergentes necessários nas lavagens posteriores. Este tema será discutido nas próximas secções deste documento, pretendendo-se descrever o processo inerente a esta tecnologia, através da sua descrição interna e externa, especificando as técnicas adjacentes a cada processo.

3.1 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE LAVAGEM AUTOMÓVEL, PELO LFT

As águas de lavagem automóvel compreendem uma das maiores parcelas de utilização da água, sendo a sua reutilização importante e com grande potencial. Dado que promove uma redução no consumo de água potável, possibilita a diminuição das quantidades de agentes de limpeza e do volume de águas residuais, podendo contribuir para uma redução nos custos de lavagem com a primazia de ser mais ecológico.

Como mencionado anteriormente, foi desenvolvido na Alemanha o sistema LFT que tem por base estes pressupostos. Actualmente, este sistema patenteado encontra-se disponível em Portugal, através da Bongás Tecnologias, empresa vocacionada para o fornecimento de soluções eficientes do ponto de vista energético, nas áreas de energias renováveis, eficiência energética e climatização. A solução passa pela implementação do LFT – Liquid Filtration Technology, através da reutilização e reciclagem de água, contribuindo para a diminuição dos custos e eco-eficiência. O sistema envolve um processo de filtração e ozonização para a reciclagem das águas produzidas pela lavagem de automóveis em estações de serviço, apresentando oportunidades de utilização noutros sectores industriais.

Actualmente encontra-se disponível uma unidade piloto nas instalações da Bongás, sendo o intuito desta monografia avaliar as eficiências de tratamento do sistema. Avaliando o funcionamento no tratamento de águas residuais de estações de lavagem auto e verificar novas oportunidades de implementação em sectores industriais diferenciados.

O LFT, nome genérico dado ao sistema de tratamento, tem a capacidade de tratar a água sem recorrer a produtos químicos, fomentando o espírito de aplicações em prol do meio ambiente. É acompanhado por um gerador de ozono (Figura 9), garantindo um tratamento eficiente da água, sendo o ozono um dos oxidantes mais potentes no tratamento de águas, decompondo os compostos poluentes em compostos mais simples/inofensivos.

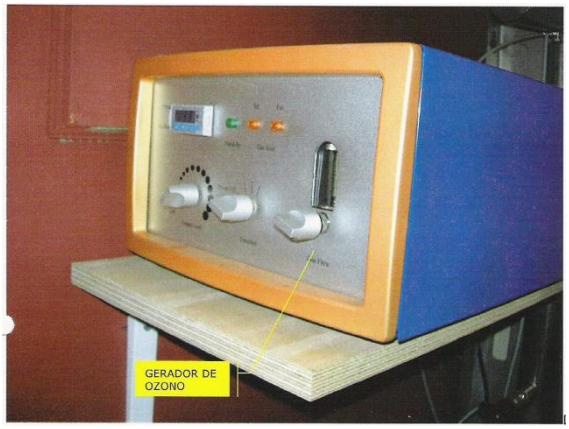


Figura 9. Fotografia do gerador de ozono

Genericamente, em termos de performance, o LFT pode atingir poupanças de água na ordem dos 70%, filtrando partículas até os 30 micra. A manutenção regular para prevenção e uma monitorização permanente são requisitos obrigatórios, mas a substituição de filtros e a remoção de sólidos dos mesmos é uma tarefa não aplicada neste sistema, possuindo um sistema de limpeza automático. Em relação ao âmbito de aplicação da tecnologia, esta não é específica apenas para determinadas instalações. O sistema existe em diversos tamanhos e capacidades, nomeadamente para os filtros e outras estruturas modulares do sistema, sendo adequado a cada necessidade.

Deste modo, este sistema apresenta-se como oportunidade para diminuir o consumo dos recursos hídricos e energéticos, através da reutilização da água, em particular na reutilização directa.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FUNCIONAMENTO

O Liquid Filtration Technology, como sistema de reciclagem de águas em lavagens auto, necessita de ter acoplado um conjunto de reservatórios específicos, para remoção de areias e óleos das águas residuais. Concretamente, é necessário um reservatório com a finalidade de proporcionar a sedimentação de sólidos e matéria suspensa frequentemente designado por tanque de sedimentação.

O segundo tanque, Separador de Hidrocarbonetos, é onde se processa a remoção de óleos e gorduras, sendo a água resultante enviada para um terceiro reservatório de armazenagem e/ou de equalização/homogeneização, de alimentação ao sistema LFT. A representação deste conjunto de reservatórios encontra-se esquematizada na Figura 10.

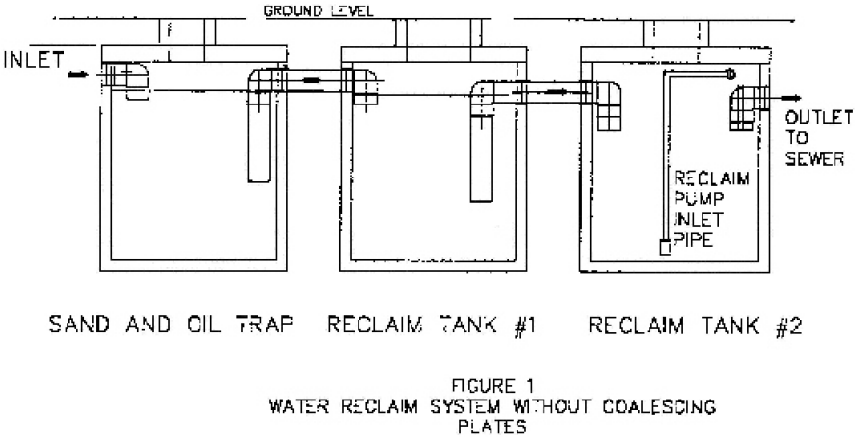


Figura 10. Representação esquemática dos tanques de preparação dos efluentes brutos (Fonte: VASQUEZ et al., 1999)

Em termos genéricos o sistema consta de um reservatório de sedimentação, um separador de hidrocarbonetos e um equipamento compacto de reciclagem da água. Este último constitui o sistema LFT, composto por um filtro de alta eficiência para remoção de pequenas partículas sólidas e um gerador de ozono para a oxidação/desinfecção da água, como se pode visualizar na Figura 11.

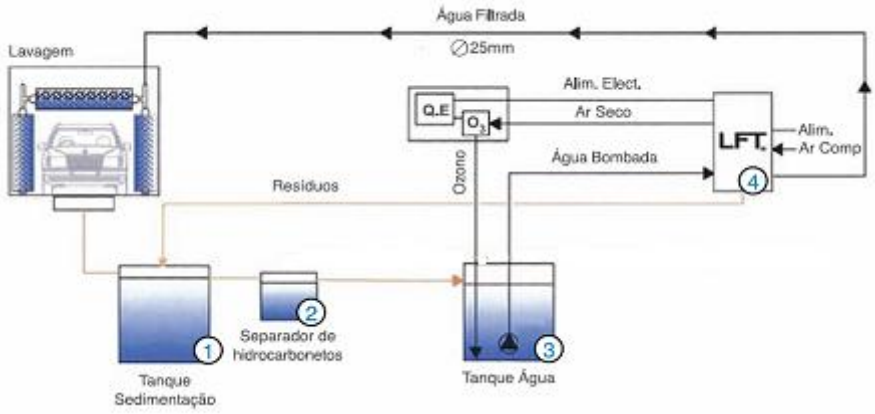


Figura 11. Esquema representativo da instalação para lavagens auto

A observação da Figura 11, permite a percepção básica do funcionamento do sistema, nas várias fases do processo e como estas se interligam. Efectivamente, e seguindo o esquema representado na figura, verifica-se que a água é recolhida no local onde se processa a lavagem, sendo conduzida para o sedimentador (1) onde ficam retidas grande parte das areias e outros materais mais densos. De seguida é encaminhada para um separador de hidrocarbonetos (2) onde ficam retidas as gorduras e os hidrocarbonetos. O passo seguinte é a passagem para o reservatório (3) onde se encontra instalado o sistema de tratamento por ozono. Entre o separador de hidrocarbonetos e o tanque de ozonização encontra-se ainda um tanque intermédio onde existe uma bomba que alimenta o sistema de filtração. Quando a água é colocada em contacto com o ozono, criam-se condições para a oxidação química dos compostos orgânicos e inorgânicos, assim como de grande parte dos metais pesados, entre outros componentes. Finalmente, a água é bombeada para o sistema de filtração (4) onde as partículas com diâmetros superiores a 30 mícron ficam retidas, sendo a água reenviada para a unidade de lavagem. Pelas descargas automáticas do filtro geram-se resíduos que são encaminhados novamente para o sedimentador (1). A Figura 12 representa as fases e processos existentes na estação de lavagem de carros. No Anexo A são apresentadas fotografias relativas a esta instalação as quais mostram os equipamentos especificados anteriormente. Na Figura 12 é apresentada uma variante ao processo apresentado na Figura 11.

Em relação à lavagem de carros, esta deve sempre conter uma última fase de lavagem com água fresca a fim de compensar as perdas, isto é, água que é levada pela viatura e perdida por evaporação, assim como por razões técnicas.

As operações de manutenção do sistema consistem apenas na remoção periódica de lamas depositadas nos sedimentadores, uma ou duas limpezas do filtro por ano e a substituição do filtro gerador de ozono aproximadamente após 18 meses de utilização. Para funcionar correctamente o sistema apenas necessita de electricidade e ar comprimido ou oxigénio puro.

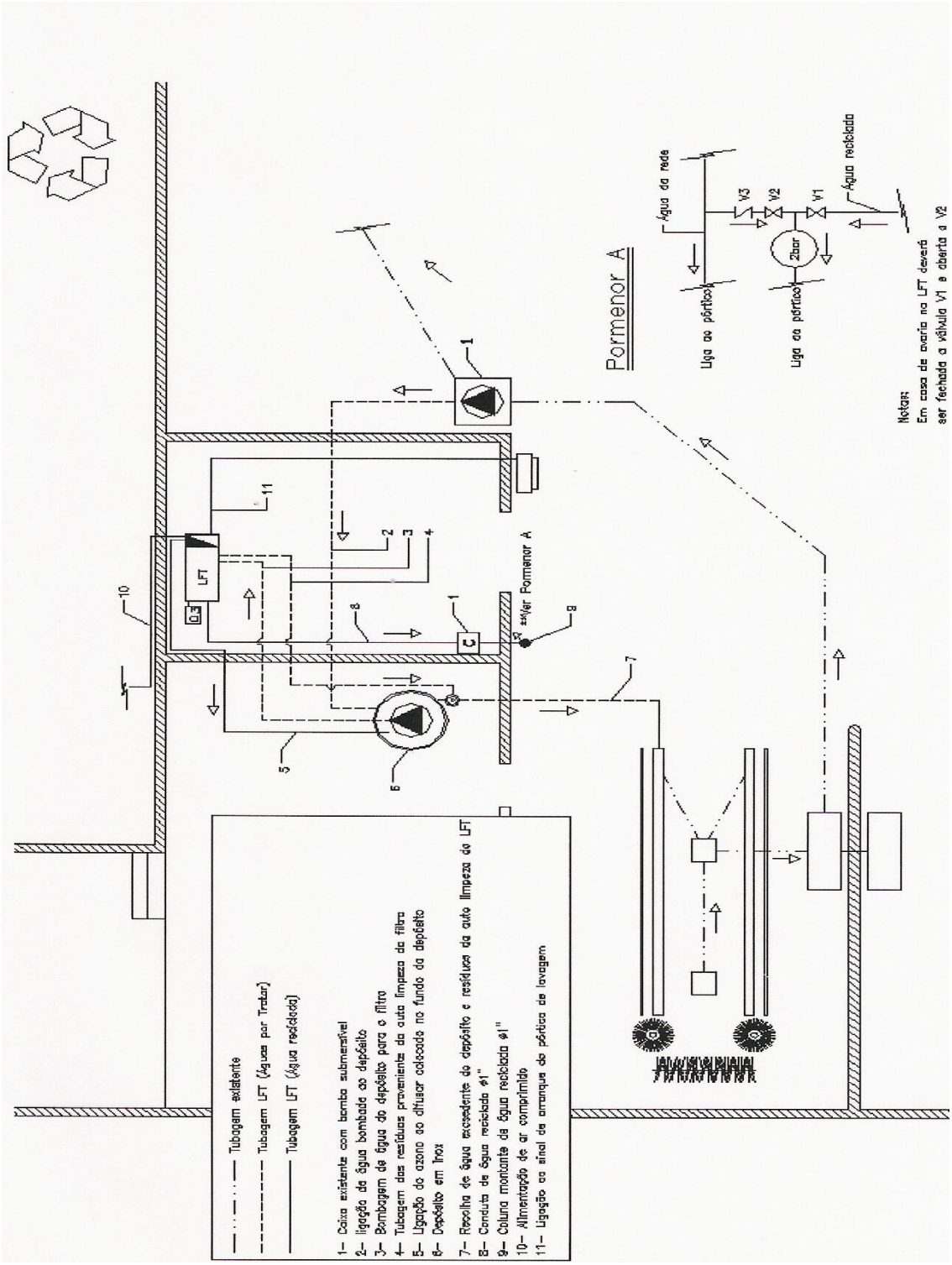


Figura 12. Esquema do Princípio de Funcionamento da Estação de Lavagem de automóveis

3.2.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O sistema LFT é comercializado com capacidades nominais desde os 4 m^3/h aos 40 m^3/h, como é possível visualizar nas figuras do Anexo B. Cada tipo de instalação obedece assim a várias especificações a nível técnico, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Especificações técnicas da tecnologia

	Tipo 30/4	Tipo 30/15	Tipo 30/40
Capacidade nominal (Litros/h)	4000	15000	40000
Capacidade de retenção de partículas (µm)	30	30	30
Tensão de Alimentação	3~400 V/16A-50Hz	3~400 V/16A-50Hz	3~400 V/32A-50Hz
Potência (KW)	2.5	6	12
Consumo (kWh)	1.55	4	7.5
Pressão ar comprimido (Bar)	4	4	4
Consumo Ar Comprimido (NL/min)	10	30	150
Dimensões (LxPxH) (cm)	90/40/180	120/60/220	200/350/100
Revisões (Ano)	1 a 2	1 a 2	1 a 2

A unidade piloto corresponde ao tipo 30/4, com uma capacidade nominal de filtração de 4000 l/h, uma potência de 2,5 kW e um consumo de 1,55 kWh. A capacidade de retenção de partículas, a alimentação e a pressão do ar comprimido são parâmetros com valor constante em todas as tipologias, sendo respectivamente, 30 mícron, 3~400 V/16ª-50Hz e 4 Bar.

Assim é possível concluir, que o sistema foi construído para enfrentar diferentes tipos de instalações, em relação ao volume de água consumido. Por outro lado, o sistema encontra-se pouco rentabilizado pelo facto de se encontrar instalado apenas em estações de serviço de lavagens auto. A aplicação em outro tipo de indústrias, como Indústrias de produção de papel, têxtil, química, reciclagem de plásticos, lavandarias e pré-filtração são opções a ter em conta.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA, VANTAGENS VERSUS BENEFÍCIOS

A criação e aperfeiçoamento de técnicas, produtos e processos, neste caso visando o tratamento de água poluída, surge como solução para colmatar as falhas do passado e assegurar as necessidades actuais e futuras ao nível da água. Assim sendo, ao desenvolver uma nova tecnologia é necessário avaliar a vantagem e benefício que a mesma traz para a sociedade, e verificar se é viável e comercialmente aceitável. De seguida, apresenta-se uma tabela com as principais características do sistema LFT avaliando as suas vantagens e benefícios.

Tabela 6. Características do sistema em termos de vantagem/benefício

Característica	Vantagem	Benefício
Reciclagem da água residual	Reduz o consumo de água fresca	Diminui o custo da água
Reduz a quantidade de efluentes	Reduz os custos de eliminação	Aumenta o retorno sobre o investimento
Pode ser adaptado na maioria das estações de lavagem	Reduz a necessidade de tanques e tubagens	Custos reduzidos
Filtros facilmente acessíveis	Fácil de limpar	Custos de manutenção reduzidos
Cria uma água macia	Processo de limpeza utiliza menos detergente	Custos mais reduzidos
Excede os requisitos de água reciclada	Está em conformidade com regulamentações	Evita multas e riscos de encerramento

No entanto, as características do sistema não se esgotam pelas representadas na Tabela 6, dado que o sistema possui ainda desenho modular, construção sólida, materiais de elevada qualidade, longa durabilidade, rendimento elevado, produtividade económica, simplicidade de operação, dimensões reduzidas, substituição de filtros inexistente, vasta gama de aplicações, densidade de filtração garantida, resistente a fibras, inexistência de químicos.

Com as especificações técnicas e características do sistema é possível gerar um efluente tratado que cumpre os requisitos de emissão na descarga de águas residuais (VLE), objectivo prosseguido através do sistema combinado de ozonização e filtração que engloba o Liquid Filtration Technology.

3.3 PROCESSOS ASSOCIADOS AO LFT

Os efluentes tratados com o Liquid Filtration Technology passam essencialmente por duas operações de tratamento, um sistema de filtração e ozonização. Estes dois processos em conjunto, permitem obter água reciclada e reutilizada em boas condições. Com a desinfecção por ozono pretende-se eliminar todos os microrganismos potencialmente nocivos para a saúde pública, dado que apenas alguns agentes patogénicos não são eliminados por este processo. A filtração é um processo que tem como intuito a remoção de partículas em suspensão, através da passagem da água por um meio poroso (Alves, 2007).

3.3.1 TRATAMENTO POR OZONO

A primeira vez que foi utilizado ozono no tratamento/desinfecção de águas ronda o ano de 1893 na Holanda, mas contudo é em França, na estação Bom Voyage (Nice) em 1906 que o tratamento de águas por ozono se destaca (Cavalheiro, 2005). Actualmente, as instalações de desinfecção por ozono devem rondam as 1000 em todo o mundo, quase exclusivamente para o tratamento de águas. O uso mais comum nestas instalações sucumbe-se ao controlo de cheiro, odor e cor. Apesar de antigamente este tipo de utilização fosse só para desinfecção da água, nos tempos actuais com o avanço da tecnologia, vê-se o ozono como solução para a desinfecção de águas residuais com benefícios importantes na vertente económica. (Metcalf & Eddy, 2003)

Na desinfecção de águas poluídas um dos tratamentos possíveis é o ozono, sendo um dos oxidantes mais poderosos no tratamento de águas. Em termos de vantagens do uso do ozono neste tipo de tratamento, reflecte-se principalmente o seu alto potencial de oxidação, aliado a sua pressão parcial ser bastante inferior à do oxigénio diatómico (O_2), facilitando a sua absorção pela água numa interface de bolhas.

A utilização em tratamento de efluentes procura promover uma oxidação e dissociação de compostos orgânicos não-biodegradáveis.

3.3.1.1 ASPECTOS QUÍMICOS E PROPRIEDADES DO OZONO

O ozono em contacto com água, neste caso de efluente, diminui de forma eficiente esporos, germes e vírus, sendo assim, utilizado como desinfectante de água potável, água industrial e água de reciclagem. As propriedades do ozono permitem ainda remover cheiros e odores de efluentes industriais.

A influência directa do ozono com a água induz um processo reactivo, tal como descrito pelas seguintes equações:

$$O_3 + H_2O \rightarrow HO^+_3 + OH^- \quad \text{(eq. 1)}$$

$$HO^+_3 + OH^- \rightarrow 2HO_2 \quad \text{(eq. 2)}$$

$$O_3 + HO_2 \rightarrow HO + 2O_2 \quad \text{(eq. 3)}$$

$$HO + HO_2 \rightarrow H_2O + O_2 \quad \text{(eq. 4)}$$

Os radicais hidroxilo livres, HO e HO_2 conferem ao ozono o poder oxidante elevado, sendo espécies activas no processo de desinfecção (Alves, 2007).

O ozono pode participar em dois tipos distintos de reacção relativamente à velocidade, reacção rápida que provoca a inactivação de microrganismos e promove a oxidação do ferro, magnésio, sulfato e nitrato, e reacção lenta em que ocorre a oxidação de substâncias orgânicas como pesticidas, organismos químicos voláteis e outros componentes orgânicos (Hammer, 1996).

O ozono é um gás instável produzido quando há dissociação das moléculas de oxigénio em oxigénio atómico. Pode ser produzido por electrólise, reacção fotoquímica ou reacção radioquímica por descarga eléctrica. O método da descarga eléctrica é usado para a geração de ozono no tratamento de água e em aplicações de desinfecção à temperatura ambiente normal (Metcalf & Eddy, 2003). As propriedades do ozono encontram-se sumarizadas na Tabela 7.

Tabela 7. Propriedades do ozono (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

Propriedades	Valor
Peso Molecular (g)	48,0
Ponto de Ebulição (ºC)	-111,9 ± 0,3
Ponto de Fusão (ºC)	-192,5 ± 0,4
Calor Latente de Vaporização a 111,9ºC (kJ/kg)	14,90
Densidade do Líquido a - 183ºC (kg/m^3)	1574
Densidade do Vapor a 0ºC e 1 atm (g/ml)	2,154
Solubilidade na água a - 183ºC (mg/L)	12,07
Pressão de Vapor a - 183ºC (kPa)	11,0
Densidade do vapor em relação ao ar seco a 0ºC e 1 atm	1,666
Volume específico de vapor a 0ºC e 1 atm (m^3/kg)	0,464
Temperatura crítica (ºC)	-12,1
Pressão crítica (kPa)	5532,3

A reacção entre as substâncias presentes na água e o ozono, é uma das características que potencia a sua utilização, na medida em que não dá origem à formação de novos compostos estáveis. Na sua natureza, tem aptidão para eliminar macromoléculas orgânicas tal como ácidos fúlvicos e húmidos e degradar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, fenóis e clorofenoís. Entre todas as características enumeradas o ozono é ainda capaz:

- Eliminar os microrganismos mais resistentes;

- Manter inalteráveis as suas características num intervalo de pH 6 a 8,5;

- Proceder a uma desinfecção completa da água, necessitando apenas que as quantidades de matéria orgânica e inorgânicas facilmente oxidáveis sejam contabilizadas;

- Converter substâncias não degradáveis em compostos degradáveis na sua maioria;

- Criar um efeito microfloculante.

Tendo em conta as vantagens de utilização deste processo de tratamento, é impossível pensar que o sistema é perfeito sem falhas ou desvantagens. Entre as principais desvantagens destacam-se:

- Proliferação de microrganismos nas tubagens dos sistemas de distribuição de água potável, pela produção de substâncias mais degradáveis;

- Contribuir para a formação de substâncias tóxicas;

- Carência de poder desinfectante residual (Alves, 2007).

A estabilidade do ozono dissolvido, ou seja, o seu tempo de vida útil sofre mudanças face a factores como o pH, a luz ultravioleta (UV), a concentração de ozono e a concentração de radicais captadores *("scavengers")* (Langlais et al., 1991).

Assim sendo, torna-se vinculativo perceber estes efeitos à luz da cinética de decomposição do ozono. Segundo Marc-Oliver Buffle a decomposição do ozono inicia-se após 350 milissegundos da sua adição. Uma maior dosagem de ozono, aumenta o consumo de ozono antes dos 350 milissegundos mas, diminui mais tarde a razão de decomposição de ozono (Buffle et al., 2006).

Segundo Edna Almeida, em águas naturais a decomposição do ozono é obtida através de uma rápida diminuição da concentração inicial de ozono, acompanhada por uma segunda fase, onde a concentração de ozono diminui de acordo com uma cinética de 1ª ordem. O produto obtido pela decomposição é essencialmente o radical hidroxilo. Em relação à oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos na presença do ozono, esta pode ocorrer durante a ozonização por via molecular (reacções directas - em meio ácido) ou através do radical hidroxilo (reacções indirectas – em meio básico), sendo que normalmente existe a participação dois mecanismos. (Almeida et al., 2004)

A razão de decomposição, medida pelo excesso de radicais captadores, é expressa por uma pseudo-equação cinética de 1ª ordem com a seguinte configuração:

$$-\left(\frac{\partial[O_3]}{\partial t}\right)_{pH} = k'[O_3]^1 \qquad \text{(eq. 5)}$$

e

$$-\left(ln\frac{[O_3]}{[O_3]_0}\right)_{pH} = k't \qquad \text{(eq. 6)}$$

Onde k' é a pseudo constante de 1ª ordem para um determinado valor de pH. Tendo em atenção as equações de reacção do ozono com a água (eq 1) constata-se que a razão de decomposição do ozono é de 1ª ordem com respeito ao ião hidroxilo e ao ozono, resultando na equação seguinte.

$$-\frac{\partial[O_3]}{\partial t} = k[O_3][OH^-] \qquad \text{sendo} \qquad k = \frac{k'}{[OH^-]} \qquad \text{(eq. 7)}$$

Nos processos de tratamento de água, o ozono pode reagir com micropoluentes orgânicos dissolvidos. Os constituintes orgânicos presentes na água podem advir de fontes naturais ou humanas. No caso de ser fonte humana, os constituintes podem ter sido submetidos a mudanças abióticas e bióticas antes de submetidas ao tratamento. A matéria orgânica pode incluir componentes orgânicos naturais (aminoácidos, ácidos fúlvicos e hidratos de carbono) e micropoluentes não transformados (hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, solventes clorados, fenóis, polifenóis substituídos e não substituídos, pesticidas, plastificantes e detergentes) assim como, alguns micropoluentes formados durante o contacto dos diferentes compostos. A reacção do ozono com componentes inorgânicos, encontrados tipicamente na água segue a lei cinética de primeira ordem com respeito aos componentes oxidáveis e ao ozono (Langlais et al., 1991).

3.3.1.2 O PROCESSO DE OZONIZAÇÃO

Um sistema de desinfecção por ozono é composto por diferentes componentes, para promoção de um eficiente tratamento da água ou efluentes. O primeiro componente baseia-se num equipamento para produção de ozono. Como o ozono é quimicamente instável, decompondo-se em oxigénio muito rapidamente após a sua geração, deve ser produzido no local e no momento da aplicação, uma vez que após a sua síntese não pode ser comprimido nem armazenado. O método mais eficiente actualmente para geração de ozono é por descarga eléctrica. O ozono é gerado a partir de ar comprimido ou oxigénio puro quando uma corrente de alta voltagem é aplicada através de eléctrodos.

A aplicação da alta voltagem realiza-se a dois eléctrodos produzindo-se um arco, onde cerca de 1 a 10% do oxigénio diatómico se transforma em ozono. O fluxo de gás gerado por este processo utilizando ar irá conter aproximadamente 1 a 3 % de ozono em peso (concentração mássica de ozono), utilizando oxigénio puro a percentagem supera três vezes o valor anterior, rondando os 3 a 10% (Metcalf & Eddy, 2003 e Alves, 2007).

O segundo componente é um contactor de ozono, concebido especialmente para potenciar o poder oxidante e desinfectante do ozono, proporcionando a dispersão deste gás com a água. Os difusores de pequenas bolhas são exemplos deste tipo de componentes, dispostos em câmaras com deflectores em alternativa ao contactor do género turbina, sendo este último mais comum, o qual se encontra esquematizado na Figura 13.

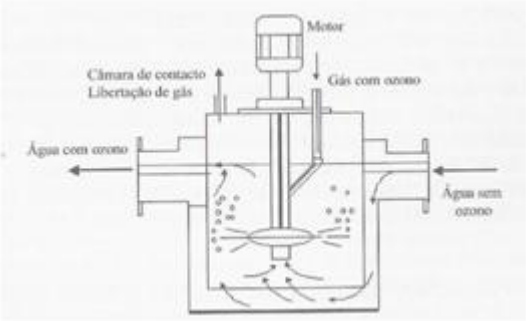


Figura 13. Difusor de turbina (Fonte: Alves, 2007)

Por último é necessário destruir o ozono libertado, dado que o gás libertado excede por vezes os limites aplicáveis de 0,1 ppm definidos pela Occupation Security and Health Admistration (OSHA) (Alves, 2007). O composto formado pela destruição do ozono é oxigénio puro, o qual pode ser reutilizado para a geração de ozono.

3.3.1.3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DO LFT

3.3.1.3.1 Tipologia do gerador de ozono

O gerador de ozono da série C-Lasky foi desenhada para promover uma elevada eficiência, consumo energético baixo e uma produção estável de ozono, recorrendo à oxidação metálica para a geração de ozono, sendo este gerado entre as superfícies dos tubos de quartzo. Este design não só melhora a eficiência da produção de ozono mas também reduz o tempo de manutenção do gerador de ozono.

A série existe em quatro modelos: C-L010DT, C-L010DS, C-L010DTI e C-L010DSI, como pode ser visualizado na Tabela 8. O que difere nos modelos são as características concretas de cada um, evidenciadas pelas letras do modelo. Assim sendo, a letra “D” representa o dobro de quartzo; “T” representa o controlador de tempo; “S” representa o controlador de display digital; “I” representa aplicações industriais.

Tabela 8. Especificações técnicas do gerador de ozono

Modelo	C-Lasky				
	C-L010DT	C-L010DS	C-L010DTI	C-L010DSI	C-L010M
Dimensões (mm)	W300 x L460 x H195	W300 x L460 x H195	W300 x L460 x H195	W300 x L460 x H195	W300 x L460 x H195
Peso (kg)	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Produção de Ozono	10 g/h @ 6 l/min Alimentação a Oxigénio 2 g/h @ 10 l/min Alimentação a Ar	10 g/h @ 6 l/min Alimentação a Oxigénio 2 g/h @ 10 l/min Alimentação a Ar	10 g/h @ 6 l/min Alimentação a Oxigénio	10 g/h @ 6 l/min Alimentação a Oxigénio	2 g/h @ 10 l/min Alimentação a Ar
Sinal da interface	Controlador de tempo On/Off	4-20 mA sinal digital Controlador por display	Controlador de tempo On/Off	4-20 mA sinal digital Controlador por display	Controlador de tempo On/Off
Estrutura	“Descarga Corona” entre as superfícies de dois tubos de quartzo sem a presença de metais				
Gás de alimentação	Oxigénio/ar				
Caudal	2-10 L/min				
Métodos de refrigeramento	Ar				
Saída de Ozono	6 mm “Swagelok”				
Consumo	180 W				
Fonte de alimentação	AC 220-240 W, 50/60 Hz, Monofásica				

A série C-Lasky é capaz de trabalhar com duas tipologias de alimentação. Com fornecimento de ar interno, os modelos C-L010DT e C-L010DS são capazes de produzir 2g/h de ozono. No entanto, a conexão com um sistema externo de suplemento de oxigénio gera uma taxa de fluxo de 6l/min e uma produção de ozono de 10g/h. Os modelos C-L010DTI e C-L010DSI apenas conseguem operar com um sistema externo de oxigénio.

O sistema operando a 25ºC ostenta curvas de performance da concentração e produção de ozono diferentes, consoante a alimentação escolhida, tal como se afigura de seguida.

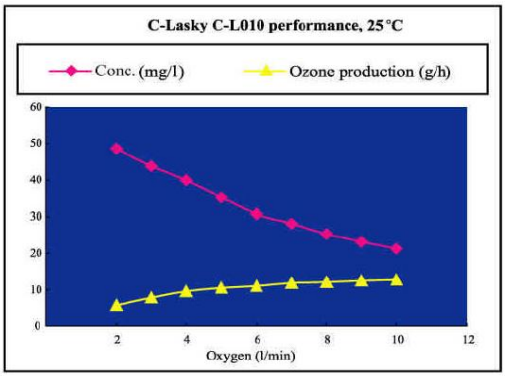


Figura 14. Performance do gerador de ozono em termos da concentração e produção de ozono com o oxigénio

Recorrendo a um sistema externo pode constatar-se na Figura 14 que o seu desempenho na produção de ozono cresce à medida que aumenta o fornecimento de oxigénio em função do volume/tempo. Aos 2 l/min a produção de ozono é de 4 g/h, chegando aos 10 g/h quando se fornecem 10 l/min. Ao invés, na concentração ocorre um decréscimo bastante acentuado ao longo do fornecimento de oxigénio, verificando-se aos 2 l/min um valor de 49 mg/l chegando aos 22 mg/l quando o fornecimento é de 10 l/min.

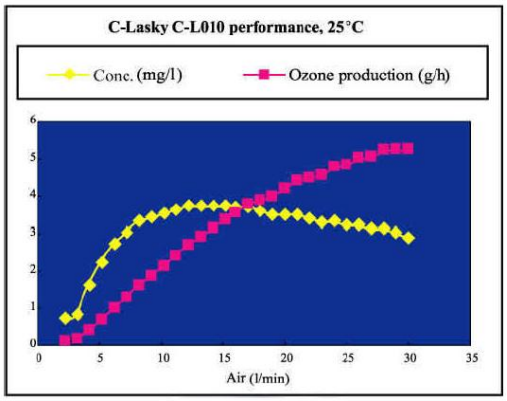


Figura 15. Performance do gerador de ozono em termos da concentração e produção com ar

No caso da utilização do sistema interno, a produção de ozono aumenta com o fornecimento de ar. Representando cerca de 0 g/h com um fornecimento de 2 l/min, chegando aos 5 g/h com um fornecimento de 30 l/min (Figura 15).

Em termos comparativos, com a mesma quantidade fornecida obtêm-se produções de ozono superiores em cerca de 40% no caso do uso do sistema externo. No Liquid Filtration Technology, o sistema de ozono implementado é um C-L010DSI. Especificamente, é um gerador que trabalha com um suplemento externo de oxigénio, em ambientes industriais e possui um controlador de tempo de display digital.

3.3.1.3.2 Contactor de ozono

No processo de desinfecção por ozono o efluente necessita de um recipiente suficientemente grande para se proceder à introdução do ozono (Figura 16).

Figura 16. Tanque para desinfecção do efluente, por ozono

A introdução de ozono executa-se pelo tubo evidenciado na figura anterior. Este tubo entra dentro do cilindro até à placa que se encontra no fundo deste, funcionando a placa como um difusor de turbina onde a difusão se processa por pequenas bolhas que sobem pelo efluente purificando a água. O tempo de contacto do ozono com a água depende da quantidade de efluente que existe dentro do tanque e da concentração em sólidos do efluente.

3.3.2 FILTRAÇÃO

A remoção de orgânicos e inorgânicos coloidais e sólidos suspensos normalmente é acompanhada por uma filtração. Os filtros utilizados para águas residuais existem em três categorias diferentes: filtração em profundidade, filtração de superfície e filtração por membranas e algumas vezes por "Dissolved air flotation – DAF", como visível na Figura 17. Na filtração de profundidade, a remoção do material suspenso dá-se no interior e na superfície do leito filtrante. Por sua vez, na filtração de superfície e por membranas a matéria em suspensão é retirada por esforço, através de uma superfície ou por uma fina membrana de suporte. (Metcalf & Eddy, 2003)

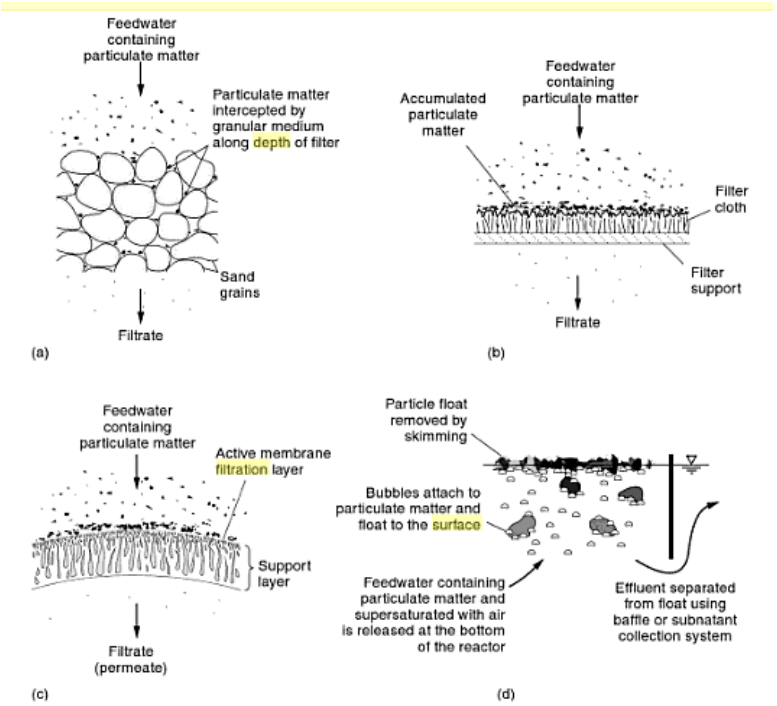


Figura 17. Esboço dos diversos processos/mecanismos para remoção de partículas: a) filtração em profundidade, b) filtração em superfície, c)filtração por membranas e d) por ar dissolvido (Fonte: Asano, 2006)

3.3.2.1 TIPOS DE FILTRAÇÃO

A velocidade com que decorre a filtração é um parâmetro de interesse acrescido na descrição de um processo, uma vez que poderá influenciar ou condicionar o tipo de material a usar, assim como o processo em si.

A filtração pode ser lenta onde a substância filtrante é introduzida numa caixa aberta, escoando a água na vertical influenciada pela gravidade. O próprio material filtrante é de textura fina proporcionando uma velocidade de escoamento lenta. Com as características que o filtro possui forma-se uma camada densa e porosa de microrganismos à superfície desta, favorecendo uma maior eficiência de filtração. Acelerando a filtração, ocorre uma filtração designada de rápida sendo a configuração do sistema de filtragem igual ao anterior. Difere no processo de lavagem que ocorre por inversão do sentido do escoamento, enquanto no lento seria manual. Este tipo de filtração é usado numa sequência de tratamento de águas a jusante e muito comum em tratamento de águas de abastecimento.

Por último e não menos importante, a filtração sob pressão que ocorre no sistema em estudo, Liquid Filtration Technology. A filtração desenrola-se dentro de cilindros metálicos fechados que suportam pressões elevadas, até cerca de 10 atm. Visto que a água é utilizada sob pressão permite o recurso a materiais de baixa porosidade, e em termos de lavagem é igual ao processo de filtração rápida. Estações de tratamento de pequenas dimensões, piscinas e unidades industriais constituem o seu âmbito de actuação (Alves, 2007).

3.3.2.2 TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO MATÉRIA RESIDUAL PARTICULADA SUSPENSA

A filtração é um método que envolve a separação/remoção de matéria coloidal e partículas a partir de um líquido. Posto isto, a filtração por membranas, tem a capacidade de filtrar partículas com tamanho compreendido entre 0,0001 a 1,0 µm. A função primordial da membrana passa por funcionar como uma barreira selectiva, permite a passagem de determinados constituintes travando a passagem a outros que se encontram na água (Metcalf & Eddy, 2003).

Nesta secção proceder-se-á classificação dos diferentes processos que podem ocorrer na membrana e à descrição das configurações da mesma.

3.3.2.2.1 Processos que sucedem na membrana

Os processos que podem ocorrer na membrana incluem a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (RO), diálise e electrodiálise (ED). A classificação destes processos pode ser efectuada através do tipo de material que a membrana é constituída, da natureza da força motriz, dos mecanismos de separação e do tamanho nominal que a separação consegue alcançar. Os métodos descritos encontram-se classificados segundo as características referidas na Tabela 9.

Tabela 9. Características dos processos decorrentes da membrana (Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003)

Processos	Força motriz da membrana	Mecanismos típicos de separação	Estrutura de operação (Tamanho dos poros)	Faixa de operação típica, µm	Descrição das substâncias filtradas
Microfiltração	Diferença da pressão hidrostática ou vácuo em recipientes abertos	Crivo	Macroporos (> 50 nm)	0,08 – 2,0	Água + Solutos dissolvidos
Ultrafiltração	Diferença da pressão hidrostática	Crivo	Mesoporos (2 – 50 nm)	0,005 – 0,2	Água + Pequenas moléculas
Nanofiltração	Diferença da pressão hidrostática	Crivo + solução /difusão + exclusão	Microporos (< 2 nm)	0,001 – 0,01	Água + Moléculas muito pequenas, solutos iónicos
Osmose reversa	Diferença da pressão hidrostática	Crivo + difusão + exclusão	Compacto (<2 nm)	0,0001 – 0,001	Água + Moléculas muito pequenas, solutos iónicos
Diálise	Diferença da concentração	Difusão	Mesoporos (2 – 50 nm)	-	Água + Moléculas pequenas
Electrodiálise	Força electromotriz	Troca iónica com membranas selectivas	Microporos (<2 nm)	-	Água + solutos iónicos

No caso do sistema Liquid Filtration Technology, o processo que ocorre designa-se por microfiltração. O filtro é constituído por um tubo de estrutura circular que serve de apoio a estruturas de fio de aço inoxidável fixadas no seu interior em forma de trapézio, deixando aberturas entre os enrolamentos de 25 a 1000 µm (> 50 nm) de largura. Assim, a estrutura age como um filtro a partir do exterior para o interior, transformando-se num sistema de filtração de fluxo de alta performance. A Figura 18 representa uma fotografia do tubo descrito.

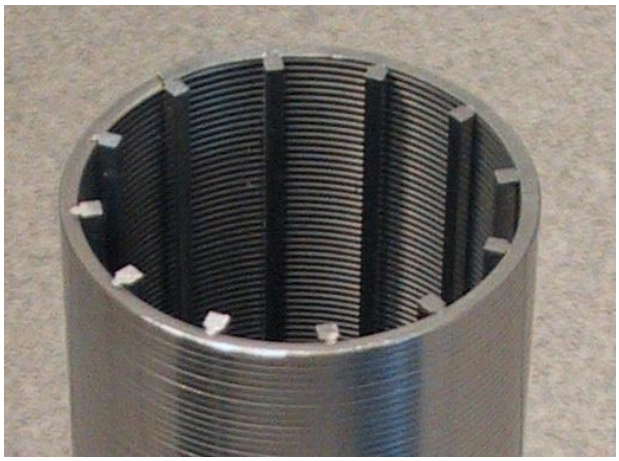


Figura 18. Tubo de suporte à filtração

3.3.2.2.2 Configurações da membrana

Em relação à membrana filtrante, o termo usual para definir a unidade completa composta por membranas, a estrutura de suporte de pressão destas e principalmente a estrutura de suporte essencial, é o módulo. Existem diferentes tipologias de módulos de membranas usadas para tratamento de águas residuais, sendo do tipo planar, tubular, fibra oca e espiral. As membranas com a constituição planar são do tipo “Plate and frame”, dispostas paralelamente sendo separadas por espaçadores e suportes porosos. O tipo tubular é normalmente formado por tubos de material polissémico ou cerâmico, com um diâmetro maior que 10 nm, e é um tipo de módulo presente na geometria cilíndrica. No caso das fibras ocas organizam-se na forma de cartuchos com centenas de fibras de diâmetros entre 100 e 500 µm. Esta configuração é comummente usada em microfiltração e ultrafiltração. Por último, a tipologia em espiral é a mais requerida em contextos industriais para microfiltração, ultrafiltração e osmose reversa. A constituição passa por membranas planares, suportes e espaçadores que se encontram fixados e enrolados num tubo colector central onde flui o permeado. (Garcia et al., 2007) No sistema LFT o módulo que mais se aproxima à realidade é de tipo espiral, onde o filtrado flui do exterior para o interior através de microporos.

3.3.2.2.3 Perda de carga num leito filtrante

O conceito de perda de carga num meio encontra-se interligado ao tipo de escoamento que ocorre na conduta. Em escoamento sobre-pressão, caso de estudo em causa, o cálculo deste parâmetro consegue-se por resolução da derivação da equação de Carman-Kozeny:

$$\frac{dh_l}{dL} = \frac{1}{\psi}\frac{1-e}{e^3}\frac{U^2}{g}\frac{f_1}{d} \qquad \text{(eq. 8)}$$

O uso desta equação deve-se às características do meio filtrante. Uma vez que o tamanho das partículas não é uniforme e após sucessivos ciclos de filtragem o filtro passa a não reter apenas as partículas de maiores dimensões à sua superfície mas também as de menor, a perda de carga num meio filtrante depende portanto do caudal, pressão, concentração de sólidos suspensos e das características da matéria em suspensão e do meio em questão (Alves, 2007).

3.3.2.3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LFT

Tendo em conta as características do LFT, Tabela 5, verifica-se que a densidade do filtro, independentemente do tipo de sistema escolhido, é de 30 mícron. Genericamente, o filtro desta tecnologia foi desenvolvido para filtrar partículas desde os 25 aos 1000 mícron, não necessitando para isso de uma substituição regular de filtros, nem de remoção de resíduos dos mesmos. O LFT não necessita de manutenção regular nem de uma limpeza manual, visto esta ser feito de modo automático. A perda residual do sistema filtrante ronda os 1 a 10%, variando em função da carga de partículas contidas nas águas residuais. Na Figura 19 encontra-se esquematizado o princípio de funcionamento do filtro e do sistema filtrante, enquanto na Figura 20 pode visualizar-se os pormenores interiores do filtro.

O sistema é equipado com uma cabine de controlo onde se encontra um alarme caso o sistema não esteja a trabalhar correctamente. Através de um LC-display, a falha pode ser imediatamente enviada por SMS ou correio electrónico para o responsável.

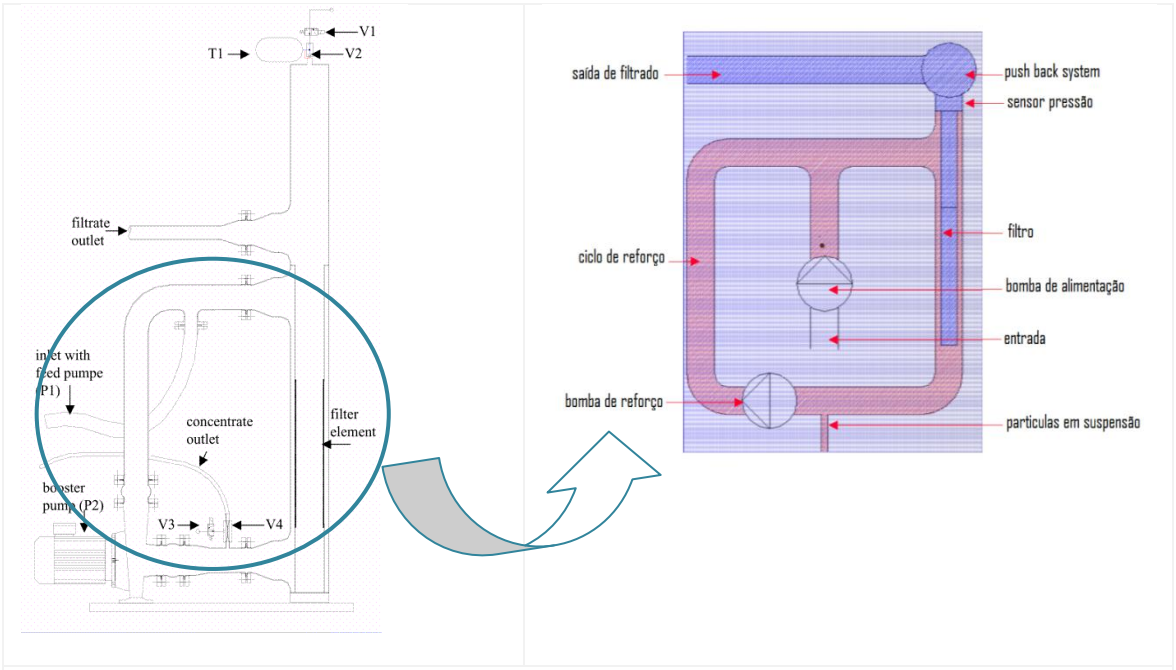


Figura 19. Funcionamento do sistema filtrante

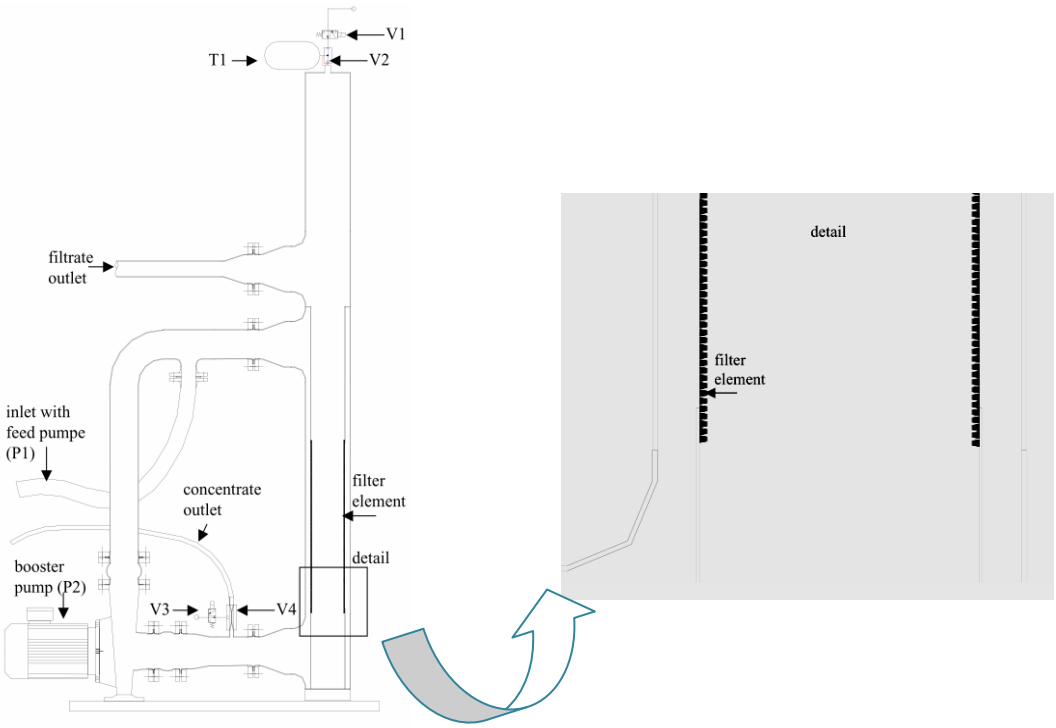


Figura 20. Detalhe da concepção da membrana filtrante

4 CASOS DE ESTUDO: INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL DO LFT

Os testes realizados ao equipamento permitiram obter um conjunto de dados que se apresentam, analisam e discutem nas secções seguintes. Estes valores dizem respeito à caracterização físico-química da água residual, no caso da Estação de Lavagem de carros de Albergaria-a-Velha e no Matadouro de Aves de S. Pedro do Sul, assim como à avaliação da eficiência do sistema LFT, nos aspectos operativos e funcionais.

4.1 METODOLOGIA

4.1.1 PARÂMETROS ANALÍTICOS

No decorrer deste trabalho, as análises realizadas aos parâmetros de monitorização (carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV)), foram efectuadas segundo os métodos dispostos no manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (1998).

A carência química de oxigénio obtêm-se pela medição da quantidade de agente químico oxidante que não sofre redução pela matéria orgânica presente na amostra.

As análises de CQO efectuadas, basearam-se na digestão das amostras à temperatura de 150ºC durante 2 horas, tendo sido oxidadas por dicromato de potássio em meio ácido. O valor da matéria oxidável foi obtido através da leitura da absorvância em espectrofotometro, na gama do visível considerando a variação de cor face a uma amostra padrão, tendo em atenção a gama de leitura adequada.

A carência bioquímica de oxigénio é uma medida indirecta da matéria orgânica na água, ou seja, mede a quantidade de oxigénio necessária para a oxidação da matéria orgânica biodegradável, tendo em consideração os teores em oxigénio dissolvido na água, antes e após o período de incubação .

Para a determinação do CBO, é importante a avaliação do factor de diluição, o qual pode ser calculado por uma determinação preliminar do CQO. Seguidamente, procede-se ao enchimento da garrafa com a amostra, colocam-se as pastilhas de hidróxido de sódio e fecha-se com a tampa OxiTop. As garrafas são colocadas na incubadora a 20ºC durante 5 dias, altura da leitura e cálculo do CBO_5.

O teor em sólidos suspensos totais (SST), traduz-se pela quantidade de partículas que se encontram em suspensão na amostra devido às suas dimensões, excluindo deste grupo a matéria dissolvida e coloidal de pequenas dimensões. A separação entre sólidos suspensos e dissolvidos deve-se às características do filtro (porosidade, área, espessura e natureza física), ao tamanho das partículas e à quantidade de material depositado.

A filtração dos SST processa-se sob vácuo, submetendo uma pequena quantidade da amostra à passagem por um filtro, sendo posteriormente sujeito o resíduo a uma secagem na estufa a 105ºC. O filtro após arrefecimento num excicador é pesado, obtendo-se por diferença de pesos antes e depois da secagem o teor em SST.

O teor em SSV, obtêm-se no seguimento do processo anterior utilizando o filtro previamente seco em estufa, incinerando-o em mufla a 550ºC até atingir um peso constante. O cálculo dos SSV determina-se por pesagem do filtro, após sair da mufla e arrefecido até à temperatura ambiente em excicador, antes e após a filtração da amostra.

4.2 ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE CARROS DA BP

De acordo com o que foi dito anteriormente, o equipamento foi colocado numa estação de lavagens de veículos em Albergaria-a-Velha.

A análise das águas residuais provenientes desta estação permitiram efectuar um estudo laboratorial das características físico-químicas, possibilitando uma análise das vantagens e desvantagens do sistema.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

As propriedades do efluente a tratar são um ponto fulcral para a interpretação e discussão dos resultados, pela reacção que certas substâncias presentes possam ter em contacto com o ozono. Assim sendo, a água de lavagem de automóveis é um efluente com características especiais, constituído tipicamente por contaminantes tais como: detergentes, ceras, óleos e gorduras.

A sujidade das rodas, sal, metais pesados, ácidos da bateria e outros químicos derramados podem também existir na constituição do efluente em causa.

Os detergentes quando adicionados à água mudam as propriedades da mesma à superfície ou na interface. A sua estrutura é formada por 2 partes: a hidrofílica e a hidrofóbica. A primeira é solúvel em água, enquanto a segunda parte não é solúvel em meio aquoso. Dependendo da parte hidrofílica os detergentes são divididos em 4 grupos: anionícos, cationícos, não-ionícos e anfotéricos.

A cera é usada como camada protectora da superfície do automóvel. Na lavagem automática, a cera é pulverizada no fim da lavagem. Os possíveis ingredientes da cera utilizada são: cera carnaúba, óleo selante mineral e silicones.

Os óleos e gorduras são substâncias que como seria de esperar existem na água de lavagem. A composição exacta destes produtos é desconhecida, sendo que a maioria é uma mistura de diferentes componentes.

4.2.2 DADOS LABORATORIAIS

Nesta secção serão analisados os resultados obtidos das amostragens realizadas, tendo em conta diferentes parâmetros de controlo de qualidade para águas residuais, a dosagem de ozono aplicada e a eficiência de remoção de CQO e CBO_5. Assim sendo, na Tabela 18 no anexo C são apresentados os valores de exploração recolhidos em três pontos diferentes, por cada dia de amostragem, após tratamento analítico.

A análise interpretativa dos resultados é ilustrada pelas figuras 21, 22 e 23, focando os efeitos da dose de ozono nos parâmetros de CQO e CBO_5. Com efeito, no processo de ozonização o parâmetro principal é a dose aplicada durante o tratamento. Em termos de quantidade de oxigénio fornecido ao sistema, foram testadas três dosagens de 4, 6 e 8 l/min. A tradução destes valores para produção de ozono e concentração é dada pela interpolação dos valores com a Figura 14, constante no capítulo 3 deste documento. Assim sendo, a Tabela 10 mostra os dados relativos à quantidade de ozono aplicada.

Tabela 10. Interpolação dos valores de alimentação com a Figura 14

Alimentação O_2 (l/min)	Produção de Ozono (g/h)	Concentração (mg/l)
4	9	40
6	10	30
8	11	25

A variação da taxa de alimentação de O_2 teve como intuito estudar a variação da eficiência de remoção de matéria orgânica e inorgânica com o aumento do ozono. Pela Tabela 10 é possível afirmar que o aumento da produção de ozono contrasta com a diminuição acentuada da concentração. O facto deste último parâmetro decrescer com o aumento da alimentação prende-se com a quantidade de O_2 gerada, isto é, quanto maior a concentração de oxigénio fornecida maior será a taxa de destruição de ozono e menor a taxa de decomposição do ozono. Assim sendo, uma taxa de decomposição menor provoca uma menor eficiência de tratamento.

A cor do efluente tratado é um ponto importante na percepção da influência do ozono neste tipo de águas. A diminuição de cor rondou os valores de 40-60% (em termos visuais) da cor inicial, após 10 min do início da ozonização consoante o dia e as condições da amostragem. Estes resultados indicam que o tratamento por ozono é eficaz na redução da cor de efluentes industriais procedentes de lavagens auto, em função da dosagem, do tempo de contacto, da velocidade ascensional das bolhas e da concentração proporcionada pelo efluente em termos de cor.

As variações de CQO durante o processo de ozonização encontram-se ilustradas na Figura 21 sendo de referir que a linha verde diz respeito ao efluente sem tratamento e a linha a azul ao efluente tratado. A linha vermelha apresentada no gráfico corresponde aos valores de CQO antes do Separador de Hidrocarbonetos. As oscilações das linhas tornam-se mais evidentes em alguns dias da amostragem, devido às seguintes razões:

- A existência de diferentes programas de lavagem, o número de lavagens por dia e o tipo de lavagem requerida por cada carro torna variável a composição do efluente

- O processo de tratamento existente na estação consiste em 3 tanques de decantação seguido de um separador de hidrocarbonetos, culminando num último tanque de decantação antes da descarga no meio receptor. O facto das águas da lavagem automática não entrarem neste circuito levou à necessidade de bombear essas águas para o primeiro tanque de decantação, dando inicio à sequência de processo de tratamento. Assim sendo, como esta transferência apenas era efectuada na hora das amostragens e com muita pressão, a água não tinha tempo suficiente para decantar devidamente dentro dos tanques antes de passar para o tanque seguinte. A sedimentação das lamas não sendo efectuada de forma correcta provoca variação das amostras recolhidas.

- As condições climatéricas registadas durante alguns dias de colheita provocaram adulteração nos resultados. A chuva que ocorreu nesses dias provocou a diluição do efluente e consequentemente valores negativos e menos significativos para análise, considerando que o tempo total de retenção hidráulico do sistema de decantação era superior à diferença temporal que existia entre a recolha das amostras nos diferentes pontos de amostragem.

- No dia das amostragens 7 e 8 o equipamento teve problemas técnicos, criação de uma bolsa de ar dentro do tubo procedente da bomba de captação, provocando assim o inverso do que se pretendia. Os sólidos provenientes do push back do sistema que deveriam sair pela abertura da válvula 4, saiam a consumo, isto é, juntamente com a água tratada. A água tratada encontrava-se mais poluída, com um grau de partículas em suspensão mais elevado que o efluente sem tratamento.

- No dia antes da amostragem 9 e 10 procedeu-se à manutenção do equipamento, facultando assim uma colheita viável.

- A análise quantitativa dos sólidos suspensos totais e voláteis mostrou-se desnecessária na discussão dos resultados, como é possível visualizar no anexo C, Tabela 18. O teor de sólidos à entrada é relativamente baixo em relação ao esperado, não existindo por isso uma diminuição significativa em termos de eficiência do LFT. Assim sendo, a partir do dia da 5ª amostragem não foram realizadas mais análises a este parâmetro, tendo sido realizada neste dia e no dia da 9ª e 10ª amostragem uma análise ao CBO_5, valores constantes no anexo C.

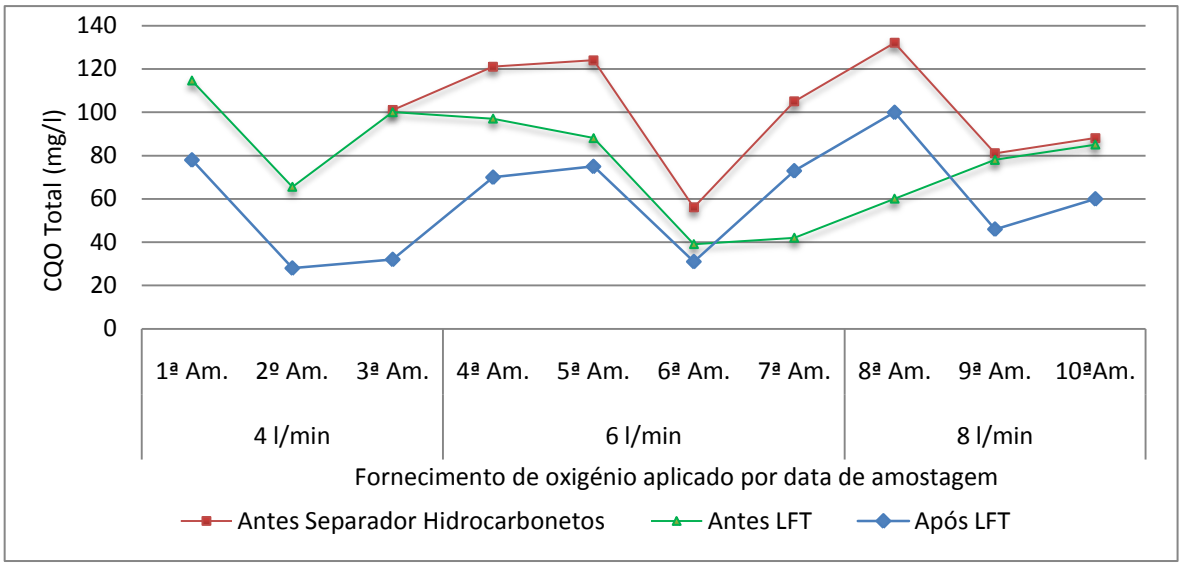


Figura 21. Variações de CQO total com diferentes taxas de alimentação (tempo de contacto: 10-15 min)

A visualização da Figura 21 levanta a questão de ser avaliada a razão pela qual apesar das concentrações de CQO à entrada serem mais baixas em determinados dias, o ozono não conseguir diminuir em termos mais significativos os valores à saída. A explicação para esse facto, pode dever-se à necessidade de maiores tempos de contacto para essas amostras. Como o efluente é menos carregado por matéria orgânica, os componentes que existem no efluente podem ter longas cadeias de moléculas orgânicas. Assim sendo, o ozono como oxidante necessita de quebrar as ligações em moléculas menores e mais susceptíveis à sua acção oxidativa, necessitando de maior tempo de contacto.

Em contraste com a variação da cor que diminui com o aumento da produção de ozono, a remoção de CQO tem maiores eficiências com valores de alimentação de oxigénio mais baixas, como visualizado na Figura 22. A eficiência de remoção de CQO varia consoante a alimentação fornecida, parecendo haver uma dose óptima de funcionamento para o sistema de cerca de 4 l/min, sustentando uma eficiência média de 50-60%.

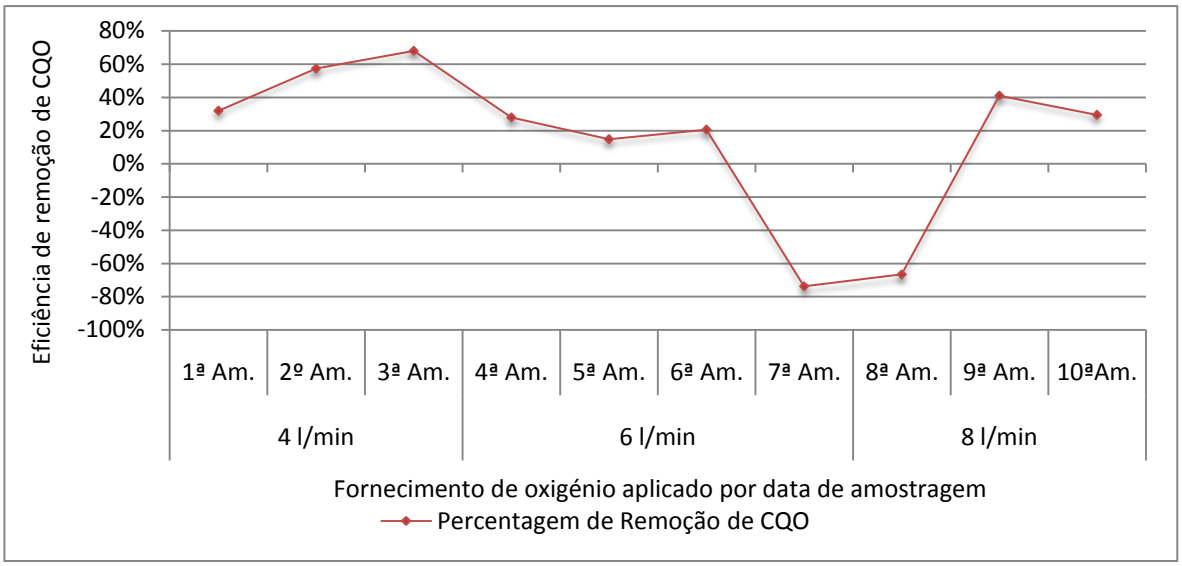


Figura 22. Variação da eficiência de remoção de CQO total, com diferentes taxas de alimentação

A análise da figura 23 permite verificar que a matéria orgânica presente no efluente é praticamente inexistente, rondando uma média de 21 mgO_2/l no final do processo de tratamento da Estação de Lavagens. Após o tratamento do LFT, barras a verde, verifica-se um decréscimo pouco significativo com o aumento do fornecimento de oxigénio.

A diminuição do CBO_5 pode simplesmente dever-se à irregularidade das águas de lavagem. Assim sendo, a constituição do efluente é maioritariamente matéria inorgânica passível de ser oxidada, como visualizado na análise das figuras 21 e 22.

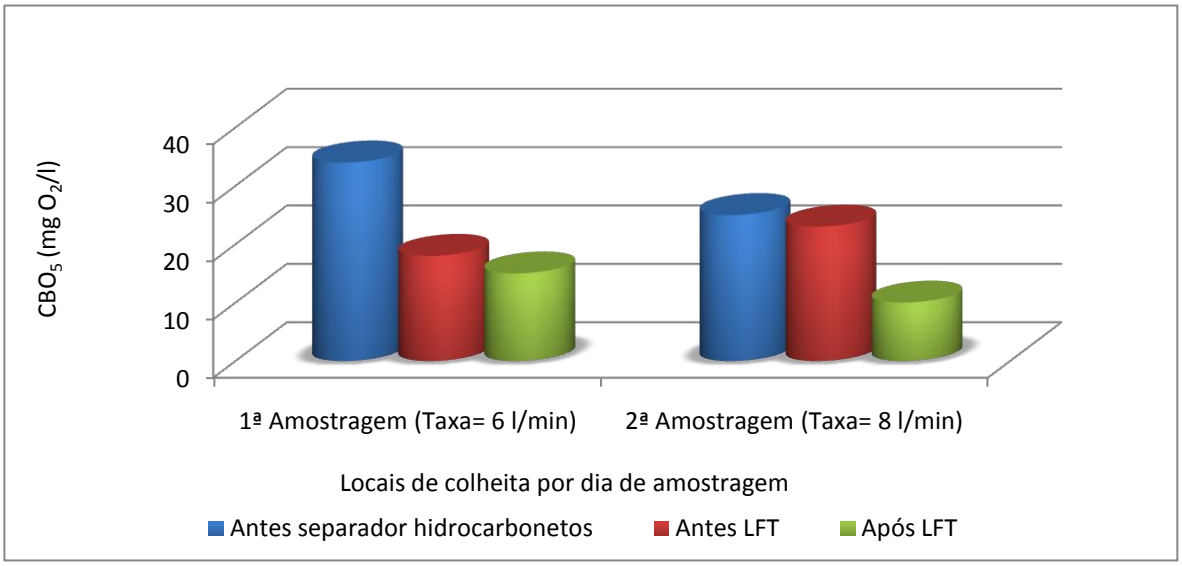


Figura 23. Variação de CBO_5 com diferentes taxas de alimentação

A biodegradabilidade do efluente é avaliada com base nas variações da razão CBO_5/ CQO, assim sendo após o tratamento com o LFT a razão ronda uma média de 0,21 para os dois dias de amostragens, onde se recolheu amostra para análise de CBO_5 e CQO. O valor obtido demonstra a baixa biodegradabilidade do efluente.

4.2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO LFT

A instalação do Liquid Filtration Technology numa Estação de Lavagens proporciona vantagens como inconvenientes, as quais são apresentadas na Tabela seguinte.

Tabela 11. Considerações finais da instalação do LFT na Estação de Lavagens

Vantagens	Desvantagens
Remoção de cor da água. Remoção adicional de CQO.	Para a instalação e implementação efectiva do LFT neste local, são necessárias obras na estação de tratamento.
O ozono não necessita de armazenagem ou deslocação de reagentes químicos tóxicos.	O tempo de contacto do ozono com a água modifica-se consoante a qualidade do efluente de cada dia.
Permite a reutilização de cerca de 50-60% da água, diminuindo os consumos mensais.	

4.3 MATADOURO DE AVES

Nesta secção apresentam-se os dados de laboratório obtidos no caso do Matadouro, bem como as vantagens e inconvenientes do LFT neste local.

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Os efluentes provenientes de matadouros industriais apresentam na sua constituição elevados teores de CQO, CBO, óleos, gorduras e Sólidos Suspensos Totais. As águas residuais produzidas provêm da zona de recepção/alojamento das aves que contêm fezes e urina arrastadas na água de lavagem, da zona de abate levando elevadas quantidades de sangue e da zona de extracção das vísceras que carrega o efluente com elevadas quantidades de matéria orgânica e gordura.

O efluente global pode ainda apresentar na sua constituição componentes presentes nos detergentes, quer de lavagem como desinfecção das instalações.

4.3.2 DADOS LABORATORIAIS

Antecedendo a apresentação dos resultados obtidos, é vinculativo a explicação das condições em que se efectuaram as medições. Assim sendo, as amostras foram recolhidas por duas ocasiões distintas no tempo, tendo a colheita ocorrido na saída do decantador, após todas as etapas do processo de tratamento da ETAR e na saída do LFT.

O procedimento de colheita facilitou o cálculo da eficiência do LFT, bem como a visualização dos efeitos do tratamento nos parâmetros físico-químicos, como evidenciado pela Tabela 12. Em relação aos parâmetros monitorizados mediu-se a quantidade de sólidos em suspensão na água e a actividade química global da água. A dose de ozono aplicada ao sistema teve por base os resultados obtidos no caso de estudo anterior, assim sendo forneceu-se ao sistema 4 l/min de oxigénio.

Tabela 12. Dados laboratoriais do Matadouro de Aves

		CQO Total (mg CQO/l)	CQO Solúvel (mg CQO/l)	SST (mg/ml)	SSV (mg/ml)
1ª Amostragem	Saída do Decantador	166	93	0,047	0,047
	Saída do LFT	146	86	0,050	0,046
2ª Amostragem	Saída do Decantador	51	35	0,032	0,021
	Saída do LFT	49	35	0,024	0,022

Após uma análise aos valores obtidos observa-se que os resultados não coincidem com os esperados para o equipamento. Em relação à carência química de oxigénio, o ozono mostrou-se ineficaz na redução deste parâmetro para valores mais significativos. Sendo que o tempo de contacto do ozono com a água residual não interfere significativamente com este parâmetro.

O filtro da estação de tratamento tem um funcionamento óptimo, demonstrado pelos valores apresentados, não existindo grandes teores de sólidos suspensos totais. No processo de oxidação fomentado pelo incremento do ozono, este não promove a formação de precipitados, conduzindo à quase inexistência de sólidos, sendo estes maioritariamente sólidos biológicos, razão pela qual se procedeu à contabilização de sólidos suspensos voláteis. A geração de sólidos biológicos, criados pelo processo desenrolado na ETAR propiciou alguns problemas técnicos no equipamento. A colmatação do filtro mostrou-se ser o caso mais grave, tendo obrigado a uma limpeza manual do filtro, levando à desacreditação deste equipamento para este tipo de indústrias.

Concludentemente, para esta indústria o LFT não se torna um equipamento viável, tanto na redução dos parâmetros físico-químicos como mesmo em termos de operacionalidade. Encontra-se certa a sua vantagem na remoção de odor e cor mas sem a incrementação de algum equipamento extra de filtragem torna-se ineficaz por si só.

4.3.3 VANTAGENS E INCONVENIENTES DO LFT

A localização do Liquid Filtration Technology neste âmbito de indústrias, com uma ETAR com tratamento biológico, apresenta alguns benefícios e malefícios, como se pode constatar na Tabela que se afigura.

Tabela 13. Considerações finais da instalação do LFT no Matadouro

Vantagens	Desvantagens
Remoção de sabores e odores desagradáveis, bem como a remoção da cor da água.	Os parâmetros físico-químicos não sofrem mudanças significativas
O ozono não necessita de armazenagem ou deslocação de reagentes químicos tóxicos.	As características do efluente promovem a colmatação do filtro. Necessita de um equipamento extra para um funcionamento pleno.
O tempo de contacto do ozono com a água é relativamente curto, devido às características do efluente serem constantes.	.

5 PROJECTO ECONÓMICO DE INVESTIMENTO

Em termos legais, o Decreto-Lei nº. 97/2008 enfatiza algumas das principais questões em redor das taxas de recursos hídricos. A disponibilidade e utilização da água são um problema central no seio governamental, sendo necessário gerar condições para uma gestão sustentável. A reutilização da água é uma via para a eventual minimização dos custos associados aos diferentes tipos de taxas e tarifas que as indústrias suportam, devido à captação, consumo e descarga de águas residuais. É nesta perspectiva que o investimento e custos de operação de sistemas de tratamento que visem a reutilização de água devem ser analisados.

A protecção da saúde pública assegurando um bem-estar das populações e a sua segurança são questões essenciais dependentes da prestação dos serviços públicos de carácter estrutural. Por serviços públicos, entende-se as actividades de abastecimento público de água às populações, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos sólidos. Não obstante, estes serviços devem assentar em princípios de universalidade no acesso, de continuidade e qualidade de serviço e de eficiência e equidade dos tarifários aplicados. (Decreto-Lei nº194/2009 de 20 de Agosto)

A sustentabilidade dos sistemas de abastecimento, saneamento e resíduos sólidos é assegurada pelo Plano Estratégico de Abastecimento de Águas e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II), que procura a revisão dos tarifários actuais.

A publicação do Decreto-lei nº 194/2009 de 20 de Agosto veio estabelecer princípios orientadores de sustentabilidade económica e financeira, para o sistema e para o utilizador-pagador. Concretiza-se desta forma as orientações preconizadas na Directiva Quadro da Água, transposta para o direito nacional pela Lei da Água.

A revisão dos tarifários e regulamentos torna-se uma questão de importância acrescida, sendo necessário optar por instrumentos de apoio à sua concretização. A Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos, com vista à concretização de medidas de apoio formulou a recomendação nº 01/2009 a 28 de Agosto. Promove não só a harmonização da estrutura tarifária a nível nacional, assim como uma diafaneidade superior aos utilizadores das tarifas cobradas (Soares, 2009).

Concludentemente, através de todos os momentos legislativos referidos verifica-se a necessidade de revisão dos tarifários, sendo os próprios municípios a analisar e a ajustar os seus preços finais.

A elaboração de um projecto de investimento contorna três pontos fulcrais: os custos de investimento, os custos de exploração e os custos totais actualizados e tarifas. Assim sendo, nesta secção pretende-se condensar os indicadores económicos de rentabilidade da tecnologia, os elementos de suporte à viabilidade económica, assim como os pressupostos em que assentam. O estudo económico fornece uma visão face às conjunturas orçamentais, conjugando os gastos e consumos administrados.

O estudo económico é uma questão muito sensível e com importância acrescida na definição de todo o sistema Liquid Filtration Technology e no que concerne à sua configuração. Assim sendo, com o intuito de prever e quantificar quais os custos da instalação actualizados, procedeu-se neste trabalho à aplicação de uma Taxa de Actualização aos valores obtidos.

A rentabilidade que um investidor pretende para a implementação de um projecto de investimento, traduz-se simplesmente por uma Taxa de Actualização, sendo utilizada no mesmo seguimento para actualizar os Cash Flows gerados pelo investimento. Em termos reais, a Taxa de Actualização é considerada por uma empresa como um factor crítico, funcionando como condição de aceitação ou rejeição de um investimento. A probabilidade de um projecto ser economicamente viável passa pela aplicação desta taxa ao cálculo do Valor Líquido Actual. O VAL traduz-se por um somatório dos Cash Flows anuais, actualizado à Taxa de Actualização, genericamente calculado pela seguinte formula,

$$VAL = \sum_{K=0}^{N} \frac{CF_K}{(1+T_A)^K} \qquad \text{(eq. 9)}$$

onde CF_K são os Cash Flows do período K, N corresponde ao número de anos do projecto de investimento e T_A é a Taxa de Actualização.

A probabilidade do projecto de investimento ser economicamente viável é tanto maior, quanto maior for o Valor Actual Líquido, uma vez que, um valor de VAL maior que zero permite cobrir o investimento inicial, bem como a remuneração mínima exigida pelo investidor (T_A), e ainda é passível de gerar um excedente financeiro. Ao querer exigir uma maior rentabilidade do projecto, ou seja, aumentando a Taxa de Actualização, o VAL tende a diminuir. Assim sendo, o VAL corresponde ao valor do maior rendimento que se pode retirar do investimento, aumenta o grau de credibilidade necessário para a apreciação do projecto e representa o valor temporal do dinheiro como custo de oportunidade.

5.1 CARACTERIZAÇÃO E CUSTOS DE INVESTIMENTO

A caracterização de um projecto rege-se por diferentes aspectos: o mercado, os produtos, os empreendedores, entre outros. A descrição da envolvente do projecto é um ponto crucial onde se projectam diversos cenários que podem ocorrer, condicionando os requisitos de exploração e implementação estabelecidos. Neste caso, em termos de condicionalismos pode focar-se o aumento dos preços relativos ao abastecimento de água e saneamento, a aplicação das taxas de recursos hídricos, tal como todos os custos associados que podem sofrer agravamentos económicos consoante as condições do mercado. A análise do mercado visa articular elementos como o produto em si, a procura deste e os concorrentes que possam existir.

Na Tabela seguinte encontram-se resumidos os custos estimados para o investimento inicial nos dois locais em estudo.

Tabela 14. Custos de investimento associados aos dois locais propostos

Matadouro de Aves		Estação de Lavagens	
Investimento total (€)		Investimento total (€)	
Equipamento	Infra-Estruturas	Equipamento	Infra-Estruturas
25.000 €		25.000 €	

5.2 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO E TARIFÁRIOS

Os custos de exploração foram estimados com base em indicadores para cada um dos locais em estudo, incluindo a manutenção e conservação, a energia eléctrica e o consumo de água.

Os custos da água são considerados internalizados nos custos associados ao funcionamento da Estação de Lavagens e do Matadouro, uma vez que o equipamento apenas reutiliza as águas previamente utilizadas. Para efeitos de contabilização dos consumos mensais de água, no caso da Estação de Lavagens foi realizada uma estimativa em relação ao número de veículos por mês e à quantidade de água requerida por carro. No Matadouro, o consumo de água é real, com base no número de aves abatidas por dia e na quantidade de água por ave.

A energia eléctrica é um parâmetro de menor interesse, devido ao consumo necessário para o funcionamento do equipamento ser praticamente nulo. Os custos de exploração foram actualizados a uma taxa de inflação de 8% ao ano.

A conservação e manutenção dizem respeito à reparação técnica de algum problema que possa advir da constante utilização do equipamento, sendo que o LFT tem uma garantia de 5 anos sobre o filtro, e o restante equipamento garantia mínima de 2 anos.

Com vista à realização de cálculos e conclusões torna-se necessário o estabelecimento dos valores monetários aplicados em cada local, como se afigura na tabela 15. Por valores monetários entende-se a taxa de recursos hídricos aplicada por cada m^3 de água e saneamento e a taxa de disponibilidade fixa e variável de água e saneamento. Os consumos de água foram aplicados aos cálculos das taxas, tendo por base valores de 11000 m^3/mês e 85 m^3/mês no caso do Matadouro e da Estação de Lavagens, respectivamente. O recurso ao Liquid Filtration Technology permite a redução dos consumos de água limpa em 60% na Estação de Lavagens e 30% no Matadouro, valores estimados.

Tabela 15. Tarifas aplicadas aos consumos, nos locais de implementação

Matadouro de Aves		Estação de Lavagens	
Despesas água e saneamento (€/mês) sem LFT	Despesas água e saneamento (€/mês) com LFT	Despesas água e saneamento (€/mês) sem LFT	Despesas água e saneamento (€/mês) com LFT
51.812,78	36.269,78	238,73	103,57

Na Tabela 16 encontram-se os custos estimados de exploração por ano, para os dois locais em estudo.

Tabela 16. Custos de exploração associados aos dois locais propostos

Matadouro de Aves		Estação de Lavagens	
Custos de Exploração (€/ano) sem LFT	Custos de Exploração (€/ano) com LFT	Custos de Exploração (€/ano) sem LFT	Custos de Exploração (€/ano) com LFT
621.753,37	435.237,37	2.864,76	1.242,89

5.3 POUPANÇA MENSAL

Do exposto nas secções anteriores resulta a poupança gerada pela utilização do LFT, como é possível visualizar na Tabela 17.

Tabela 17. Poupança associados aos dois locais propostos

Matadouro de Aves	Estação de Lavagens
Poupança (€/ano)	Poupança (€/ano)
186.516,00	1.621,87

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas figuras apresentadas de seguida é possível visualizar a evolução do valor actual líquido, assim como a variação da poupança acumulada ao longo dos anos actualizada para 10%, valor referente à Taxa de Actualização, para um horizonte de projecto de 24 anos. O valor desta Taxa pode ser traduzido por uma Taxa de Juro sem risco, isto é, uma Taxa de juro média das Obrigações Tesouro (OT's), acrescida de um prémio de risco estabelecido para o tipo de projecto em causa. Considerando um prémio de risco de 7% e uma Taxa de juro OT de 3%, obtêm-se uma Taxa de Actualização de 10%.

Em termos de cenários de estudo, tem-se o caso de Albergaria-a-Velha, Estação da Lavagem e o caso de São Pedro do Sul, Matadouro de Aves. O estudo detalhado encontra-se no Anexo D.1 e Anexo D.2, respectivamente.

5.4.1 ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE CARROS DA BP

A poupança anual do equipamento tende a diminuir ao longo dos anos, devido à taxa de inflação imposta nos mercados. A linha a vermelho da figura 24 traduz o aumento exponencial da poupança acumulada, isto é, o valor ganho ao longo dos anos com a instalação do LFT. Assim sendo, pela análise do gráfico verifica-se que para um horizonte de projecto de 12 anos apenas se obtêm 18.930,83 €, valor que não cobre o investimento inicial de 25.000 €.

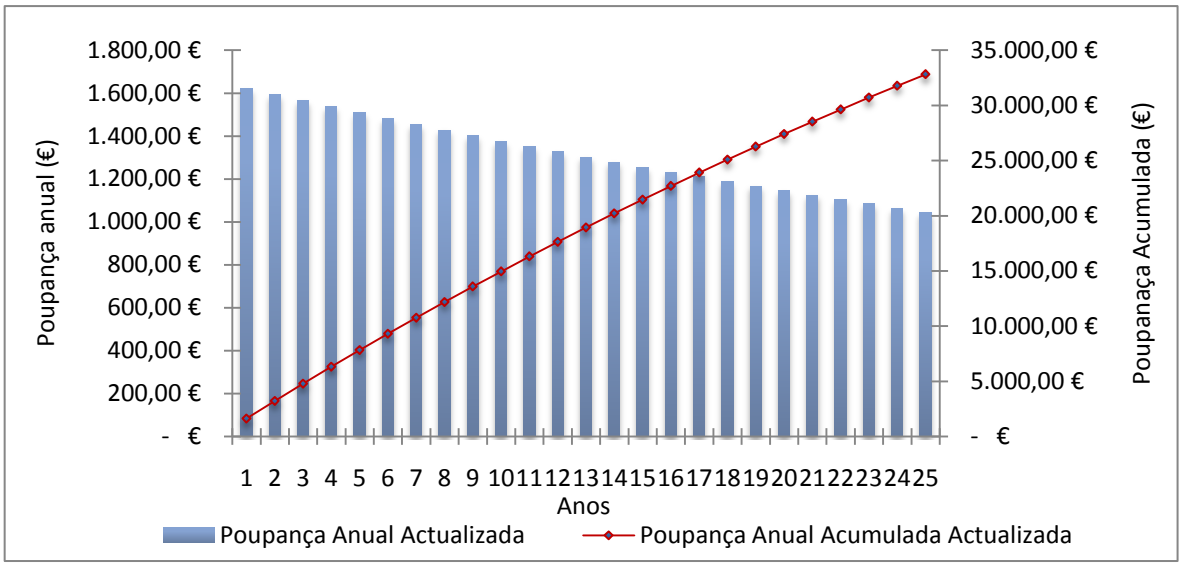


Figura 24. Poupança acumulada actualizada no caso de estudo de Albergaria-a-Velha

A análise da figura 25 permite demonstrar a inviabilidade do projecto neste local, visto que apenas passados 17 anos da implementação do LFT se consegue cobrir o investimento inicial. Este facto deve-se principalmente aos baixos consumos na Estação de Lavagem, que não são suficientes para garantir ganhos significativos com o LFT.

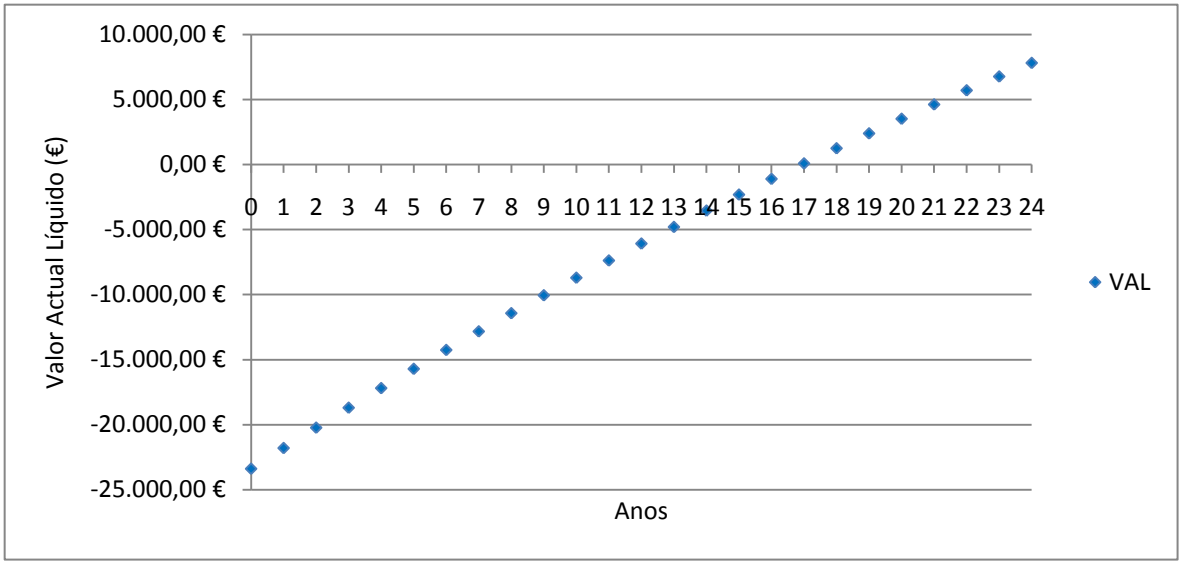


Figura 25. VAL no caso de estudo de Albergaria-a-Velha

O LFT obteve resultados viáveis relativamente à reutilização das águas em termos da qualidade do efluente. Em contraste, não movimenta consumos suficientes para justificar a sua implementação. Concludentemente, pode afirmar-se que numa Estação com um consumo de água superior, ou seja, numa Estação com maiores movimentos financeiros, a solução LFT poderia apresentar uma maior viabilidade e sustentabilidade.

5.4.2 MATADOURO DE AVES

A viabilidade económica da implementação do LFT no Matadouro de S. Pedro do Sul encontra-se descrita nas figuras 26 e 27 apresentadas de seguida. No caso da poupança anual é possível verificar que, tal como no caso de estudo anterior ela diminui ao longo dos anos, devido essencialmente à taxa de inflação aplicada. Em relação à poupança acumulada constata-se um retorno do investimento a partir do ano de implementação, originado pela redução de cerca de 30% da água limpa consumida.

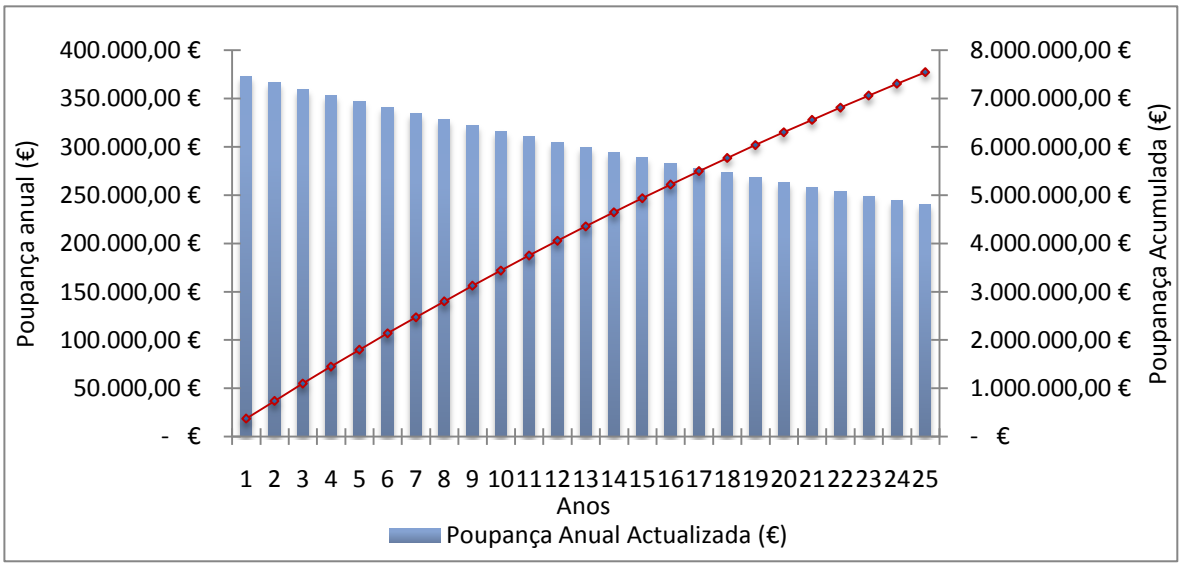


Figura 26. Poupança acumulada actualizada no caso de estudo de S. Pedro do Sul

Para análise do Valor Actual Líquido elaborou-se o gráfico seguinte, figura 27, sendo possível avaliar a viabilidade do investimento. Assim, logo no ano da implementação obtêm-se um VAL de 161.516 €, valor este muito superior ao valor do custo do investimento de 25.000 €.

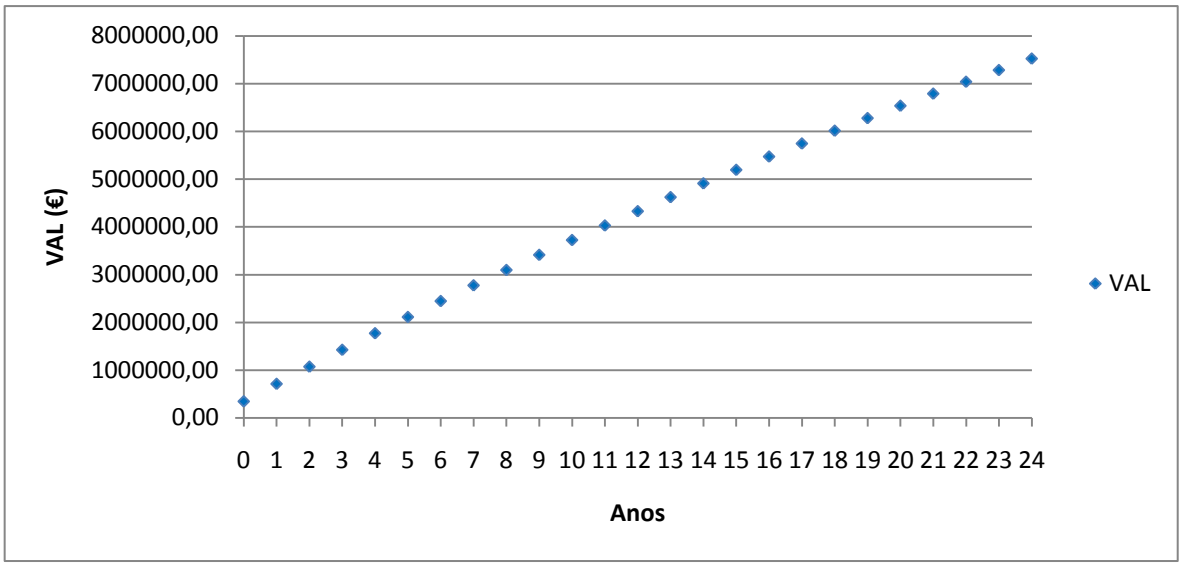


Figura 27. VAL no caso de estudo de S. Pedro do Sul

Quanto maior for a parcela de água reutilizada, maior seria o retorno e o excedente financeiro obtido. Os valores quantitativos da qualidade do efluente não permitiram utilizar eficiências superiores para o LFT, consequentemente a percentagem de reutilização é inferior a 50%. A reutilização de 60% do efluente tratado com o equipamento, permitiria alcançar um VAL de 348.032 € só no ano da implementação.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A realização do presente trabalho teve por base a avaliação e desenvolvimento de uma unidade-piloto para recuperação e reutilização de água, tendo como objectivo o estudo quantitativo da qualidade da água e económico de viabilidade do equipamento.

Neste capítulo apresentam-se as conclusões mais relevantes a retirar do trabalho desenvolvido, algumas limitações ao trabalho efectuado e um conjunto de sugestões para trabalho futuro.

6.1 CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Nesta dissertação constata-se que a água tem características físicas, químicas e biológicas que a diferem de outros recursos naturais, sendo que é o seu carácter multifacetado e concorrencial entre os seus diferentes usos que tem suscitado actualmente a necessidade por uma gestão eficiente e sustentável (Silva, 2006).

Em todo o Mundo surgem neste momento, preocupações relativamente ao facto da água não ser um recurso inesgotável, torna-se essencial a recuperação, reutilização e reciclagem deste bem. A reutilização é vista como uma solução, um adiamento relativo à escassez de água para consumo humano, industrial e agrícola.

A reutilização da água transmite para os países um largo espectro de benefícios tanto para o público-alvo como para o ambiente. A obtenção destes, passa por uma série de barreiras, em todo o mundo são criados entraves aos projectos de reutilização, que podem em muitas circunstâncias passar pela qualidade da água disponível ligada aos processos de tratamento e pelos potenciais perigos nos usos secundários. Assim sendo, a tomada de consciência dos factores regulamentares, económicos, tecnológicos, sociais e ambientais tornam-se essenciais para o sucesso dos projectos de reutilização de água. (Urkiaga et al., 2008 and Miller, 2006)

A solução para aliviar o problema actual passa pelo aumento da conservação dos recursos hídricos, isto é, tornando o seu uso mais racional e sustentável e optando por reutilizar algumas parcelas de água em determinados sectores consumidores. Assim sendo, um equipamento que permite remover sólidos em suspensão até 30 mícron, através de um sistema de filtração e remove cor, sabor e cheiro, oxidando e dissociando compostos orgânicos através da desinfecção por ozono é ideal para o uso industrial.

O Liquid Filtration Technology surge no sentido de efectuar as operações acima descritas. A aplicabilidade e sustentabilidade do LFT foram testadas no decorrer deste trabalho, permitindo obter resultados face à acção do ozono como fonte oxidante e à acção do meio filtrante no tratamento do efluente. O estudo baseou-se em dois locais de estudo, uma Estação de Lavagem de Carros e um Matadouro de Aves, em ambos foram testadas as qualidades dos efluentes antes e após o tratamento com o LFT. A viabilidade do equipamento é o objectivo fulcral desta dissertação, sendo necessário a quantificação dos parâmetros de qualidade da água e do estudo económico adjacente.

A Estação de Lavagens permitiu atingir eficiências de tratamento de 50-60%, variando de acordo com o dia da colheita da amostra, alguns parâmetros externos e não controláveis estiveram na base de determinadas oscilações. Em termos económicos verificou-se a inviabilidade do projecto neste local, consequência directa dos valores de consumo de água não serem suficientemente elevados para justificar a implementação de um equipamento deste calibre.

Relativamente ao Matadouro a solução não se tornou viável, uma vez que o efluente gerado pela ETAR sofre tratamento biológico, conduzindo a um mau funcionamento do LFT. A solução para o problema, tanto nesta indústria como em indústrias com tratamento biológico passará pelo acoplamento ao equipamento de um sistema de microfiltração à entrada evitando possíveis falhas técnicas, atingindo a eficiência desejada. Em contraste com o caso de estudo anterior, o equipamento neste local permite alcançar uma poupança só no ano de implementação de 186.516 € com uma reutilização de 30% de água residual. A solução LFT torna-se economicamente viável neste local obtendo para o investidor excedentes financeiros mesmo no ano da instalação, devido ao elevado consumo de m^3 de água por mês.

Em termos conclusivos deste trabalho constatou-se uma eficiência muito elevada do LFT na remoção de cor, sabor e cheiro dos efluentes, tornando-se menos eficaz na redução de parâmetros como CQO, CBO e Sólidos Suspensos. A razão pela qual as percentagens de remoção são inferiores ao esperado, prende-se com a constituição dos efluentes, um com maior presença de inorgânicos passíveis de oxidação do que matéria orgânica e outro com presença de sólidos biológicos.

6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A realização deste trabalho prendeu-se com a superação de alguns obstáculos, como sendo a procura de locais para instalação que cumprissem os requisitos necessários, questões logísticas relativas ao tempo ocupado para a realização de tarefas de implementação, problemas técnicos do LFT e extrínsecos ao LFT que surgiram durante a exploração e espaço curto de tempo para implementação do sistema em mais locais de estudo.

A colocação do LFT em diferentes locais permitiria a avaliação mais completa do equipamento, em termos de eficiências de diversos efluentes após tratamento e nomeadamente no estudo do seu comportamento com outros constituintes de águas residuais.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

O estudo de todos os parâmetros intrínsecos ao LFT permitiu obter algumas conclusões face ao tipo de efluentes passíveis de serem reutilizados pelo sistema. Assim sendo, a continuação do estudo de campo em diferentes locais é essencial para verificar todas as aplicações do LFT, criando deste modo uma maior rentabilidade do equipamento.

Indústrias de peças de automóvel, de produção de papel, de bacalhau, lavandarias seriam entre muitos outros locais, implementações de elevada aceitação e com possibilidade de alcançar grandes eficiências. A colocação de um equipamento antes do LFT, para protecção deste é visto como solução para efluentes com tratamento biológico como o caso de estudo do Matadouro. A microfiltração é uma oportunidade de sucesso para este tipo de efluentes, proporcionando uma filtração dos sólidos biológicos que colmatam o sistema de filtração do LFT.

Referências bibliográficas

ABOUTBLUE, Conferências - **Água: A próxima TOP COMMUNIDITY: Expo Água 2008** [Em linha]. Oeiras, 2008. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.ambienteonline.pt/conferencias/newsletter/01/publico.html>.

AGÊNCIA LUSA - UE/Presidência: Consumo de água pode ser reduzido em 40 por cento, indica relatório. [Em linha]. **Barlavento Online**. (31 Agosto. 2007). [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://barlavento.pt/index.php/noticia?id=17847>.

ALVES, Célia dos Anjos – **Tratamento de águas de abastecimento**. 2ªed. Porto: Publindústria, 2007. ISBN 978-972-8953-11-9.

ANGELAKIS, A. N. [et al] – The Status of Wastewater Reuse Pratice in Mediterranean Basin: Need for Guidelines. **Pergamon PII: S0043-1354 (98) 00465-5**. (1999), p. 2201-2217.

APEA, Comissão Directiva – Gestão dos Recursos Hídricos: Problemas e Desafios. In: APEA – **APEA: 20 Anos, 20 Temas**. Lisboa: APEA, 2005. ISBN 989-20-0059-5.

APHA (American Public Health Association) **- Standard methods for the examination of water & wastewater**. 21st ed. Washington (DC): APHA, 2005. ISBN 0-87553-047-8.

ASANO, Takashi – **Wastewater Reclamation and Reuse**. Lancaster: Technomic, 1998. ISBN 1-56676-620-6.

ASANO, Takashi – **Water Reuse: issues, technologies, and applications**. New York: McGraw-Hill, 2006. ISBN 978-0-07-145927-3.

BIXIO, D. [et al.] – Water Reuse in Europe. **Desalination 187**. (2006), p. 89-101.

BUFFLE, Marc-Olivier [et al.] – Ozonation and Advanced Oxidation of Wastewater: Effect of O3 dose, pH, DOM and HO*-Scavengers on Ozone Decomposition and HO* Generation. **Ozone: Science and Enginneering 28**. (2006), p. 247-259.

CAVALHEIRO, Catarina F.d.N. – **Estudo da Hidrodinâmica do Processo de Ozonização da ETA do Lever**. Universidade do Porto, 2005.

CEAS (Comissão Especializada de Águas Subterrâneas) – **Águas Subterrâneas** [Em linha]. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.aprh.pt/pdf/triptico_CEAS.pdf>.

ECE (European Commission Environment) – **Directiva para Tratamento de Água Residual Urbana (91/271/EEC de 21 de Maio)** [Em linha], 1991. [Consult. 12 Outubro. 2010] Disponível em WWW: <URL: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0271:PT:HTML>.

GARCIA, Fernando; FERREIRA, Licínio; BORGES, Rebeca - **Portal laboratórios virtuais de processos químicos: Processo de separação por membranas**. [Em linha]. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologias (Departamento de Engenharia Química), 2007. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=57&Itemid=206]>.

HAMMER, Mark j.; HAMMER, Jr. Mark J. – **Water and Wastewater Technology**. 3rd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1996. ISBN 0-13-205626-7.

INAG – **Directiva Quadro da Água** [Em linha]. Portugal, 2000 [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://dqa.inag.pt/dqa2002/pdf/D_Q.pdf>.

INAG - **Plano Nacional as Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico** [Em linha]. Portugal, 2007. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://pnbeph.inag.pt>.

INAG – **Plano Nacional da Água** [Em linha]. Portugal, 2002 [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html>.

INAG – **Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água** [Em linha]. Portugal, 2001 [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.inag.pt/inag2004/port/quem_somos/pdf/uso_eficiente_agua.pdf>.

INSAAR – **Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais** [Em linha]. Portugal, 2009 [Consult. 12 Outubro. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://insaar.inag.pt/bo/contents/resultadosrelatorios/12766336755026.pdf>.

IRAR (Instituto Regulador de Águas e Resíduos) – **Recomendação IRAR n.º 01/2009 de 28 de Agosto: Formação de tarifários aplicáveis aos utilizadores finais dos serviços públicos de abastecimento de água para consumo humano, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos** [Em linha], 2009. [Consult. 12 Outubro. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.atam.pt/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=578&Itemid=1>.

LANGLAIS, Bruno; RECKHOW, David A.; Brink, Deborah R - **Ozone in water treatment: application and engineering**. Chelsea: Lewis Publishers, 1991. ISBN 0-87371-474-1.

LENCASTRE, A. FRANCO, F. M. – **Lições de Hidrologia**. 3ªed. Lisboa: Universidade Nova, 2006. ISBN 972-595-079-8.

LENS, Piet N. L. [et al.] – **Water Recycling and resource recovery in Industry: analysis, technologies and implementation**. London: IWA Publishing, 2002. ISBN 1-84339-005-1.

MAOTDR – **Decreto-lei n.º 194/2009 de 20 de Agosto**. Diário da República, 1.ª Série: N.º 161.

MAOTDR - **Decreto-Lei n.º 97/2008 de 11 de Junho**. Diário da República, 1.ª Série: N.º 111.

MAOTDR (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional) – **PEAASAR II: Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais**. Lisboa, 2007. ISBN 978-989-8097-00-2

METCALF & EDDY – **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th ed. Boston: McGraw, 2003. ISBN 0-07-041878-0.

MILLER, G. Wade – Integrated concepts in Water Reuse: managing global water needs. **Desalination 187**. (2006), p.65-75.

MONTE, Mª. Helena F. Marecos – **Reutilização de Águas Residuais: Benefícios, Constrangimentos e Soluções Tecnológicas** [Em linha]. Covilhã: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2005. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.aprh.pt/texto/19-210905.html>.

ONU, Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – **Relatório de Bruntland** [Em linha], 1987. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio_Brundtland>.

SILVA, Ana Moura [et al.] – **6º Congresso da Água: Uso Eficiente da Água para fins Industriais** [Em linha]. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2002. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.aprh.pt/congressoagua2002/pdf/p36.pdf>.

SILVA, Maria Manuela Castro e - **O uso da água, o seu valor económico e o seu preço**. Porto: Faculdade de Economia, 1996. ISSN 0870-8541.

SOARES, Marisa – IRAR publica recomendação tarifária [Em linha]. **Portal do Ambiente Online**. (18 de Setembro de 2009). [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.ambienteonline.pt/noticias/detalhes.php?id=8389>.

STRUCKMEIER, Wilhelm; RUBIN, Yoram; JONES, J. A. A. – **Água Subterrânea; reservatório para um planeta com sede? Ciências da Terra para a Sociedade** [Em linha] Portugal: Comissão Nacional da UNESCO, 2007. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura2_web.pdf>.

UNEP – **Vital Water Graphics: Problems related to freshwater resources**. [Em linha]. London: UNEP, 2002. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/21.htm#21b >.

UNIÃO EUROPEIA, Comissão – **A directiva-quadro da água: algumas informações**. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2002. ISBN 92-894-3043-5.

UNIÃO EUROPEIA, Comissão – Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias.**

URKIAGA, A. [et al.] – Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse. **Desalination 187**. (2008), p. 81-91.

US EPA – **Guidelines for Water Reuse**. Washington (DC): US Agency for International Development, 2004. ISBN/ISSN EPA/625/R-04/108.

VASQUEZ, Camilo; ALFONSIN, Gonzalo; MOHR, Kirby – A new high efficiency Automatic car wash water Recycling System. **Water Environment Federation Industrial Wastes Technical Conference**. Indianapolis: Indiana, 1999.

WHYMAP - **Groundwater Resources of the World** [Em linha]. Germany: BGR & UNESCO, 2008. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.whymap.org/nn_354300/whymap/EN/Downloads/Global__maps/global maps__node__en.html?__nnn=true>.

WWAP (World Water Assessment Programme) – **Water a shared responsibility: The United Nations World Water Development Report 2** [Em linha]. Paris: UNESCO Publishing, 2006. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2>.

WWAP (World Water Assessment Programme) – **Water for people, water for life: The United Nations World Water Development Report (Executive Summary)** [Em linha]. UNESCO and WMO, 2003. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>.

WWAP (World Water Assessment Programme) – **Water in a changing World: The United Nations World Water Development Report 3** [Em linha]. Paris: UNESCO Publishing, 2009. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3>.

WWF International – **Relatório Planeta Vivo** [Em linha]. Cambridge: WWF, 2004. [Consult. 2 Março. 2010]. Disponível em WWW: <URL: http://assets.panda.org/downloads/wwfrelatorioplanetavivo2004.pdf>.

Anexo A – Fotografias da Instalação de Lavagem de Automóveis

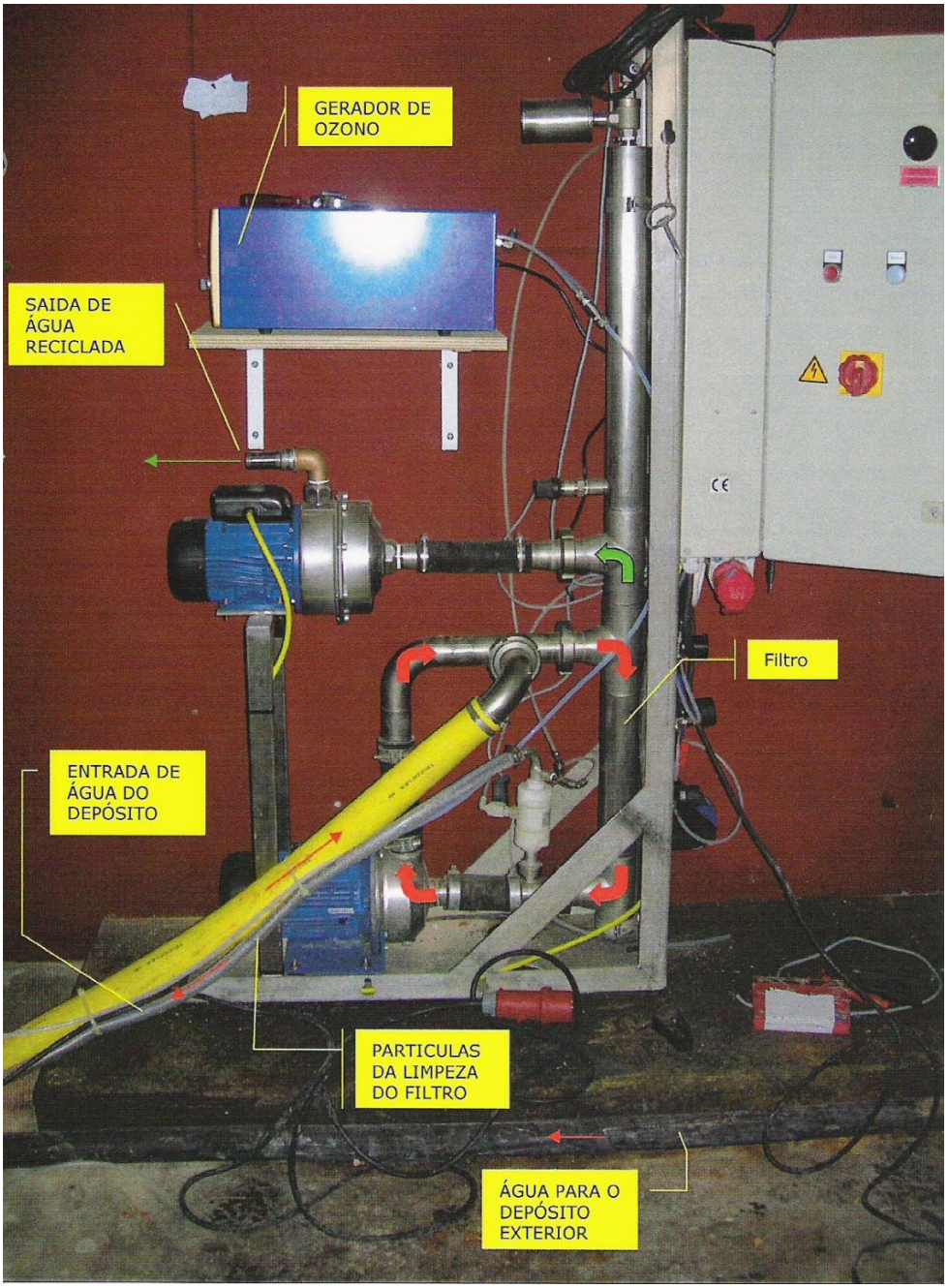


Figura 28. Fotografia de parte da instalação onde se processa a filtração

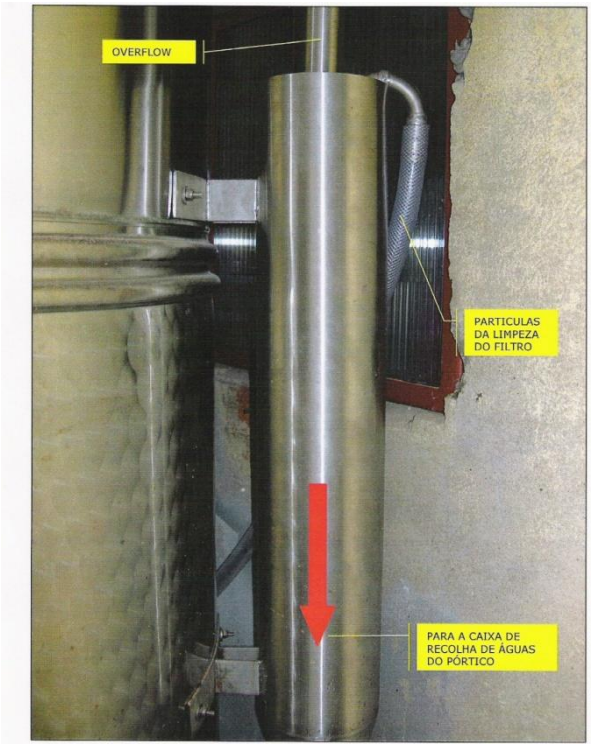


Figura 29. Retorno de águas para o sedimentador acoplado ao tanque de introdução de ozono

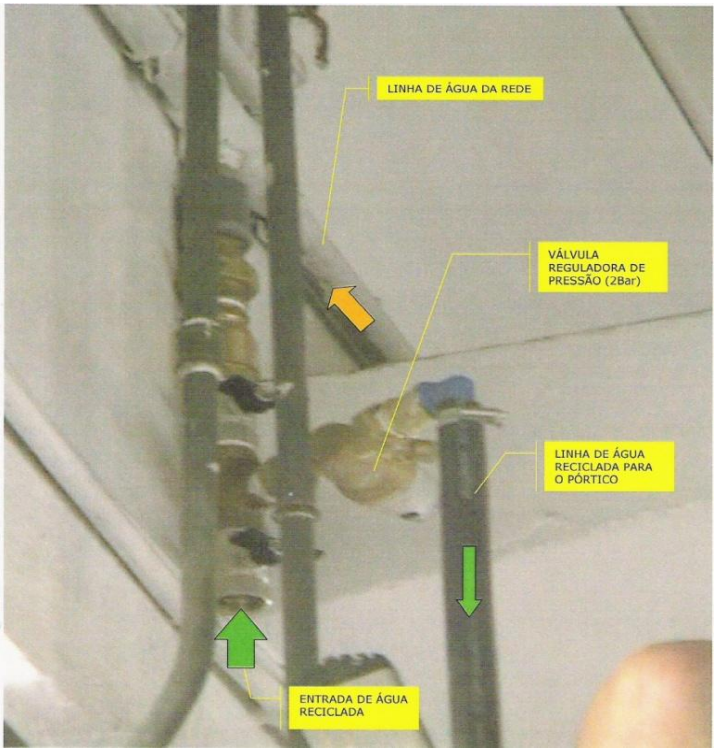


Figura 30. Condutas de água reciclada e da rede

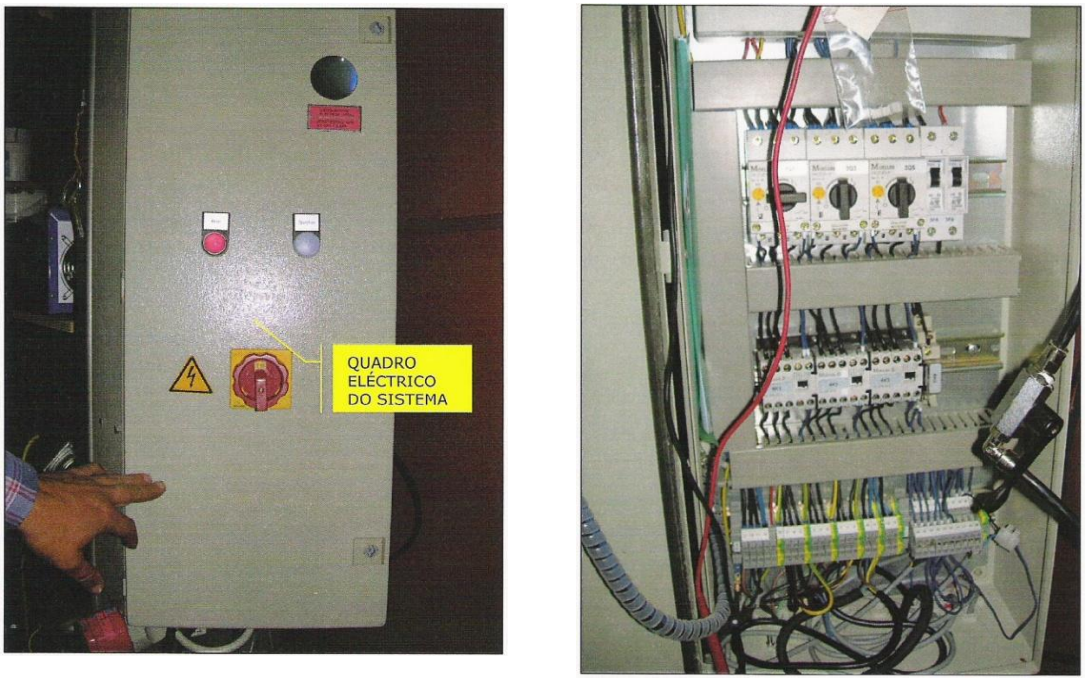


Figura 31. Quadro eléctrico imprescindível na instalação vista exterior e interior

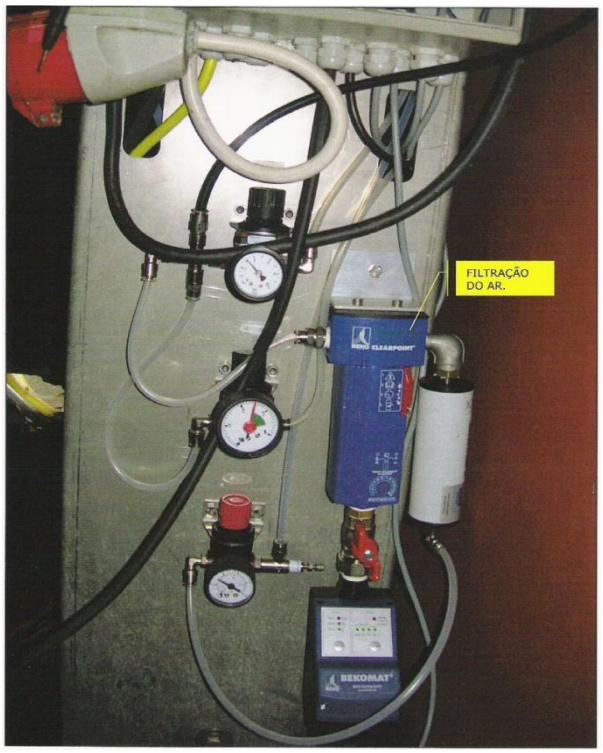


Figura 32. Local onde ocorre a filtração do ar

Figura 33. Condutas onde se escoa o excedente

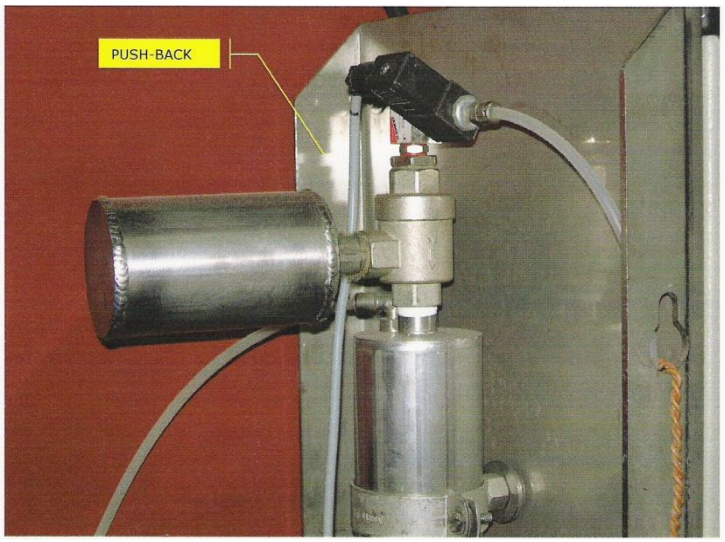


Figura 34. Local onde ocorre o push-back

Anexo B – Âmbito de aplicação do LFT, diversas performances disponíveis

Figura 35. Aplicação de um sistema com uma performance de 4000 l/h

Figura 36. Sistema com performance de 15000 l/h

Figura 37. Sistema com performance de 40000 l/h

Anexo C – Análise quantitativa da qualidade da água da Estação de Lavagem

Tabela 18. Dados laboratoriais da Estação de Lavagem de Carros

			CQO Total (mg CQO/l)	CQO Solúvel (mg CQO/l)	SST (mg/ml)	SSV (mg/ml)
Produção de ozono: 4 g/h	1ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	114,6	43	0,32	0,09
		Após LFT	78	26,5	0,07	0,05
	2ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	65,5	54,5	0,06	0,02
		Após LFT	28	16,7	0,05	0,01
	3ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	100	80,3	0,02	0,02
		Após LFT	32	29	0,02	0,01
		Antes separador hidrocarbonetos	101	84,5	0,03	0,02
Produção de ozono: 6 g/h	4ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	97	69	0,04	0
		Após LFT	70	48	0,09	0,015
		Antes separador hidrocarbonetos	121	98	0,19	0,13
			CQO Total (mg CQO/l)	CQO Solúvel (mg CQO/l)	CBO_5 (mg O_2/l)	
	5ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	88	67	18	
		Após LFT	75	61	15	
		Antes separador hidrocarbonetos	124	98	34	

	6ª Amostragem	Após separador hidrocarbonetos	39	9	
		Após LFT	31	11	
		Antes separador hidrocarbonetos	56	14	
	7ª Amostragem (manhã)	Após separador hidrocarbonetos	42	24	
		Após LFT	73	38	
		Antes separador hidrocarbonetos	105	41	
Produção de ozono: 8 g/h	8ª Amostragem (tarde)	Após separador hidrocarbonetos	60	34	
		Após LFT	100	41	
		Antes separador hidrocarbonetos	132	72	
	9ª Amostragem (manhã)	Após separador hidrocarbonetos	78	61	23
		Após LFT	46	37	10
		Antes separador hidrocarbonetos	81	61	25
	10ª Amostragem (tarde)	Após separador hidrocarbonetos	85	60	
		Após LFT	60	41	
		Antes separador hidrocarbonetos	88	65	

Anexo D – Análise económica do investimento do LFT

Anexo D.1. – Caso de Estudo: Estação de Lavagem de Carros de Albergaria-a-Velha

Tabela 19. Estudo de viabilidade económica em Albergaria-a-Velha

Ano	Custo Investimento (€)	S/ Taxa de Actualização			VAL (€)	C/ Taxa de Actualização	
		Poupança Anual (€)	Poupança Anual Acumulada (€)	Saldo (€)		Poupança Anual Actualizada (€)	Poupança Anual Acumulada Actualizada (€)
0	25000,00	1621,87	1621,87	-23378,13	-23378,13	1621,87	1621,87
1		1751,62	3373,50	-21626,50	-21785,74	1592,38	3214,26
2		1891,75	5265,25	-19734,75	-20222,31	1563,43	4777,69
3		2043,09	7308,34	-17691,66	-18687,31	1535,01	6312,69
4		2206,54	9514,88	-15485,12	-17180,21	1507,10	7819,79
5		2383,06	11897,94	-13102,06	-15700,51	1479,69	9299,49
6		2573,71	14471,65	-10528,35	-14247,72	1452,79	10752,28
7		2779,60	17251,26	-7748,74	-12821,35	1426,38	12178,65
8		3001,97	20253,23	-4746,77	-11420,90	1400,44	13579,10
9		3242,13	23495,36	-1504,64	-10045,92	1374,98	14954,08
10		3501,50	26996,86	1996,86	-8695,94	1349,98	16304,06
11		3781,62	30778,48	5778,48	-7370,51	1325,44	17629,49
12		4084,15	34862,64	9862,64	-6069,17	1301,34	18930,83
13		4410,88	39273,52	14273,52	-4791,50	1277,68	20208,50
14		4763,75	44037,27	19037,27	-3537,05	1254,45	21462,95
15		5144,85	49182,13	24182,13	-2305,41	1231,64	22694,59
16		5556,44	54738,57	29738,57	-1096,17	1209,24	23903,83
17		6000,96	60739,53	35739,53	91,09	1187,26	25091,09
18		6481,04	67220,56	42220,56	1256,76	1165,67	26256,76
19		6999,52	74220,08	49220,08	2401,24	1144,48	27401,24
20		7559,48	81779,56	56779,56	3524,90	1123,67	28524,90
21		8164,24	89943,80	64943,80	4628,14	1103,24	29628,14
22		8817,38	98761,17	73761,17	5711,32	1083,18	30711,32
23		9522,77	108283,94	83283,94	6774,81	1063,49	31774,81
24		10284,59	118568,53	93568,53	7818,96	1044,15	32818,96

Anexo D.2 – Caso de Estudo: Matadouro de Aves

Tabela 20. Estudo de viabilidade económica em S. Pedro do Sul

Ano	Custo Investimento (€)	S/ Taxa de Actualização			VAL (€)	C/ Taxa de Actualização	
		Poupança Anual (€)	Poupança Anual Acumulada (€)	Saldo (€)		Poupança Anual Actualizada (€)	Poupança Anual Acumulada Actualizada (€)
0	25000,00	186516,00	186516,00	161516,00	161516,00	186516,00	186516,00
1		201437,28	387953,28	362953,28	344640,80	183124,80	369640,80
2		217552,26	605505,54	580505,54	524436,06	179795,26	549436,06
3		234956,44	840461,99	815461,99	700962,31	176526,25	725962,31
4		253752,96	1094214,94	1069214,94	874279,00	173316,69	899279,00
5		274053,20	1368268,14	1343268,14	1044444,47	170165,47	1069444,47
6		295977,45	1664245,59	1639245,59	1211516,02	167071,56	1236516,02
7		319655,65	1983901,24	1958901,24	1375549,92	164033,89	1400549,92
8		345228,10	2329129,34	2304129,34	1536601,37	161051,46	1561601,37
9		372846,35	2701975,68	2676975,68	1694724,62	158123,25	1719724,62
10		402674,05	3104649,74	3079649,74	1849972,90	155248,28	1874972,90
11		434887,98	3539537,72	3514537,72	2002398,48	152425,58	2027398,48
12		469679,02	4009216,74	3984216,74	2152052,69	149654,21	2177052,69
13		507253,34	4516470,08	4491470,08	2298985,92	146933,22	2323985,92
14		547833,61	5064303,68	5039303,68	2443247,63	144261,71	2468247,63
15		591660,29	5655963,98	5630963,98	2584886,40	141638,77	2609886,40
16		638993,12	6294957,09	6269957,09	2723949,92	139063,52	2748949,92
17		690112,57	6985069,66	6960069,66	2860485,01	136535,09	2885485,01
18		745321,57	7730391,23	7705391,23	2994537,65	134052,64	3019537,65
19		804947,30	8535338,53	8510338,53	3126152,96	131615,32	3151152,96
20		869343,08	9404681,62	9379681,62	3255375,27	129222,31	3280375,27
21		938890,53	10343572,14	10318572,14	3382248,08	126872,81	3407248,08
22		1014001,77	11357573,92	11332573,92	3506814,12	124566,03	3531814,12
23		1095121,91	12452695,83	12427695,83	3629115,32	122301,20	3654115,32
24		1182731,67	13635427,50	13610427,50	3749192,86	120077,54	3774192,86