



Paulo Alexandre Nunes Miranda

Reaproveitamento das Águas Cinzentas

Greywater Reuse

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente
na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Março, 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Reaproveitamento das Águas Cinzentas

Greywater Reuse

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Autor

Paulo Alexandre Nunes Miranda

Orientadores

Professora Doutora Rosa Maria de Oliveira Quinta Ferreira

Coorientador

Eng.º António Bravo Lima

Júri

Presidente Professor Doutor José Carlos Miranda Góis
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professora Doutora Rosa Maria de Oliveira Quinta Ferreira
Professor Associado da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Licínio Manuel Gando de Azevedo Ferreira
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coorientador Engenheiro António Bravo Lima
Diretor Geral da Aquaquímica, L^{da}

Aquaquímica, L^{da}



Coimbra, Fevereiro, 2018

Esta dissertação foi elaborada na sequência de um estágio na Aquaquímica, L^{da}

Agradecimentos

Esta página é dedicada as todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para que esta dissertação se tornasse possível.

Agradeço à Professora Doutora Rosa Maria de Oliveira Quinta Ferreira pela sua orientação e experiência ao longo desta etapa da minha vida académica/profissional.

Quero agradecer em especial ao Eng.º António Bravo Lima por todo o seu empenho e dedicação ao longo destes últimos meses, não apenas pela oportunidade que me deu através de um estágio na sua empresa mas, também, pelo seu enorme ensinamento e disponibilidade.

Gostaria de mencionar todas as pessoas que conheci em Coimbra e que contribuíram para o meu enriquecimento enquanto Homem. É difícil citar um a um, pois, felizmente, fiz bastantes amizades ao longo de todo o meu percurso académico mas não posso deixar passar este momento sem referir todos os meus colegas de casa na famosa “*Mansão dos Pobres*”.

Aos meus pais, António e Maria de Lurdes, por todo o esforço, carinho e educação que me proporcionaram pois foram a base principal disto tudo. Ao meu irmão Ricardo, à minha tia Ana, à minha afilhada Núria e a todos os meus restantes familiares que não foram citados.

Por último, o meu muito obrigado à Cláudia.

Resumo

Ao longo das últimas décadas têm existido avanços significativos na abordagem à gestão da Água, principalmente através da implementação de novas metodologias para o reaproveitamento das águas residuais. As águas residuais podem ser classificadas em três categorias distintas:

- Águas Amarelas;
- Águas Cinzentas;
- Águas Negras.

Inicialmente, neste estudo, será abordada a questão das águas cinzentas através de uma análise qualitativa e quantitativa das mesmas. Posteriormente, será abordada a reutilização das águas cinzentas apresentando e descrevendo os processos unitários mais comuns utilizados no seu tratamento.

O objetivo principal do estudo será a implementação de um sistema de tratamento de águas cinzentas numa das maiores fontes de consumo de água, mais concretamente num Hotel. O sistema aplicado tem por base a reutilização das águas cinzentas para a rega, lavagens de pátios, máquina de lavar roupa, máquinas de lavar louça e descarga de autoclismos.

No último capítulo será feito um estudo económico da implementação do sistema de tratamento de águas cinzentas que permitirá concluir qual a sua viabilidade económica.

A ‘reciclagem’ das águas cinzentas deverá ser sempre realizada *in situ* e em grandes fontes geradoras de águas cinzentas, como é o caso do hotel.

As alterações/adaptações para o reuso com ou sem tratamento colidem na dificuldade de execução e custo. Onde existe possibilidade de grandes avanços e desenvolvimento deste tipo de implementações será sempre na fase de projeto/construções de novos edifícios.

O custo-benefício tende largamente para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas cinzentas, pois estes tipos de tratamentos têm períodos de retorno, geralmente, em apenas um ano.

Palavras-chave: Água, Águas Cinzentas, Reaproveitamento, Processos Unitários, Viabilidade Económica

Abstract

Over last decades there have been significant advances in the approach to water management, mainly through the implementation of new methodologies for wastewater reuse. Wastewater can be classified into three distinct categories:

- Yellow water;
- Greywater;
- Blackwater.

Initially, in this study, the issue of greywater will be addressed through a qualitative and quantitative analysis. Subsequently, the reuse of greywater will be approached presenting and describing the most common unitary processes used in its treatment.

The main propose of this study will be the implementation of a system of treatment of greywater in one of the major sources of water consumption, more concretely in a hotel. The applied system is based on the reuse of the greywater for the irrigation and toilet flushing.

In last chapter an economic study of the implementation of the greywater treatment system will be carried out, which will allow to conclude its economic viability.

The 'recycling' of graywater should always be carried out in situ and in large graywater sources such as the hotel.

The changes/adaptations for reuse with or without treatment collide in the difficulty of execution and cost. Where there is possibility of major advances and development of this type of implementations will always be in the design phase / constructions of new buildings.

Cost-benefit tends largely to the implementation of gray water systems, as these types of treatments have a payback time, usually in just one year.

Keywords Water, Greywater, Reuse, Unitary Processes, Economic Viability

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Ciclo Hidrológico	2
1.3. Distribuição da Água pelo Mundo	3
1.4. O Tratamento de Água em Portugal	4
1.5. Objetivos.....	6
1.6. Estrutura da Dissertação	7
Capítulo 2 – Estado da Arte.....	9
Capítulo 3 – Águas Cinzentas	13
3.1. Definição	14
3.2. Enquadramento Normativo	15
3.3. Caracterização das Águas Cinzentas	21
3.3.1. Caracterização Quantitativa.....	21
3.3.2. Caracterização Qualitativa.....	23
3.3.3. Benefícios da Reutilização	26
3.3.4. Constrangimentos da Reutilização	27
3.3.5. Processo Unitários para Tratamento de Águas Cinzentas	27
3.3.5.1. Desinfecção	28
3.3.5.2. Separação de Óleos e Gorduras com Decantação	31
3.3.5.3. Filtração Multicamada.....	32
3.3.5.4. Filtração em Carvão Ativado.....	36
3.3.5.5. Processos de Membranas.....	40
Capítulo 4 – Caso de Estudo	45
4.1. Caracterização do Hotel	46
4.1.1. Base de Cálculo	46
4.1.2. Cálculos	47
4.2. Operações Unitárias de Tratamento	48
4.2.1. Separação/ <i>Screening</i> dos sólidos grosseiros	50
4.2.2. Separação dos Óleos e Gorduras com Decantação.....	50
4.2.3. Desinfecção	52
4.2.4. Depósito de Água Bruta	55
4.2.5. Bomba de Água Bruta	55
4.2.6. Filtração Multicamada.....	57
4.2.7. Filtração em Carvão Ativado.....	60
4.2.8. Microfiltração	63

4.2.9. Pós-Desinfecção.....	66
4.2.10. Tanque de Água Tratada	68
4.2.11. Bomba de Água Tratada.....	70
4.2.12. Desinfecção por Ultravioletas	71
4.3. Análise Económica.....	73
4.4. Contribuição das Águas Pluviais.....	81
Conclusões	85
Sugestões para trabalho futuro	87
Referências Bibliográficas	89
Anexos.....	93

Índice de Figuras

Figura 1 - Ciclo Hidrológico (Fonte: USGS – United States Geological Survey).....	2
Figura 2 - Percentagem de População vs. Percentagem de Água por Continente (The United Nations World Water Development Report, 2003).....	3
Figura 3 - Sistema compacto de lavatório e sanita (Roca, 2017)	10
Figura 4 - Sistema de tratamento com tempo de retenção reduzido (Ecoplay, 2017).....	10
Figura 5 - Unidade compacta de tratamento biológico (Aquacycle ®900).....	11
Figura 6 – Fluxos da água resultante das atividades domésticas (Almeida, 1999)	21
Figura 7 - Curva granulométrica típica de um material filtrante (Di Bernardo, 1991)	33
Figura 8 – Relação de diâmetro entre uma partícula de diâmetro conhecido e o diâmetro dos seus interstícios (Huisman, 1974).....	33
Figura 9 - Filtro típico multicamada (Materiais Gráficos AQ, 2010)	36
Figura 10 - Processo de adsorção no carvão ativado (Brennan, 2001).....	37
Figura 11 - Fluxograma do processo de fabricação de carvão ativado a partir de carvão mineral (Di Bernardo, 2005)	38
Figura 12 - Carvão ativado granulado (Materiais Gráficos AQ, 2010).....	39
Figura 13 – Bioreatores de membrana submersa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003).....	42
Figura 14 – Bioreatores com membrana externa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003).....	42
Figura 15 – Sistema Convencional de Lamas Ativadas vs. MBR (Catálogo MBR HydroWater, 2016).....	44
Figura 16 – Processos Unitários da ETA	49
Figura 17 - Caixa de Grades (Catálogo PremierTech, 2017)	50
Figura 18 – Separador de Gorduras (Catálogo PremierTech, 2017)	51
Figura 19 - Instalação típica de sistemas de dosagem (Técnico AQ, 2014).....	54
Figura 20 - Depósito Vertical (Catálogo PremierTech, 2017)	55
Figura 21 - Curva de rendimento da bomba de pressurização, modelo CHLF (T) 2 (Catálogo Hydroo, 2016).....	56
Figura 22 – Significado da nomenclatura da bomba de pressurização.....	56
Figura 23 - Especificações típicas dos filtros multicamada (Manual Técnico de Equipamentos AQ, 2010)	60
Figura 24 – Especificações típicas dos filtros de carvão ativado (Manual Técnico de Equipamentos AQ, 2010)	62
Figura 25 - Aqua Big - 20" (Catálogo AQ, 2017)	64

Figura 26 - Célula de Filtração em Polipropileno (Catálogo AQ, 2017)	64
Figura 27 - Filtração dos Sólidos Suspensos na Água durante todas as etapas de filtração	65
Figura 28 – Instalação típica de sistemas de dosagem (Técnico AQ, 2014).....	67
Figura 29 - Painel de Controlo de Cloro (Materiais Gráficos AQ, 2016).....	67
Figura 30 - Esquema de Gestão da Água	69
Figura 31 – Curva de Rendimento da Bomba de Pressurização, Modelo CHLF (T) 4 (Catálogo Hydroo, 2016)	71
Figura 32 – Significado da Nomenclatura da Bomba de Pressurização	71
Figura 33 - Aparelho ultravioletas (Catálogo Técnico de Equipamentos AQ, 2010).....	73
Figura 34 - Gestão Global	84

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Requisitos de qualidade para rega de jardins privados (ANQIP, ETA 0905, 2011).....	16
Tabela 2 - Requisitos de qualidade para descarga de autoclismos (ANQIP, ETA 0905, 2011).....	17
Tabela 3 - Lista de Regulamentações para Reutilização de Água em vários países	18
Tabela 4 – Aplicações das Águas Cinzentas no Japão (Tajima, 2005)	19
Tabela 5 - Características típicas das águas cinzentas nos EUA (USEPA, 2004).....	20
Tabela 6 - Características típicas das Águas Cinzentas na Austrália	20
Tabela 7 - Balanço hídrico em edifícios residenciais com dispositivos eficientes (valores médios em litros por habitante e por dia) (adaptado de fbr – information sheet H201).....	22
Tabela 8 - Características das Águas Cinzentas	24
Tabela 9 - Características Qualitativas de Águas Cinzentas (M. Wright, 1996	25
Tabela 10 - Vantagens e Desvantagens dos sistemas de desinfecção (Manual Técnico AQ, 2010).....	31
Tabela 11 - Velocidades típicas de filtração multicamada (Manual Técnico AQ, 2010) ...	35
Tabela 12 - Comparação entre bioreatores de membrana submersa e bioreatores com membrana externa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003).....	43
Tabela 13 - Consumos típicos de Água (Manual Tratamento de Água AQ, 2010)	45
Tabela 14 - Caracterização do Hotel	47
Tabela 15 - Características técnicas dos Separadores de Gorduras (Catálogo PremierTech, 2017).....	51
Tabela 16 – Caraterísticas técnicas das bombas doseadoras (Técnico AQ, 2014).....	52
Tabela 17 - Velocidades típicas de filtração multicamada (Manual Técnico AQ, 2010) ...	57
Tabela 18 - Características <i>standard</i> das colunas filtrantes (Catálogo Wavecyber, 2017). ..	59
Tabela 19 - Velocidades típicas de filtração em Carvão Ativado (Manual Técnico AQ, 2010).....	60
Tabela 20 - Filtros domésticos auto-laváveis (Catálogo AQ, 2010)	63
Tabela 21 – Estratificação do Consumo de Água pelos depósitos	70
Tabela 22 - Aparelhos Ultravioletas, série Omega (Catálogo AQ, 2016).....	72
Tabela 23 - Custo de investimento	74
Tabela 24 – Potência Instalada	75
Tabela 25 - Dosagem de Hipoclorito de Sódio por Processo Unitário.....	75

Tabela 26 - Custo dos consumíveis.....	77
Tabela 27 - Custos Totais de Operação.....	78
Tabela 28 – Tarifa água (Câmara Municipal da Póvoa de Varzim, 2017).....	79
Tabela 29 - Precipitação média mensal na Póvoa de Varzim (SNIRH, 2017).....	81
Tabela 30 - Precipitação média diária	82
Tabela 31 - Precipitação média diária que é armazenada para tratamento	82
Tabela 32 - Custos de investimento	83

Siglas e Acrónimos

€ – Euros;

AC – Águas Cinzentas;

ANQIP – Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais;

AQ – Aquaquímica;

BD – Bomba Doseadora;

CA – Carvão Ativado;

CAG – Carvão Ativado Granulado;

CAP – Carvão Ativado em Pó;

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

COT – Carbono Orgânico Total;

CQO – Carência Química de Oxigénio;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

MBR – Membrane Biological Reactor;

OMS – Organização Mundial de Saúde;

PEAD – Polietileno de Alta Densidade;

PVDF – Fluoreto de Polivinilideno;

SST – Sólidos Suspensos Totais;

UF – Ultrafiltração;

UV – Ultravioleta;

VMA – Valor Máximo Admissível;

VMR – Valor Máximo Recomendado.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A Água é o principal recurso natural e os setores de atividade que mais dependem da sua disponibilidade são, simultaneamente, os que mais contribuem para a sua degradação.

Cerca de 71% da superfície terrestre é constituída por água, no entanto, apenas 2,5% está disponível para o nosso uso. A conservação deste recurso é um desafio importante para a Humanidade, pois o aumento da população e da diversidade de atividades praticadas pelo Homem conduzem a um maior consumo de água, reduzindo drasticamente as reservas de recursos hídricos.

As medidas mais utilizadas para um uso mais eficiente da água são a redução dos consumos, a redução das perdas e, em alternativa, o aproveitamento de águas (incluem-se as águas das chuvas, águas do mar, bem com as águas residuais). Ao longo dos últimos anos, o aproveitamento de águas alternativas passou a ser um dos temas na ordem do dia, e para isso têm contribuído diversos catalisadores, entre os quais: a ANQIP (Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais); o incentivo da União Europeia para a Construção Sustentável e, ainda, o Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água.

Com o intuito da preservação dos recursos hídricos, a reutilização da água é uma prática cada vez mais adotada, no entanto, a estratégia tem passado pela reutilização da água, sobretudo, para rega (campos de futebol, campos de golfe e jardins públicos).

A Água é utilizada em todos os segmentos da sociedade e está disponível para uso doméstico, comercial, industrial e agrícola. O seu uso gera uma grande quantidade de efluente que deve ser descartado de forma segura para proteger a saúde pública e evitar a poluição do meio ambiente.

1.2. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico (figura 1) pode ser definido como o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. (Righetto, 1998).

De uma forma simples, pode-se dizer que a primeira etapa do ciclo hidrológico inicia-se com a evaporação da água dos oceanos, vapor esse que é conduzido através do movimento das massas de ar. Após esta fase, o vapor, sob determinadas condições, é condensado formando as nuvens que são responsáveis pela ocorrência de precipitação. Durante este processo, a água dispersa-se sob várias formas: grande parte desta precipitação fica retida no solo que, por sua vez, volta à atmosfera através da evaporação e transpiração das plantas. Outra parcela escoam sobre a superfície do solo ou rios, enquanto outra parte penetra o solo atingindo níveis freáticos.



Figura 1 - Ciclo Hidrológico (Fonte: USGS – United States Geological Survey)

O ciclo hidrológico é um processo bastante complexo porque, embora possa parecer um ciclo contínuo, o ciclo da água é, na verdade, bastante diferente, pois o movimento que a água faz em cada fase do ciclo ocorre de forma aleatória, variando no tempo e espaço. A quantidade e a velocidade com que a água circula nas diferentes etapas do ciclo da água são influenciadas por vários fatores como a altitude, topografia, temperatura, cobertura vegetal e o tipo de solo.

1.3. DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA PELO MUNDO

A distribuição de água pelo globo (figura 2) é um tema que gera alguma controvérsia nos dias de hoje pois o debate deste assunto centra-se numa única questão: será que a quantidade de água potável existente no planeta é capaz de satisfazer todas as necessidades básicas para a sobrevivência humana? À primeira vista, esta quantidade de água aparenta ser suficiente. Mas será mesmo assim?

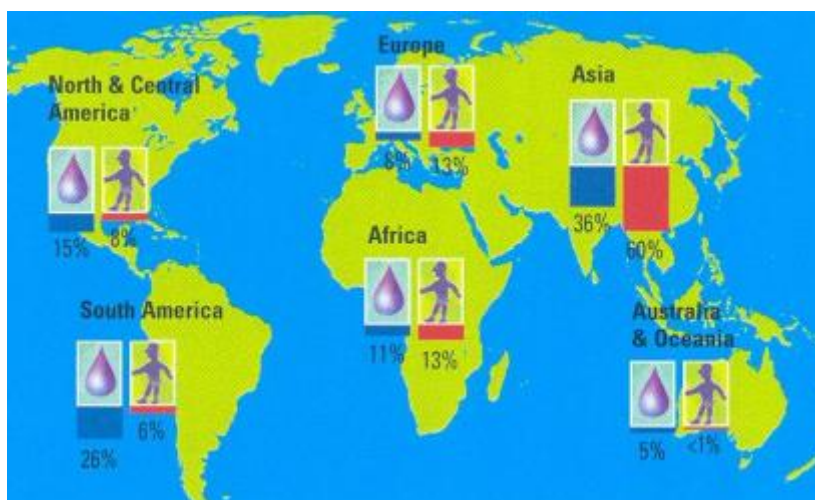


Figura 2 - Percentagem de População vs. Percentagem de Água por Continente (The United Nations World Water Development Report, 2003)

Estima-se que existam, atualmente, cerca de 6 bilhões de humanos distribuídos pelo mundo inteiro e que a água existente por todo o globo seja capaz de suportar 20 bilhões de pessoas.

Ora, sendo este fato uma realidade, não seria de esperar que houvesse grandes problemas relativamente às necessidades de água no mundo.

“Com 31% dos recursos hídricos do mundo, a América Latina tem 12 vezes mais água por pessoa que o sul da Ásia. Países como o Brasil e o Canadá têm mais água do que aquela que podem consumir. Por outro lado, alguns países do Médio Oriente têm muito menos água do que a que necessitam.” (Pachauri, R.K., 1999)

“Mais de 1.2 biliões de asiáticos, 250 milhões de africanos e 81 milhões de latino-americanos irão ser expostos ao «stress hídrico» a partir de 2020.” (Pachauri,R.K., 1999)

Com a análise da figura 2 e tendo em conta o que foi acima mencionado, rapidamente se obtém uma resposta para todas as questões levantadas no início deste ponto. De facto nos continentes africano, asiático e europeu existe uma maior percentagem de população face à percentagem de água disponível. Contudo, nos restantes continentes, esta relação procura-oferta acontece no sentido oposto, ou seja, as percentagens de água potável existentes é superior à percentagem de população existente. Desta forma podemos dizer que ainda existe água potável para abastecer toda a população mundial; no entanto a distribuição de recursos hídricos a nível mundial é desigual.

1.4. O TRATAMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL

Com base na análise dos tempos passados e atuais, verifica-se uma íntima correlação entre o desenvolvimento das comunidades humanas e a disponibilidade de recursos hídricos, pois a água é indispensável à vida.

A Água existe, simultaneamente, nos três estados físicos possíveis: sólido, líquido e gasoso numa diversidade de situações.

Embora exista em grande quantidade no nosso Planeta (aproximadamente 1380 milhões de km³), a maior parte da Água (cerca de 97,3%) encontra-se salgada e, conseqüentemente, de difícil aproveitamento para grande parte das utilizações mais frequentes. Por outro lado, os

restantes 2,7% são de água doce (aproximadamente 38 milhões de km³) e distribuindo-se do seguinte modo:

- Gelo de Calotes Polares e Glaciares – 77,20%
- Águas Subterrâneas e Humidade do Solo – 22,40%
- Lagos e Pântanos – 0,35%
- Atmosfera – 0,04%
- Rios – 0,01%

Verifica-se, assim, que aproximadamente $\frac{3}{4}$ da água doce se encontra num estado em que não é possível a sua utilização, pelo menos a curto e médio prazo, e que as águas superficiais constituem uma ínfima parte dessa mesma água.

Para além da sua escassez, a água apresenta ainda uma distribuição irregular no espaço e no tempo, sendo flagrante o contraste entre regiões secas e húmidas bem como os períodos de cheia e de estiagem de cursos de água.

As necessidades mundiais de água para utilização doméstica, urbana, industrial e agrícola têm crescido continuamente em consequência do progresso e do desenvolvimento industrial, alterando-se, inevitavelmente, as condições naturais em termos de recursos hídricos, tornando-se cada vez mais urgente a necessidade de planejar racionalmente a exploração e o domínio da água. Nesse planeamento não pode esquecer-se que, após a sua utilização, a qualidade da água poderá encontrar-se alterada e adquirir características de água residual, pelo que a sua devolução às reservas naturais sem um conveniente tratamento, conduzirá à degradação das suas características através da sua poluição e consequente contaminação.

No entanto, deve-se fazer notar que uma intensificação no tratamento de águas residuais reflete-se, diretamente, na preservação da qualidade das reservas naturais e, conseqüentemente, na economia através de instalações de tratamento e no próprio tratamento da água de distribuição.

A poluição das águas é um fenómeno que tende a agravar-se no tempo pelo que torna-se importante avaliar e comparar os riscos associados à utilização de águas na captação para consumo humano.

A obtenção de água potável será cada vez mais dispendiosa, pois a capacidade de eventuais origens próximas vai-se esgotando, tornando-se necessário explorar captações cada vez mais afastadas e para as quais o tratamento é, muitas vezes, mais complexo, como acontece quando tem de passar-se de minas/poços a furos e, finalmente, a águas superficiais. Há assim um crescente agravamento do custo do tratamento e do transporte.

O principal problema com que se deparam os responsáveis pelo abastecimento público de água consiste na atribuição da sua origem: água subterrânea, captada a maior ou menor profundidade, água superficial de rios ou lagos. Quando existe a possibilidade de escolha, os principais fatores de decisão a ter em conta serão a qualidade das águas disponíveis, quantidades de água necessárias e custos de bombagem, bem como o próprio tratamento e transporte.

Uma das consequências resultantes das diferentes qualidades de água captada é precisamente o tratamento a que são sujeitas essas mesmas águas. Em princípio, as águas de abastecimento público são as que, na maioria dos casos, exigem um tratamento mais cuidado, sendo recorrente, o tratamento englobar instalações de coagulação, clarificação, filtração, correção química e desinfeção/depuração, quando se tratam de águas superficiais. Nas águas subterrâneas, o tratamento aplicado baseia-se, na maioria dos casos, numa simples correção química ou por uma cloração.

Em Portugal, a situação a nível de poluição é, felizmente, menos grave que a maioria dos restantes países europeus. Desta forma, possuímos ainda bastantes recursos de água livres de contaminantes químicos ou inquinações por esgotos urbanos.

1.5. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como principal objetivo promover o reaproveitamento das águas residuais classificadas como Águas Cinzentas através de um caso de estudo que consiste na implementação de uma ETA num hotel em fase de projeto, onde o foco principal é utilizar os efluentes tratados para rega, máquina de lavar roupa (pré-lavagem), lavagens de pátios, descargas de autoclismos e máquina de lavar louça (pré-lavagem).

Pretende-se ainda:

- Descrever detalhadamente todos os processos unitários de tratamento para este tipo de águas residuais;
- Melhorar/Implementar o processo de tratamento de águas cinzentas existente na AQ.

1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está desenvolvida em 4 capítulos que foram distribuídos da seguinte forma:

- **Capítulo 1: Introdução** – Neste capítulo será feita uma pequena introdução sobre a disponibilidade da água em todo o Mundo, o tratamento de água em Portugal bem como os objetivos da dissertação;
- **Capítulo 2: Estado da Arte** – Será abordada a situação mundial no que diz respeito ao reaproveitamento das águas cinzentas, bem como os principais sistemas existentes para o seu tratamento;
- **Capítulo 3: Águas Cinzentas** – Neste capítulo será feita uma caracterização quantitativa e qualitativa das águas cinzentas bem como a descrição das principais operações unitárias para o seu tratamento das águas;
- **Capítulo 4: Caso de Estudo** – Será feito um estudo que consiste na implementação de um sistema para tratamento das águas cinzentas numa das maiores fontes geradoras deste tipo de água, bem como um estudo da viabilidade económica da sua instalação.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

A Organização Mundial de Saúde e a US Environmental Protection Agency (USEPA) foram as pioneiras no desenvolvimento e publicação das primeiras temáticas do reaproveitamento de águas residuais. Essas publicações deram origem à “Clean Water Act” (1972) e à “Safe Drinking Water Act” (1974): ambas são leis ambientais que regulam a poluição da água, sendo que a primeira tem como principal objetivo manter a integridade física, química e microbiológica dos cursos de água; já a segunda tem como objetivo proteger o abastecimento público de água potável, implementando programas técnicos e financeiros para garantir a segurança da água potável.

A escassez da água é um facto amplamente conhecido no mundo atual. Infelizmente as populações dos países desenvolvidos não têm muito essa noção, dando a água como um bem garantido por longos e vários anos. O mundo atual não permite usos descontrolados e impraticáveis de água.

A Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) prevê que, em muitos dos seus países constituintes, o setor da água enfrentará enormes mudanças a longo prazo, fruto do aumento da procura da água aliado ao crescimento populacional. Entre todas essas mudanças atuais e futuras, a reutilização de águas residuais surgiu como uma forma de reduzir o uso de água e, ao mesmo tempo, alertar as populações mundiais para a preservação e conservação da água.

Reaproveitamento das Águas Cinzentas a nível Mundial

Os fatores mais importantes a considerar quando se pretende reutilizar a água são a quantidade e qualidade do efluente, para determinação do seu potencial de reutilização face ao tipo de aplicação. De uma forma geral, as águas cinzentas são águas residuais geradas pelas atividades domésticas tais como duches, lavatórios e pia da cozinha.

A reutilização da água a nível Mundial, não tem passado por mais do que a reutilização da água residual tratada em ETAR's. Não existem muitos casos relevantes de separação da água cinzenta da água residual com tratamento independente. (Este é um dos focos principais desta dissertação)

Uma breve pesquisa sobre o tema de águas cinzentas releva o uso de muitos dispositivos, que aproveitam/tratam a água gerada no próprio local, outras são pensadas para uso doméstico e tentam ser compactas. Alguns desses casos são ilustrados nas figuras 3 e 4:

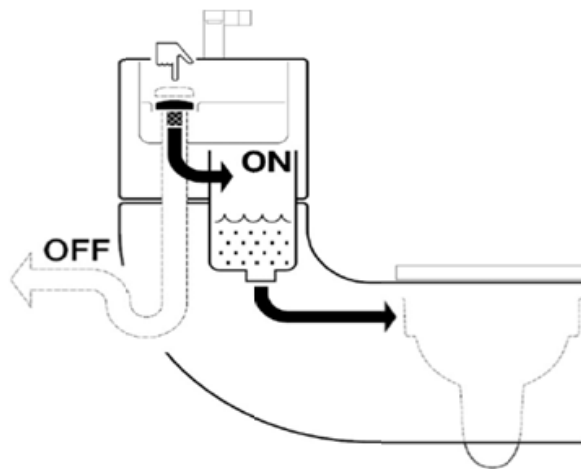


Figura 3 - Sistema compacto de lavatório e sanita (Roca, 2017)



Figura 4 - Sistema de tratamento com tempo de retenção reduzido (Ecoplay, 2017)

Estes sistemas preconizam um tratamento muito básico das águas cinzentas provenientes de banhos. Estas além de serem recolhidas e temporariamente armazenadas ficam sujeitas a separação física de sólidos através decantação ou/e remoção de flotados.

O efluente tratado por este tipo de sistema é reencaminhado por gravidade para os autoclismos, tal como retratado na figura 5.

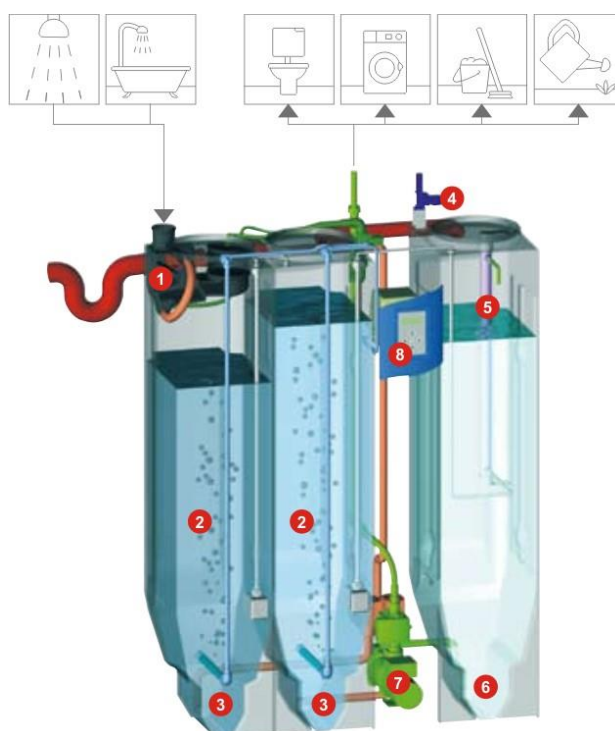


Figura 5 - Unidade compacta de tratamento biológico (Aquacycle®900)

1. Entrada do efluente proveniente dos banhos, com filtração de sólidos grosseiros;
2. O sistema submete o efluente para um tratamento biológico com arejamento forçado em duas etapas;
3. Sistema automático de extração de lamas, reencaminhando-as para saneamento;
4. Compensação ao sistema com água da rede;
5. Sistema de desinfecção por UV. Permite acumulação da água tratada por períodos mais

longos uma vez que inibe a formação de odores indesejáveis, bem como desenvolvimento microbiológico;

6. Armazenamento de água tratada;
7. Electrobomba de pressurização para distribuição de água e alimentação da lavagem automática dos filtros;
8. Um painel de controlo de uso “amigável” (“user-friendly”) com funções de economia de energia e de teste.

Esta unidade de tratamento garante qualidade de efluente tratado com qualidade de água recreativa de acordo com a Directiva-Quadro da Água e permite tratar caudais que podem variar entre 600 a 30000 l diários.

CAPÍTULO 3 – ÁGUAS CINZENTAS

Ao longo das últimas décadas têm existido avanços significativos na abordagem à gestão das águas residuais através de novas metodologias implementadas que são referidas, hoje em dia, como saneamento descentralizado. Esta ideia parte do pressuposto de que a urina, fezes e a água são recursos de um ciclo ecológico. É uma abordagem que visa a proteção da saúde pública, prevenção da poluição e, simultaneamente, a devolução de nutrientes ao solo.

A ideia fundamental destes conceitos integrados e inovadores são baseados no princípio da separação dos fluxos da água residual doméstica de acordo com as suas características. Esta propensão da gestão integrada das águas visa estruturas inteligentes, sinérgicas e descentralizadas. Esta temática tem evoluído nos últimos anos e apresenta várias melhorias, nomeadamente ao nível da redução de infra-estruturas de transporte e bombagem necessárias e a possibilidade das águas residuais serem tratadas de acordo com a sua origem e qualidade. Acresce ainda que os caudais de água residual a tratar são pequenos, o que permite sistemas de tratamento mais pequenos e simples.

No que se refere à gestão de águas residuais industriais, este conceito encontra-se amplamente difundido com grandes vantagens ao nível das eficiências e, por vezes, com vantagens financeiras (Otterpohl, 2002).

Otterpohl (1999) classifica, de acordo com a sua qualidade, os resíduos de uma habitação (águas e resíduos sólidos) em quatro grupos:

- Água cinzenta da casa de banho, máquinas de lavar e cozinha;
- Resíduos da cozinha e fezes pouco diluídas com urina (*Blackwater*);
- Água drenada da chuva;
- Resíduos sólidos não-biodegradáveis.

Desta forma e atendendo a esta abordagem é possível classificar as águas residuais em três categorias distintas:

- Águas Cinzentas;
- Águas Amarelas;
- Águas Negras.

3.1. DEFINIÇÃO

Friedler e Hadari (2006) definem a água cinzenta como toda a água com origem em equipamentos geradores de efluentes numa casa com exceção dos sanitários (Friedler, 2006; Nolde, 1999). Esta é a definição mais aceite entre vários autores, contudo as divergências entre definições ocorrem nas águas provenientes de equipamentos de lavagem de louça, pois este tipo de efluentes são os que apresentam maior carga orgânica e concentração de sólidos resultantes de resíduos alimentares. Um exemplo destas divergências é a ideia de WHO (2006) e Jefferson (1999) que definem a água cinzenta como água residual não tratada que não tenha estado em contato com água proveniente dos sanitários. Este tipo de água residual inclui água residual de banheiras, chuveiros, lavatórios de casa de banho e máquinas de lavar a roupa. Pelo contrário, não inclui água residual de lavatório de cozinha nem de máquinas de lavar a louça.

A nível nacional, a ANQIP, através da especificação técnica ETA 0905, classifica as águas residuais em três categorias:

- Águas Residuais Domésticas – efluentes provenientes de instalações sanitárias, cozinha, lavagens de roupas e usos similares;
- Águas Negras – águas provenientes das descargas sanitárias e mictórios, ou seja, as que contêm urinas e/ou fezes;
- Águas Cinzentas – águas residuais domésticas que não contêm águas negras, ou seja, águas provenientes de banheiras, duches, lavatórios e lavagem de roupa e cozinhas.

3.2. ENQUADRAMENTO NORMATIVO

A qualidade da água para reutilização de águas residuais regem-se por normativas que variam consoante o país e a aplicação a que se destinam, contudo os parâmetros avaliados são semelhantes, tais como as cargas orgânicas, microbiológicas e a quantidade de sólidos.

A maioria das normas existentes referem-se às águas residuais.

Em relação à reutilização de águas cinzentas os documentos orientadores ou normativos são bastante mais escassos e vagos.

i) O início

Os primeiros passos foram dados por:

- Organização Mundial de Saúde;
- US Environmental Protection Agency (USEPA).

Enquanto as primeiras publicações sobre a reutilização de águas residuais foram:

- “Clean Water Act”, 1972;
- “Safe Drinking Water Act”, 1974.

A OMS publica o primeiro rascunho em 1989 da “Wastewater use in agriculture: guidelines for the use of wastewater excreta and greywater”

ii) Na Europa e em Portugal

Nos países da União Europeia, as práticas de reutilização de água residual são normalizadas pelas respetivas diretivas. Tanto a Diretiva 91/271/CEE como o Decreto-Lei N.º 152/97 afirmam que toda a água residual tratada deve ser reutilizada sempre que for apropriado e que os locais de deposição devem minimizar os efeitos ambientais adversos. Em Portugal, a regulamentação destinada à reutilização das águas residuais ainda se encontra numa fase embrionária. As normas atuais recaem sobretudo para a reutilização das águas residuais tratadas na rega, tendo mesmo sido publicada, no ano de 2005, a

Norma Portuguesa NP 4443. Na mesma constam todos os requisitos de qualidade de água a reutilizar, processos de tratamento, equipamentos de rega a utilizar e, ainda, os procedimentos de monitorização ambiental da zona potencialmente afetada por essa rega.

A ANQIP elaborou a especificação técnica (ETA0905) que estabelece os critérios para a realização de sistemas prediais e reutilização de águas residuais cinzentas, abordando todos os parâmetros que as águas residuais cinzentas tratadas deverão garantir desde a descarga de autoclismos à rega de plantas.

Os aspetos comuns a todas as aplicações são que a concentração máxima de sólidos suspensos não poderá exceder 10 mg/L e o valor máximo admissível de coliformes totais é de 10^4 UFC/100 ml. Os restantes parâmetros variam consoante a aplicação final e alguns desses exemplos podem ser consultados nas tabelas 1 e 2.

Nos controlos analíticos anuais, sempre que nenhum parâmetro exceda o VMA (Valor Máximo Admissível) específico, considera-se que a qualidade da água cumpre as normas.

Tabela 1 – Requisitos de qualidade para rega de jardins privados (ANQIP, ETA 0905, 2011)

Parâmetro	VMA	VMR
<i>Legionella spp.</i> (*)	100 UFC/100 ml	-
Coliformes totais	-	10^4 UFC /100 ml
Estreptococos fecais (<i>Enterococos</i>)	100 UFC/100 ml	-
Coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>)	200 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
<i>Salmonellae</i>	Não detectável	-
Parasitas entéricos	1 ovo/ 10 l	Não detectável
Sólidos em suspensão	10 mg/l	-
Turvação	2 UNT	-

Tabela 2 - Requisitos de qualidade para descarga de autoclismos (ANQIP, ETA 0905, 2011)

Parâmetro	VMA	VMR
Coliformes totais	-	10 ⁴ UFC /100 ml
Estreptococos fecais (<i>Enterococos</i>)	400 UFC/100 ml	-
Coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>)	10 ³ UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1 UFC/ml	
Parasitas entéricos	1 ovo/ 10 l	
Sólidos em suspensão	10 mg/l	
Turvação	2 UNT	

As atividades de reutilização da água residual em países pertencentes à União Europeia são normalizadas pela Directiva 91/271/CEE.

Em 2005 foi publicada a Norma Portuguesa NP 4443: “Norma sobre reutilização de águas residuais tratadas para rega”.

Portugal não tem ainda definido de forma clara nem os vários tipos de reutilização possíveis nem os respetivos critérios de qualidade.

iii) Casos particulares de alguns países

Nos países estrangeiros parâmetros como o CBO, SST e turvação são onde mais incidem os documentos reguladores, já em Portugal, a regulamentação recai sobretudo nos agentes parasitas em detrimento do teor de matéria orgânica.

A tabela 3 faz uma análise global das regulamentações para a reutilização de água em vários países.

Tabela 3 - Lista de Regulamentações para Reutilização de Água em vários países

País	Tipo de Reutilização	Parâmetros Físico-Químicos	Parâmetros Microbiológicos (CFU/100 ml)		Referências Bibliográficas
Austrália	Recarga de autoclismos e lavagens automóveis	SST < 30 mg/l CBO < 20 mg/l	Coliformes Fecais	< 10	(Australian capitan territory, 2004)
Alemanha	Recarga de Autoclismo	SST ≈ 0 Turvação ≈ 0 OD > 50%	Coliformes Totais Coliformes Fecais	< 100/ml < 10/ml	(Nolde, 1999)
Israel	Regulação para o Tratamento de Águas Residuais	SST < 10 mg/l CBO ₅ < 10 mg/l CQO < 100 mg/l	-	-	(Ramon, 2004)
Espanha	Reutilização Urbana Residencial	SST < 10 mg/l Turvação < 2 NTU	E. Coli Nematodes	<0 1 ovo/10L	Real-Decreto 1620/2007
EUA	Reutilização Urbana	pH: 6-9 Turvação < 2 NTU	Coliformes Fecais	0	(USEPA, 2004)

Os países mais avançados na reutilização de águas cinzentas são o Japão, os EUA e a Austrália. Nos dois últimos, a reutilização de águas cinzentas está regulamentada e legalizada (EUA – “California pumping code” e Austrália – “Australian general guidelines for domestic GW reuse”). O Canadá, o Reino Unido, a Alemanha e a Suécia estão bastante empenhados.

O que move cada país, nesta temática, é muito variado:

- Japão – densidade populacional extremamente elevada;
- EUA e Austrália – condições de aridez.

Japão

Em Tóquio, a reciclagem de águas cinzentas é obrigatória para edifícios com áreas superiores a 30000 m² ou com um potencial de reutilização superior a 100 m³/dia.

As reutilizações para esta água são expressas na tabela 4:

Tabela 4 – Aplicações das Águas Cinzentas no Japão (Tajima, 2005)

	TURVAÇÃO (NTU)	MICROBIOLÓGICOS (Coliformes Totais)
Descargas de Autoclismos	< 2	não detetáveis
Uso Recreacional	< 2	não detetáveis
Uso Paisagístico	< 2	1000 cfu/100ml

Espanha

A reutilização de águas cinzentas residuais tratadas está regulamentada no Real-Decreto 1620/2007 para fins urbanos residenciais.

- **Lanzarote** – restringe o uso de águas cinzentas recicladas à recarga de autoclismos e à irrigação de zonas verdes, sendo expressamente proibida a rega por aspersão;
- **Astúrias** – obriga todos os edifícios residenciais com mais de 24 apartamentos, possuírem um sistema de tratamento de águas cinzentas, desde que seja previsível um consumo anual de águas em duches e banhos superior a 3000 m³;
- **Catalunha** – o Decreto 21/2006 de 14 de Fevereiro exige que todos os edifícios com data de construção posterior prevejam sistema de recolha e aproveitamento de águas cinzentas e da chuva.

Estados Unidos da América

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) é uma agência federal do governo dos Estados Unidos da América encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente: ar, água e terra. Em 2004, esta agência regulamentou os parâmetros típicos para as águas cinzentas no seu país.

A tabela 5 faz a compilação dessas características:

Tabela 5 - Características típicas das águas cinzentas nos EUA (USEPA, 2004)

PARÂMETROS	VALORES
Valores de pH	6 a 8
Turvação	< 2 NTU
Cloro Residual	> 1 ppm
CBO ₅	< 10 mg O ₂ /l
Coliformes Fecais	não detetáveis

Em 1997, a “Building Standards Commission” aprovou a revisão dos “California Graywater Standards”.

Austrália

Neste país existe um documento que regulamenta a reutilização de águas cinzentas para diversos usos, tais como:

- Irrigação superficial;
- Descargas de autoclismos;
- Lavagem de roupa;
- Lavagem de carros.

Exigindo a verificação dos parâmetros expostos na tabela 6:

Tabela 6 - Características típicas das Águas Cinzentas na Austrália

PARÂMETROS	VALORES
SST	<30 mg/l
CBO ₅	<20 mg O ₂ /l
Coliformes Fecais	<10 CFU/100 mL

No “Australian General Guidelines for Domestic Greywater Reuse”, o tratamento exigido é apenas secundário, sendo que uma das restrições é a reutilização da água tratada em autoclismos.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS CINZENTAS

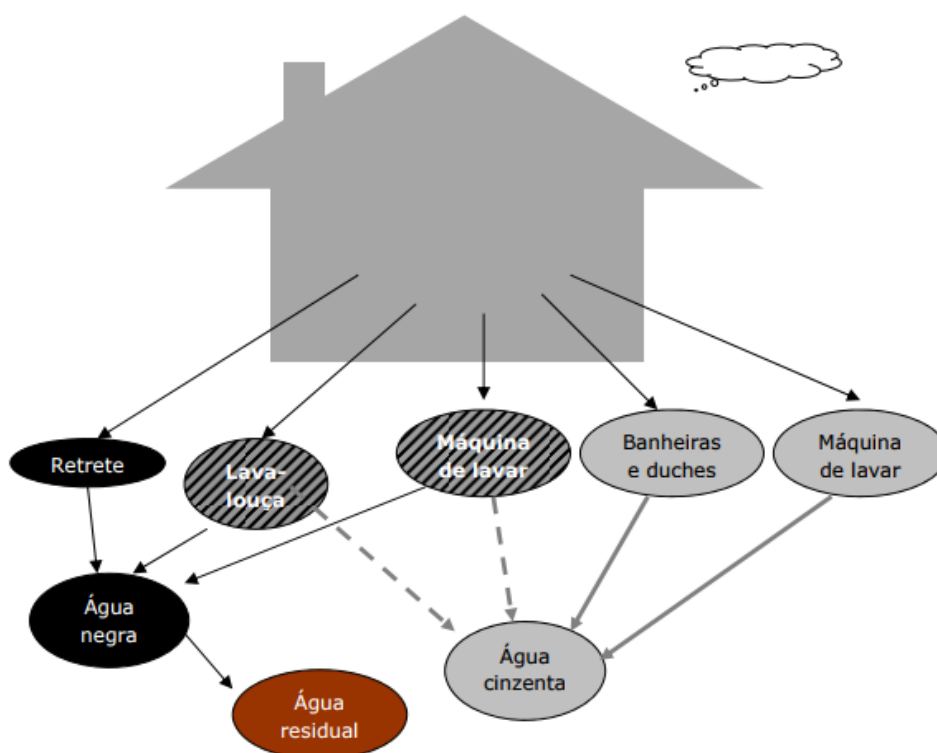


Figura 6 – Fluxos da água resultante das atividades domésticas (Almeida, 1999)

A figura 6 representa os vários fluxos e respectivas fontes produzidas numa habitação doméstica. As águas negras poderão ser encaminhadas para a rede de saneamento instalada ou ser alvo de tratamento para posterior reutilização ou deposição. Estes tipos de águas residuais são provenientes, em geral, da retrete e lavatórios de cozinha. Os efluentes resultantes da máquina de lavar louça e roupa subdividem-se em águas negras ou cinzentas dependendo das cargas orgânicas presentes no efluente. As restantes fontes são consideradas como águas cinzentas.

3.3.1. Caracterização Quantitativa

As águas cinzentas representam, em média, 60% a 70% do consumo de água potável no interior de uma habitação. (Jefferson, 1999; Ericksson, 2002; Friedler, 2006b; ANQIP, ETA 0905, 2011)

Assumindo que a captação de abastecimento público ronda os 150 L/hab.dia, pode-se dizer que, em média, a produção de águas cinzentas numa residência varia entre 90 a 105 L/hab.dia.

Uma família típica pode economizar 30-40% de água, se toda a água cinzenta for reutilizada. (Jeppesen 1996)

Hoek (1999) realizou alguns estudos práticos de reutilização de águas e conclui que o cenário de reutilização de águas cinzentas provenientes dos banhos, lavatórios e recargas de autoclismos, a poupança no consumo de água da rede pública é de aproximadamente 20%, assumindo uma captação total e captação de autoclismo de 144 e 30,5 L/hab.dia, respetivamente.

Tabela 7 - Balanço hídrico em edifícios residenciais com dispositivos eficientes (valores médios em litros por habitante e por dia) (adaptado de fbr – information sheet H201)

Natureza da água utilizada	Usos de água	Águas residuais produzidas	Destino da água	
52 litros de água de qualidade alimentar	40 litros para duche, banheira e lavatórios	70 litros de águas cinzentas	48 litros de águas cinzentas regeneradas	
	12 litros para a cozinha		22 litros de águas cinzentas descarregadas	
48 litros de água regenerada	5 litros para limpezas		25 litros de águas negras	25 litros de águas negras descarregadas
	13 litros para a máquina de lavar roupa			
	25 litros para descarga de autoclismos	-	Infiltração no solo	
	5 litros para rega			

Segundo a ANQIP, em edifícios novos ou reabilitados, onde tenham sido instalados dispositivos da classe de eficiência A ou inferior, poderá estimar-se o consumo médio de água em cerca de 100 L/hab.dia e a produção de águas cinzentas representa 70% desse valor (tabela 7).

3.3.2. Caracterização Qualitativa

Em geral, as substâncias presentes nas águas cinzentas são facilmente biodegradáveis e advêm, maioritariamente, de produtos de higiene pessoal, detergentes, cabelos, pele e sujidade da roupa. O tratamento deste tipo de águas não convém ser muito demorado pois, facilmente, desencadeiam-se processos de decomposição envolvendo sulfatos e cheiros desagradáveis.

As águas residuais provenientes da máquina de lavar roupa, máquinas de lavar louça ou da pia da cozinha possuem uma carga poluente elevada (maior carga orgânica), contudo os valores podem variar face à qualidade da rede pública ou tratamentos inseridos na rede predial (por exemplo, uma maior concentração de nitratos na rede geral ou a adição de polifosfatos na instalação predial para impedir a corrosão das tubagens). (ANQIP, ETA 0905, 2011)

Dependendo das atividades dos ocupantes de um edifício/habitação e da origem da água, a qualidade das águas cinzentas varia diariamente. (WHO, 2006)

As tabelas 8 e 9 apresentam as características típicas das águas cinzentas de acordo com os vários autores.

Tabela 8 - Características das Águas Cinzentas

Parâmetros	Siegrist (1976)*			Christova-Boal (1996)		Almeida (1999)		
	Chuveiro/Banheira	Pia da Cozinha	Lava Roupas	Enxaguamento de Roupa	Casa de Banho	Lavatório	Chuveiro	Pia da Cozinha
Físicos	mg/l exceto onde indicado							
Temperatura (° C)	29	27	32	28				
Turbidez (NTU)						60 - 240		
ST	250	2410	1340	410				
SST	120	720	280	120		181	200	235
Químicos	mg/l exceto onde indicado							
pH						6,4 - 8,1		
Condutividade (µS/cm)						82 - 250		
Alcalinidade						24 - 43		
DBO ₅	170	1460	1040	380	150	76 - 200		
DQO							298	501
Óleos e Graxas						37 - 78		644
Cloreto						9,0 - 18		
Nutrientes	mg/l exceto onde indicado							
N-total	17	74	21	6				
NTK						4,6 - 20		
NH ₄ -N	2	6	0,7	0,4		<0,1 - 15	0,3	1,2
NO ₃ -N	0,4	0,3	0,6	0,4			6	6,3
NO ₃ & NO ₂						<0		
P-total	2	74	57	21		0,11 - 1,8		
PO ₄ -P	1	31	15	4			13,3	19,2
26								
Microbiológicos	por 100 ml exceto onde indicado							
Coliformes Totais	70 - 8200		85 - 8,9x10 ³	190 - 1,5x10 ³	500 - 2,4x10 ³			
Coliformes Fecais	1 - 2500		9 - 1,6x10 ⁴	35 - 7,1x10 ³	170 - 3,3x10 ³			
Cripistoridium					nd			
Salmonela					nd			

*Citado em Eriksson (2002)

Tabela 9 - Características Qualitativas de Águas Cinzentas (M. Wright, 1996)

FONTES DE ÁGUA CINZENTA	Bactérias	Lixívia	Espuma	Partículas de Alimentos	Cabelos	pH elevado	Água Quente	Nitrato	Odor	Óleos e Gorduras	Matéria Orgânica	Emissão Oxigênio	Fosfato	Salinidade	Sabões	Sódio	SS	Turvação	
Máquina Roupa		✓	✓			✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Máquina Louça	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Banheira	✓				✓		✓		✓	✓		✓			✓		✓	✓	✓
Cozinha	✓			✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓

3.3.3. Benefícios da Reutilização

Os principais **benefícios** da reciclagem de água cinzenta são:

- 1) Redução de necessidades de água potável: a água cinzenta pode substituir a água potável, pelo menos nas seguintes situações:
 - a) Autoclismos;
 - b) Pré-lavagem da roupa e louça;
 - c) Rega;
 - d) Lavagens de pátios e veículos.

- 2) Redução do caudal afluyente às fossas sépticas e estações de tratamento de águas residuais – regra geral esta diminuição traduz-se no prolongamento da vida útil dos equipamentos, na eficiência do tratamento e, obviamente, numa redução de custos;

- 3) Facilidade e eficiência de tratamento.

As vantagens para o “Mundo” são enormes:

- a) Diminuição da utilização dos recursos hídricos;
- b) Não necessidade de construir/ampliar;
 - Estações de tratamento de água residual;
 - Estações de tratamento de água potável;
 - Redes de água.

As vantagens para o Homem/Empresa, resumem-se à redução dos custos da fatura da água.

3.3.4. Constrangimentos da Reutilização

Apesar da “reciclagem” das águas residuais ser uma prática cada vez mais usual nos dias de hoje, esta continua a gerar um certo desconforto na opinião pública. O receio da reutilização associado à falta de conhecimento das técnicas atuais utilizadas no tratamento de águas continuam a ser os principais obstáculos à sociedade.

Legget (2001) identificou três barreiras da sociedade perante este tema:

- Falta de confiança nos sistemas de tratamento;
- Preocupação com os riscos para a saúde associados à ingestão deste tipo de água;
- Falta de análises custos-benefícios.

Em virtude dos avanços da Ciência e Tecnologia pode-se afirmar que, atualmente, a sustentabilidade dos recursos hídricos está garantida pois os processos de tratamento utilizados no reaproveitamento das águas residuais são de um grau de eficiência e eficácia muitos grandes, contudo a barreira económica continua a ser o principal entrave, principalmente em países subdesenvolvidos onde a proporção população *versus* quantidade de água potável disponível é de tal forma desajustada que torna-se obrigatório esta prática ser aplicada.

3.3.5. Processo Unitários para Tratamento de Águas Cinzentas

A água potável é um bem cada vez mais escasso. Desta forma e atendendo a uma composição muito variável da água disponível, impõe-se um tratamento à mesma de forma a evitar os problemas causados pelos diferentes tipos de poluição.

Este subcapítulo tem como objetivo descrever os processos unitários utilizados no Tratamento de Águas Cinzentas.

3.3.5.1. Desinfecção

A desinfecção é o processo de tratamento a que necessariamente se recorre quando uma água possui problemas bacteriológicos. No entanto, é uma boa prática proceder à desinfecção da água, mesmo na ausência de contaminação bacteriológica. Tal é mesmo imprescindível quando se tratam de sistemas em que o tempo de residência ou percurso são elevados ou sempre que existe armazenamento da água.

A desinfecção consiste na destruição seletiva de todos os microrganismos causadores de doenças (patogénicos) e distingue-se da esterilização, porque, neste caso, a destruição dos microrganismos é total.

As técnicas, normalmente utilizadas na desinfecção de águas são as seguintes:

- Químicas – através de dadores de cloro (ex. hipoclorito de sódio);
- Físicas – através da radiação ultravioleta.

Parâmetros que influenciam a desinfecção:

- Tempo de contato;
- Tipo e concentração do reagente químico;
- Tipo e intensidade do agente químico;
- Número de microrganismos existentes.

Para uma determinada dosagem de reagente, a eficiência da desinfecção é proporcional ao tempo de contato.

Assim, a partir dos anos 80, a indústria desenvolveu o conceito de $C \times T$, que indica a efetividade da desinfecção quando se usam produtos oxidantes.

$$\textit{Efetividade da Desinfecção} = \textit{Concentração} \times \textit{Tempo}$$

Isto significa que se pode obter o mesmo grau de desinfecção, por exemplo, diminuindo a concentração para metade desde que se aumente o tempo de contato para o dobro.

A literatura da especialidade apresenta tabelas $C \times T$ para uma determinada percentagem de redução de algumas bactérias e vírus.

Utilizam-se dois termos:

x – *Log de Inativação*

y – *% de Inativação*

Aplicando a fórmula 1:

$$y = 100 - \frac{100}{10^x} \quad (1)$$

Vem,

$$\% \text{ Inativação} = 100 - \frac{100}{10^{\text{Log de Inativação}}} \quad (2)$$

Em que o Log de Inativação corresponde à percentagem de remoção/inativação do vírus.

1 – *Log Inativação = 90 % de remoção do vírus*

2 – *Log Inativação = 99 % de remoção do vírus*

3 – *Log Inativação = 99,9 % de remoção do vírus*

4 – *Log Inativação = 99,99 % de remoção do vírus*

Desinfecção por Hipoclorito de Sódio

Os compostos de cloro são os reagentes mais utilizados na desinfecção de águas e de águas residuais. A elevada capacidade oxidante do cloro é extremamente útil na destruição da matéria orgânica e, em simultâneo, permite efetuar a desinfecção das águas porque destrói as enzimas essenciais à sobrevivência dos microorganismos existentes.

Devido ao transporte e armazenamento da água, esta deve possuir um teor residual de cloro livre que garanta o ataque a eventuais pequenos focos de contaminação posteriores à dosagem de produto químico.

Desinfecção por Radiação Ultravioleta

A desinfecção da água usando a radiação UV é uma tecnologia inovadora e comprovada. Esta tecnologia assegura a eficácia de uma desinfecção sendo usada quer em grandes como em pequenas aplicações. A unidade de desinfecção por radiação UV elimina 99,9% dos vírus e das bactérias. O sistema ultravioleta, quando aplicado nas doses certas, destrói o material genético (DNA) dos microorganismos. A absorção da radiação UV pelos ácidos nucleicos causa a destruição da informação genética que interfere com a capacidade da célula em se reproduzir. A célula não se consegue reproduzir sendo considerada morta, visto que é incapaz de se multiplicar.

A radiação UV é emitida por uma lâmpada germicida de muito baixa pressão. Este tipo de lâmpadas é, atualmente, produzido com potências de 3,5 kW. A ação desinfetante da radiação UV deve-se à destruição do DNA dos microorganismos impedindo-os de manter o seu metabolismo.

O maior problema que afeta os *rendimentos* do sistema de radiação UV é a quantidade de sólidos suspensos na água. Estes reduzem a intensidade da energia UV para atingir os micróbios, uma vez que estes servem de escudo à mesma, reduzindo a intensidade da radiação UV que os ataca. Porém, este problema pode ser minimizado destruindo estas barreiras através, por exemplo, da filtração das partículas em suspensão.

Dos conhecimentos científicos atuais e das tecnologias modernas foi possível construir aparelhos que utilizam as radiações ultravioletas para efetuar a desinfecção. A energia ultravioleta corresponde a uma região de energia do espectro eletromagnético que se encontra localizado entre a região da radiação visível e da zona dos raios X.

A zona do ultravioleta está compreendida entre os 200 e 390 nanómetros. A ação germicida ótima da radiação ultravioleta ocorre aos 260 nanómetros. A partir da radiação germicida natural dos raios ultravioleta do Sol que se encontram distribuídos na atmosfera, foi encontrada a possibilidade de produzir radiação ultravioleta com a finalidade de se proceder à desinfecção.

A produção desta radiação é possível graças à conversão de energia elétrica da lâmpada de mercúrio de baixa pressão de vapor, envolvida num quartzo de vidro. Através da corrente

criada pelos elétrons oriundos da ionização da lâmpada de mercúrio entre os elétrodos da lâmpada, os quais criaram a radiação UV.

Na tabela 10 estão expressas as principais diferenças entre os dois sistemas de desinfecção.

Tabela 10 - Vantagens e Desvantagens dos sistemas de desinfecção (Manual Técnico AQ, 2010)

SISTEMA DE DESINFEÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ULTRA-VIOLETAS	Não altera gosto, cheiro e cor da água.	Custo do equipamento mais elevado.
	Não forma produtos secundários tóxicos.	
	Não é necessário adicionar produtos químicos.	
	Os sistemas de Ultra-Violetas são simples e fáceis de instalar e requerem pouca manutenção.	Não garante uma protecção contínua
	Custos de operação baixos: consumo eléctrico inferior a uma lâmpada de candeeiro.	
HIPOCLORITO DE SÓDIO	Custo do equipamento mais baixo.	Altera gosto, cheiro e cor da água.
	Muito divulgada e de uso frequente	Possibilidade de formação de produtos secundários tóxicos.
		É necessário adicionar produtos químicos.
		É necessário, periodicamente, preparar uma solução de Hipoclorito de Sódio.

3.3.5.2. Separação de Óleos e Gorduras com Decantação

As gorduras, óleos vegetais e animais são compostos poluentes que fazem parte da constituição dos óleos de cozinha tais como margarinas, manteigas e óleos de fritar. As águas residuais oleosas resultam em grande parte de atividade agrícola e indústria alimentar. (Dossier PremierTech, 2014)

Os equipamentos utilizados neste processo unitário são os separadores de gorduras e são fabricados, geralmente, em PEAD. Este tipo de equipamentos não requer consumo

energético, baseando o seu funcionamento através da separação gravítica de matérias com densidades diferentes da água.

As matérias mais pesadas (lamas, areias, etc.) sedimentam e ficam retidas no compartimento de pré-decantação. Este compartimento retém, ainda, gorduras que se encontram em formas facilmente flotáveis.

A água bem como as restantes substâncias mais leves, nomeadamente as gorduras, passam para a zona de separação. Nessa etapa, as gorduras vão-se acumulando à superfície e ao mesmo tempo a água limpa sai a um nível que não permite a mistura das fases. (Catálogo Ecodepur, 2017)

3.3.5.3. Filtração Multicamada

A filtração da água tem como objetivo principal a remoção dos materiais em suspensão e a, conseqüente, redução da turvação da água.

Os filtros multicamada podem ser constituídos por vários meios filtrantes. Os materiais mais utilizados são:

- Antracite;
- Areia média;
- Areia fina;
- Almandite (alumino-silicato rico em ferro de fórmula $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$);

A filtração em leitos de área de sílex é uma operação que consiste em passar água essas areias contidas numa coluna/carcaça. Outros parâmetros que caracterizam o meio filtrante são a curva granulométrica, diâmetro efetivo e o respetivo coeficiente de uniformidade. (Figuras 7 e 8)

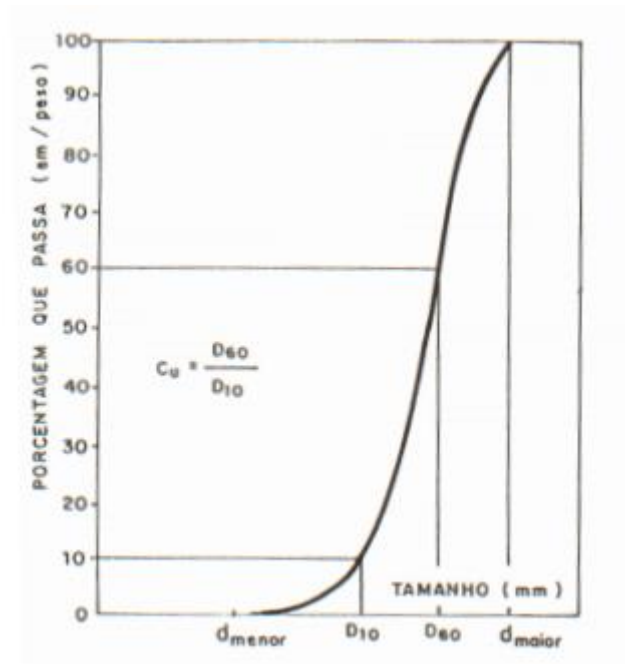


Figura 7 - Curva granulométrica típica de um material filtrante (Di Bernardo, 1991)

A granulometria selecionada para o enchimento deve ser um compromisso entre o grau de filtração e a perda de carga que a água tem ao atravessá-lo, ou seja, quanto mais fina é a areia, melhor é a filtração. No entanto, desta forma há um aumento na resistência à passagem da água.

Por outro lado, verifica-se que uma altura superior a 50 centímetros do mesmo material filtrante não será uma mais-valia na qualidade de filtração.

Uma vez que os sólidos em suspensão que ficam retidos nos primeiros centímetros vão colmatar, não deixando passar a água, o que implica a não utilização do resto da coluna para filtração

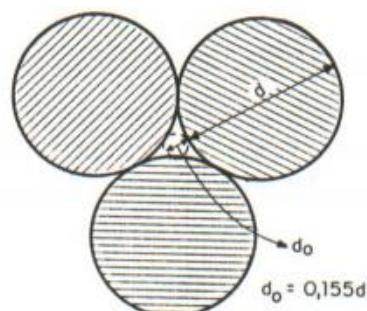


Figura 8 – Relação de diâmetro entre uma partícula de diâmetro conhecido e o diâmetro dos seus interstícios (Huisman, 1974)

Quando essa perda de carga atinge um valor pré-estabelecido ou a turbidez do efluente aumenta, deve ser feita a lavagem do filtro.

Operação

Os filtros atuais usam, pelo menos, três camadas de materiais diferentes:

- **1ª Camada:** Granulometria maior, no entanto com menor densidade;
- **2ª Camada:** Granulometria média, com densidade média;
- **3ª Camada:** Granulometria fina, com densidade mais elevada.

Assim, consegue-se ter três “filtros” numa só coluna. Os sólidos de maior dimensão ficam retidos na primeira camada, deixando passar os de média e pequena dimensão. Os sólidos de dimensão média ficam retidos na segunda camada.

Finalmente, os sólidos de menor dimensão que passaram na primeira e segunda camada vão ser interceptados na terceira camada.

Os filtros multicamada (figura 9) são, ainda, compostos por um bateria de válvulas manuais (filtros manuais) ou por válvulas automáticas (filtros automáticos) que atuam as diferentes fases de operação dos filtros:

- **Filtração (*Service*):** caracteriza-se pela passagem de caudal de água a tratar em sentido descendente através do leito filtrante, sendo os materiais em suspensão retidos nas camadas filtrantes;
- **Contra-lavagem (*Backwash*):** passagem de caudal de água de lavagem em sentido ascendente através do leito filtrante a uma velocidade elevada, havendo expansão do leito filtrante até 50%. Dessa forma, o material em suspensão retido na operação de filtração é solto e sai pelo topo, sendo encaminhado para o esgoto;
- **Assentamento de camadas/Enxaguamento (*Fast Rinse*):** uma vez que a operação anterior foi criada muita turbulência, torna-se necessário assentar as várias camadas. Se o filtro fosse colocado de imediato em serviço, haveria passagem de

alguns sólidos. Esta operação não é mais do que uma mera filtração, contudo a água em vez de ir para serviço, vai para esgoto. Desta forma é garantida uma água sem turvação quando o filtro entrar em serviço.

A taxa de filtração mais apropriada é em função da solidez dos flocos e dimensão das partículas do meio filtrante e o seu cálculo pode ser efetuado da seguinte forma:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Em que,

V – Velocidade de filtração ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)

Q – Caudal de filtração (m^3/h)

A – Área de filtração (m^2)

A tabela 11 apresenta as velocidades típicas de filtração multicamada nas mais diversas aplicações, nomeadamente em piscinas, água subterrânea e água superficial.

Tabela 11 - Velocidades típicas de filtração multicamada (Manual Técnico AQ, 2010)

Aplicação	Velocidade de Filtração (m/h)
Piscina Privada	50
Piscina Pública	30-40
Água Subterrânea	15-25
Água Superficial	10-15

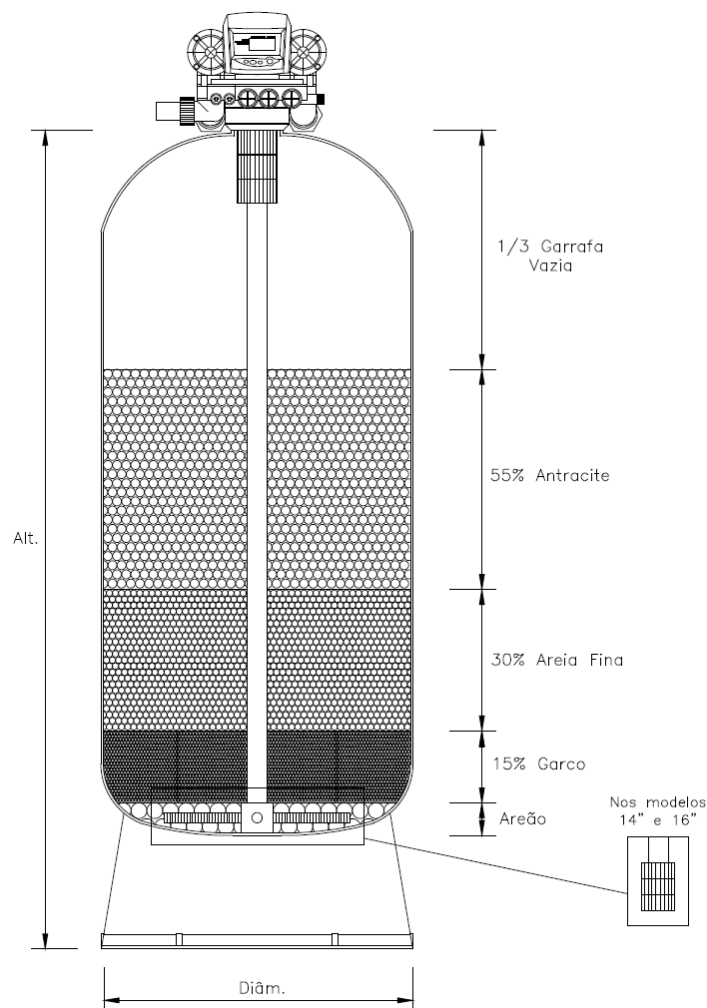


Figura 9 - Filtro típico multicamada (Materiais Gráficos AQ, 2010)

3.3.5.4. Filtração em Carvão Ativado

Os carvões microporosos pertencem a uma classe importante de materiais, conhecida como a classe de carvão ativado, tendo um largo leque de aplicações.

O carvão ativado é utilizado como **adsorvente**, catalisador ou suporte de catalisador.

A adsorção é um processo físico-químico onde um componente na fase gasosa ou líquida é transferido para superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são denominados de **adsorvatos**, enquanto a fase sólida que retém o adsorvato tem o nome de **adsorvente**. A remoção das moléculas a partir da superfície é chamada **dessorção**. (Masel, 1996)

A diferença de concentrações entre o fluido e a superfície do adsorvente é a razão pela qual acontecem as mudanças de fase dos componentes. O adsorvente é uma superfície sólida insolúvel onde o adsorvato se concentra, logo quando maior for a área de superfície, maior será a eficiência da adsorção. Por isso é que normalmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas. (Borba, 2006)

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície do adsorvente pela ação de diversos tipos de forças químicas: ligações de hidrogénio, interações dipolo-dipolo e pelas forças de Van der Waals. (Letterman, 1999)

Os carvões ativados são materiais carbonosos que apresentam forma microcristalina, não gravítica, que sofreram processamento prévio para aumentar a sua porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta porosidade interna equivalente a uma rede de túneis que se ramificam em canais menores. (Letterman, 1999)

O carvão possui uma característica que o distingue dos restantes materiais que é a sua larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos, onde acontece o processo de adsorção (figura 10) e cujo tamanho e forma dos poros influenciam na seletividade da adsorção, através do efeito de peneira molecular. (Rodriguez Reinoso e Sabio Molina, 1998).

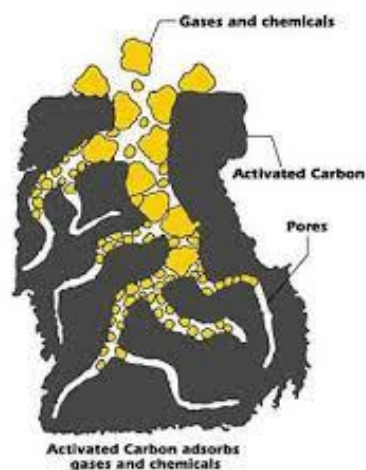


Figura 10 - Processo de adsorção no carvão ativado (Brennan, 2001)

Os carvões ativados são produzidos a partir de vários métodos (figura 11), envolvendo compostos sintéticos, bases e outras substâncias num fluxo de gases ativantes, tais como o

vapor de água (H₂O) ou dióxido de carbono (CO₂). (Ormi – Organic Materials Review Institute, 2006)

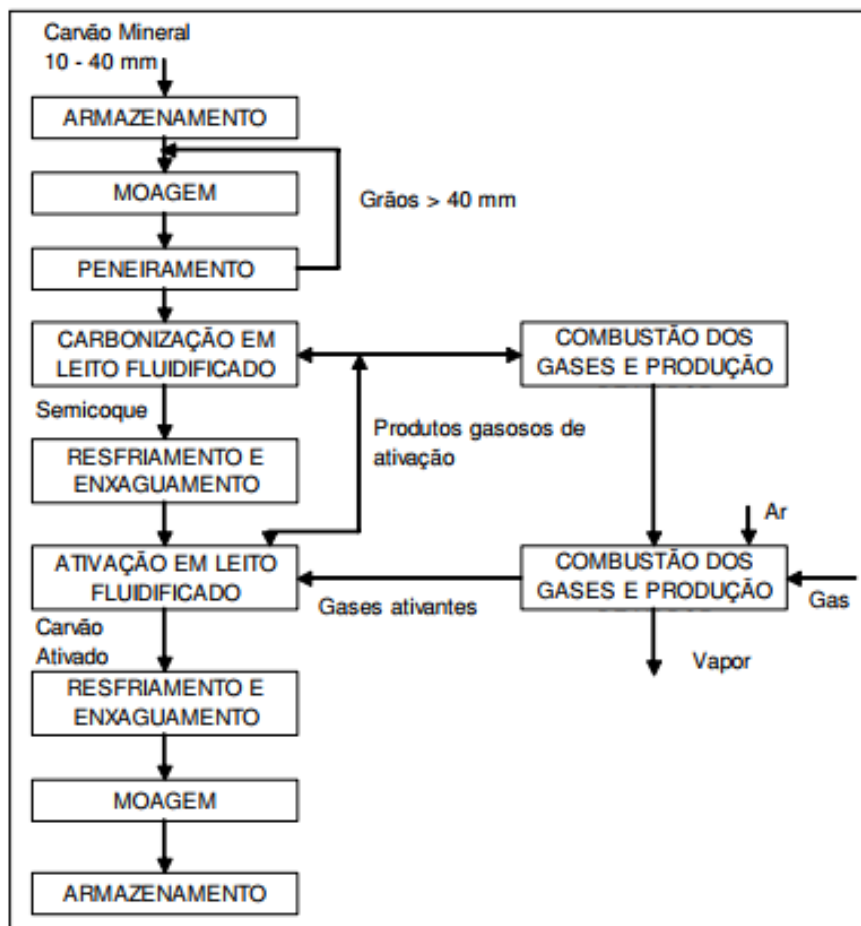


Figura 11 - Fluxograma do processo de fabricação de carvão ativado a partir de carvão mineral (Di Bernardo, 2005)

O carvão ativado pode ser obtido em pó (CAP) ou granulado (CAG). O CAP é vulgarmente utilizado como reagente químico em ETA's (implicando etapas posteriores de decantação e filtração), enquanto o CAG (figura 12) é utilizado como meio filtrante em filtros de carvão ativado. (Manual de Tratamento de Águas – Aquaquímica, 2010)

O carvão ativado em pó como possui uma menor dimensão de partículas permite uma maior rapidez de adsorção dos compostos orgânicos face ao carvão ativado granulado.

Contudo, o PAC apresentam diversas desvantagens em relação ao CAG, tais como:

- Impossibilidade de regeneração do PAC;
- A maior parte dos contaminantes necessita de elevadas dosagens de PAC;
- Necessidade de tratamento de lamas;
- Baixa eficiência na remoção de matéria orgânica natural (COT e CQO).

A utilização de um tratamento com carvão ativado garante uma redução acentuada da matéria orgânica (cor, cheiro e sabor) existente na água, permitindo a obtenção de valores da matéria orgânica inferiores a 0.5 mg/L O₂, valores de CQO inferiores a 10 mg/L O₂ (valores de referência, dependentes da carga orgânica da água bruta) e ainda uma remoção dos compostos oxidantes presentes na água (cloro). (Manual AQ, 2010)



Figura 12 - Carvão ativado granulado (Materiais Gráficos AQ, 2010)

3.3.5.5. Processos de Membranas

Os processos de membranas disponíveis para o tratamento de águas residuais são diversos, contudo nesta dissertação serão abordadas apenas dois destes processos de tratamento: a Ultrafiltração e os Reatores Biológicos de Membranas.

Ultrafiltração

O processo de ultrafiltração foi desenvolvido nos anos 90 do século passado e permitiu-nos dar um salto qualitativo na produção de água para consumo humano. A ultrafiltração garante qualidade do produto final independentemente da qualidade da água bruta. Este é um processo de separação total de contaminantes em suspensão da água, permitindo-nos eliminar contaminantes microbiológicos e vírus além da matéria em suspensão e coloidal.

A Ultrafiltração sendo baseada em tecnologia de membranas permite-nos de forma compacta obter superfícies de filtração muito grandes (até 70 m² por membrana). As membranas de ultrafiltração têm porosidade de 100-10 nanómetros e são fabricadas em PVDF o que garante uma grande resistência mecânica e química a fatores externos. Permitem, igualmente, obter uma compatibilidade com uma enorme gama de soluções químicas de limpeza de forma a prolongar o tempo de vida.

Os resultados obtidos com esta metodologia são bastante consistentes, alcançando valores de turvação abaixo de 1 NTU.

O grande obstáculo nesta metodologia continua a ser o aspeto económico, contudo, os custos de investimento nas unidades de ultrafiltração têm vindo a diminuir desde o seu desenvolvimento inicial de forma a poder ser uma alternativa competitiva aos tratamentos convencionais.

Hoje em dia, países como a Suíça, o Azerbaijão e Kuwait são exemplos onde grandes sistemas de UF foram implementados, desde o tratamento de águas superficiais e subterrâneas até ao processo de Dessalinização.

MBR – Membrane Biological Reactor

O processo de MBR foi inicialmente desenvolvido pela Dorr-Olivier Inc. no final da década de sessenta e consistia na combinação de lamas ativadas com uma membrana de fluxo cruzado, contudo essa primeira geração de MBRs era economicamente inviável. Os anos seguintes foram importantes para o desenvolvimento desta tecnologia, com os contínuos avanços tecnológicos, no final da década de noventa surgiu a nova atualização da tecnologia que consistia na submersão das membranas no interior dos bioreatores.

Esta tecnologia de tratamento de efluentes utiliza membranas de micro ou ultrafiltração. A unidade de filtração das membranas permite a retenção de quase todas as partículas, elevada concentração de SS, elevada retenção celular e formação de um efluente tratado com baixa concentração de STT e turbidez, não havendo a necessidade da utilização de um decantador secundário posteriormente.

Os bioreatores de membrana são divididos em duas partes principais:

- a) A unidade biológica responsável pela degradação dos compostos presentes na água residual;
- b) Módulo de membrana responsável por levar a cabo a separação física do licor.

Com base na sua configuração, existem dois tipos de bioreatores de membrana:

Bioreatores com Membrana Integrada ou Submersa

Nesta configuração, o módulo de membrana responsável pela separação física do licor está submerso no tanque biológico. A força motriz através da membrana é conseguida pressurizando o bioreator ou criando uma pressão negativa no lado permeado da membrana. (Buisson, 1998; Cote, 1997; Rosenberg, 2002).

A limpeza das membranas é feita através de frequentes contra-lavagens com água permeada e ar. Ocasionalmente, esta limpeza poderá ser feita com soluções químicas.

Geralmente coloca-se um difusor de ar debaixo do módulo de membrana para administrar o ar necessário para homogeneizar o conteúdo do tanque, tanto para o processo biológico, como para a própria limpeza das membranas. (Fundación Centro Canario del Agua, 2003)

A figura 13 representa este tipo de configuração da membrana.

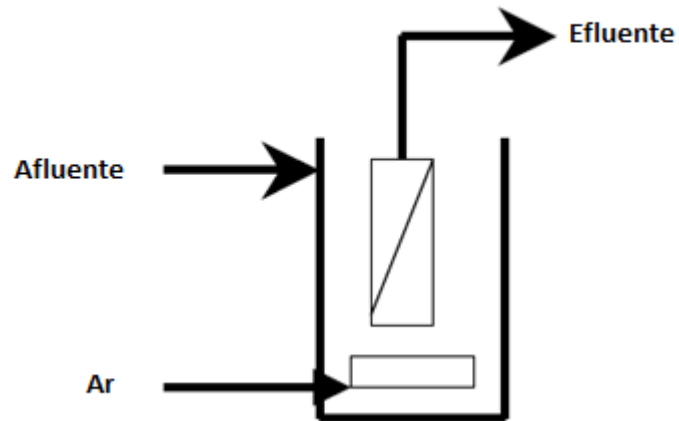


Figura 13 – Bioreatores de membrana submersa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003)

Membranas Externas com Recirculação ao Bioreator

Esta configuração de MBR implica que o licor seja recirculado desde o bioreator até ao módulo de membrana que, por sua vez, se dispõe externamente da unidade biológica. A força motriz é a pressão criada pela alta velocidade do fluxo através da superfície da membrana. (Cicek, 1998; Urbain, 1998).

A figura 14 representa este tipo de configuração da membrana.

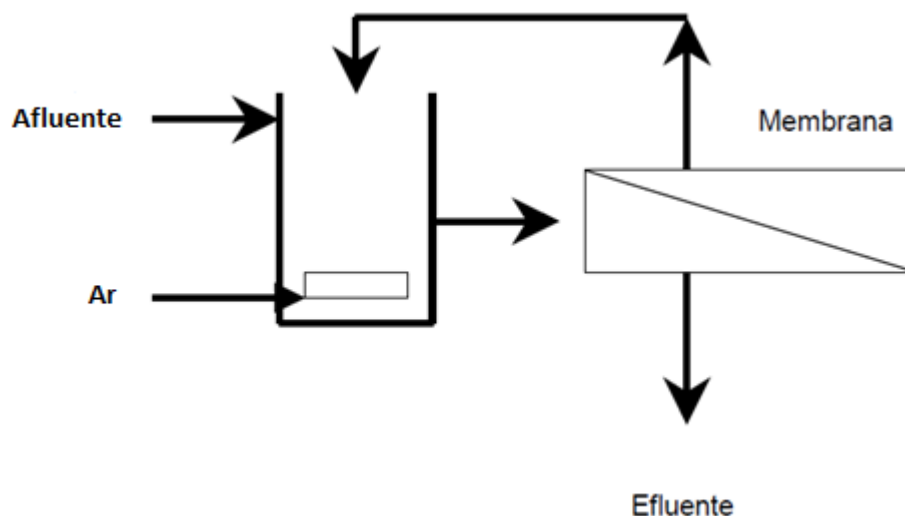


Figura 14 – Bioreatores com membrana externa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003)

A tabela 12 tem como objetivo fazer uma comparação entre os dois tipos de disposição das membranas.

Tabela 12 - Comparação entre bioreatores de membrana submersa e bioreatores com membrana externa (Fundación Centro Canario del Agua, 2003)

Bioreatores com Membrana Submersa	Bioreatores com Membrana Externa
Custos de arejamento elevados	Custos de arejamento baixos
Custos de bombagem muito baixos	Custos de bombagem altos
Baixo fluxo (menor compactação)	Alto fluxo (maior compactação)
Baixa frequência de limpeza	Maior frequência de limpeza
Custos de operação menores	Custos elevados de operação

Vantagens dos MBR em relação ao Sistema Convencional de Lamas Ativadas

A tecnologia MBR melhora a eficiência dos tratamentos de águas residuais:

- a) Graças à retenção das membranas, operando em altas concentrações de lamas, obtendo desta forma, maiores rendimentos de depuração;
- b) Mediante a separação das lamas ativadas através de membranas, assegurando-se uma qualidade superior da água tratada, livre de sólidos em suspensão;
- c) Graças à distribuição uniforme dos poros da membrana, o que permite obter permeados de elevada qualidade.

A tecnologia MBR como obtém rendimentos de depuração elevados, permite a redução considerável do espaço (figura 15) destinado ao tratamento de águas residuais, uma vez que elimina a necessidade da decantação. (Catálogo MBR HidroWater, 2016)

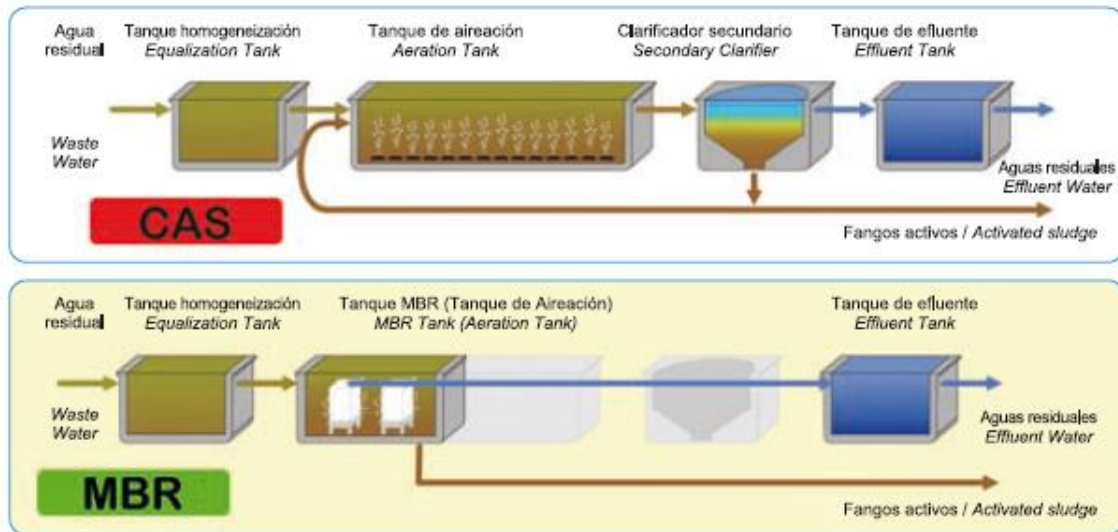


Figura 15 – Sistema Convencional de Lamas Ativadas vs. MBR (Catálogo MBR HidroWater, 2016)

CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

O aproveitamento de Águas Cinzentas consiste num conjunto de princípios para o uso eficiente da água com base na sustentabilidade ambiental, nunca esquecendo a importância económica.

Este capítulo tem como principal objetivo desenvolver estudos práticos sobre um eventual aproveitamento das Águas Cinzentas assente num estudo económico para uma das principais fontes geradoras deste tipo de águas.

A Tabela 13 apresenta os valores típicos de consumo de água em várias fontes de consumo:

Tabela 13 - Consumos típicos de Água (Manual Tratamento de Água AQ, 2010)

Fonte de Consumo	Unidade	Caudal	
		Intervalo (L/unidade.dia)	Típico (L/unidade.dia)
Hospital	Cama	500-1000	600
	Funcionário	20-55	35
Aeroporto	Passageiro	15-20	18
Hotel	Funcionário	30-50	40
	Hóspede	130-200	150
Motel	Hóspede	90-200	150
Escola	Estudante	50-120	90
Prisão	Funcionário	300-600	450
	Recluso	20-60	40
Escritório	Empregado	30-70	50
	Funcionário	30-50	40
Centro Comercial	Cliente	3-10	7
Parque de Campismo	Pessoa	130-190	160
Lavandaria	Máquina	1500-2200	1850
	Lavagem	170-200	185

Neste caso de estudo específico e atendendo às principais origens de Águas Cinzentas, a fonte escolhida é o Hotel.

Tendo em conta que o nosso país foi, recentemente, selecionado como o melhor destino turístico do mundo será interessante estudar a viabilidade do aproveitamento de água neste ramo de atividade. Outro dos fatores preponderantes para esta escolha prende-se com o forte interesse comercial da AQ neste assunto.

O próximo passou por uma recolha de um conjunto de dados que permitissem dimensionar todo o sistema de aproveitamento das águas cinzentas.

Nesse sentido foi contactada uma cadeia de hotéis (tendo sido pedida ocultação de identidade) que possuísse a construção de um novo edifício em fase de projeto.

É importante referir que os valores obtidos foram arredondados para uma maior facilidade de cálculos.

4.1. CARATERIZAÇÃO DO HOTEL

4.1.1. Base de Cálculo

Para o melhor dimensionamento do Sistema de Aproveitamento de Águas Cinzentas, foram recolhidos os seguintes dados do projeto:

Nº de Quartos do Hotel:	100 (efetivamente são 98)
Capitação:	150 l/hab.dia
Rácio Consumo Água (Funcionário:Hóspede):	1:3
Taxa de Ocupação Média Anual:	85%
Taxa de Ocupação de Projeto:	100%
Necessidade de água para máquina de lavar louça:	5 m ³ /dia
Necessidade de água para máquina de lavar roupa:	6 m ³ /dia

Rega: 10 m³/dia no Verão;
 6 m³/dia na Primavera;
 4 m³/dia no Outono;
 1 m³/dia no Inverno.

4.1.2. Cálculos

Tabela 14 - Caracterização do Hotel

	Nº Quartos	Nº Camas	Total Pessoas
Quartos Individuais	15	1	15
Quartos Duplos	65	2	130
Quartos Triplos	10	3	30
Suites	10	4	40
			Σ 215
Funcionários	-	-	72
			Σ 287

Através da caracterização do hotel (tabela 14), facilmente conseguimos calcular o consumo diário de água no hotel, através da seguinte fórmula:

$$\text{Consumo de Água} = \text{População} \times \text{Capitação} \quad (4)$$

Aplicando a fórmula (4):

$$\begin{aligned} \text{Consumo água} &= (215 \text{ hab.} \times 150 \text{ l/hab.dia}) + (72 \text{ hab.} \times 50 \text{ l/hab.dia}) = \quad (5) \\ &= 32,25 \text{ m}^3/\text{dia} + 3,60 \text{ m}^3/\text{dia} \\ &= 35,85 \text{ m}^3/\text{dia} \end{aligned}$$

Tendo em conta que 70% das Águas Residuais produzidas caracterizam-se em Águas Cinzentas, temos:

$$\text{Produção de AC} = 35,85 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0,70 \approx 25 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (6)$$

Desta forma, o dimensionamento dos equipamentos para tratamento de água será efetuado em função do caudal de águas cinzentas:

$$Q_{AC} = 25 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (7)$$

$$Q_{AC} = \frac{25 \text{ m}^3}{24 \text{ h}} = 1,04 \text{ m}^3/\text{h} \quad (8)$$

Tendo em conta o valor obtido, o mesmo seria aplicável se a ETA funcionasse durante 24h por dia. Contudo, será necessário dar alguma margem/folga para que os equipamentos não funcionem no seu limite. Desta forma assume-se um caudal de projeto de 1,5 m³/h.

$$Q_{projeto} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (9)$$

4.2. OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE TRATAMENTO

Os processos de Tratamento de Águas Cinzentas aplicados neste caso de estudo tiveram por base a melhoria do processo já existente na AQ. O tratamento selecionado baseou-se num processo físico-químico em detrimento do tratamento biológico, considerando que:

$$\frac{CBO}{CQO} < 0,2 \rightarrow \text{Efluente de difícil Tratamento Biológico}$$

$$\frac{CBO}{CQO} \cong 0,5 \rightarrow \text{Efluente de fácil Tratamento Biológico}$$

Efluente Doméstico:

$$0,4 \leq \frac{CBO}{CQO} \leq 0,6$$

Águas Cinzentas:

$$\frac{CBO}{CQO} \cong 0,25$$

Como nas águas cinzentas não entram as contribuições das fezes e urina, o efluente será deficitário em N e P. Desse modo põe-se de parte o tratamento biológico.

Desta forma, os processos unitários selecionados são expostos na Figura 16:

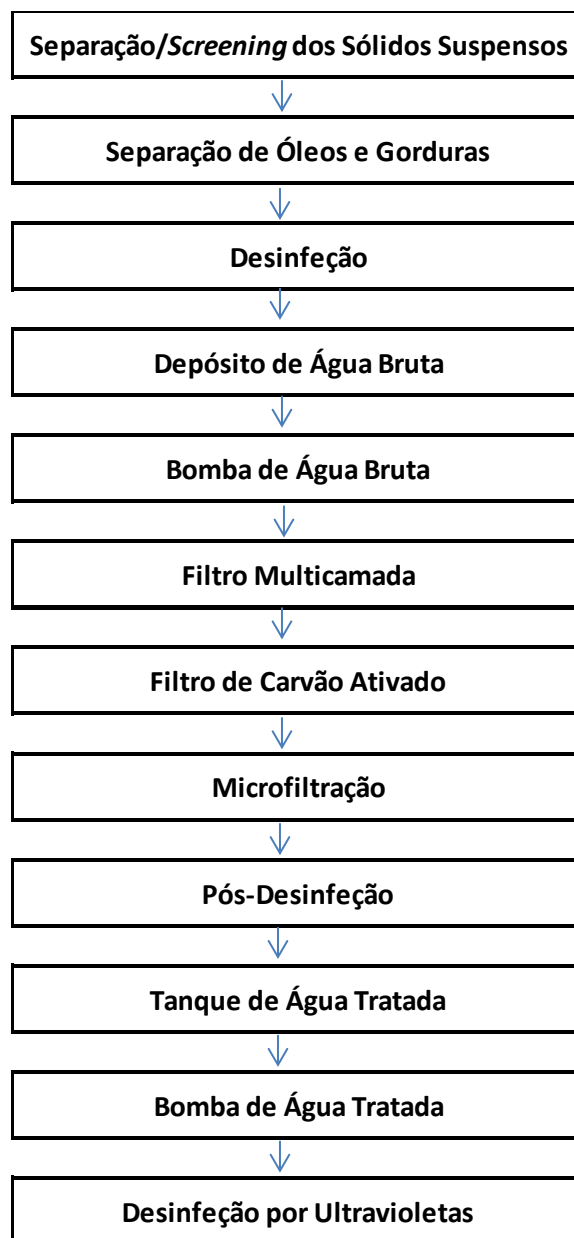


Figura 16 – Processos Unitários da ETA

O processo de tratamento de águas residuais tem início no seu armazenamento, as águas provenientes de lavatórios, banhos, máquinas de lavar roupa e louça são encaminhadas para um tanque de armazenamento.

4.2.1. Separação/*Screening* dos sólidos grosseiros

De forma a reter todos os sólidos de maiores dimensões presentes no efluente bruto, o primeiro órgão de tratamento primário a ser usado é uma caixa de gradagem (Figura 17).



Figura 17 - Caixa de Grades (Catálogo PremierTech, 2017)

A caixa de gradagem escolhida está equipada com uma grelha de barras, inclinadas a 45°, em aço galvanizado e com um espaçamento entre barras de 8 mm.

4.2.2. Separação dos Óleos e Gorduras com Decantação

A segunda etapa de tratamento consistirá na separação de óleos e gorduras. Nesse sentido vai ser utilizado um separador de gorduras com decantador. Consultando o catálogo da *PremierTech* (tabela 15) surgem várias opções.

Tabela 15 - Características técnicas dos Separadores de Gorduras (Catálogo PremierTech, 2017)

Referência	Caudal (L/seg.)	Volume (L)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Tampa (mm)	Tubagem (mm)
SG002	2	1000	940	1600	1305	2 x Ø400	DN 110
SG004	4	1900	940	2300	1305	2 x Ø400	DN 110
SG007	7	2800	1350	2250	1600	2 x Ø400	DN 160
SG012	12	5000	1520	2920	1820	2 x Ø400	DN 200
SG020	20	8000	1840	3320	2140	2 x Ø400	DN 200

Com um cálculo rápido, facilmente se consegue escolher, na tabela 15, o separador de gorduras mais apropriado à nossa ETA.

$$Q_{projeto} = 1,5 \text{ m}^3/h \quad (10)$$

$$Q_{projeto} = \frac{1500}{60 \times 60} \cong 0,42 \text{ l/s} \quad (11)$$

Tendo em conta que o caudal projeto de águas cinzentas é, aproximadamente, 0,42 l/s, a escolha do separador de gorduras fica resolvida: **o modelo SG002** (Figura 18).



Figura 18 – Separador de Gorduras (Catálogo PremierTech, 2017)

4.2.3. Desinfecção

Após estes processos de tratamento preliminares, as águas cinzentas vão ser encaminhadas para dois depósitos de armazenamento de água bruta. Contudo o armazenamento das águas em períodos de tempo alargados é propício ao desenvolvimento de microorganismos no seu interior. Nesse sentido será doseada uma solução de hipoclorito de sódio para a desinfecção das águas cinzentas.

Este processo de desinfecção será feito através de uma bomba doseadora que estará ligada a um contador de água emissor de impulsos para que o doseamento seja proporcional ao caudal de passagem (figura 19).

A bomba doseadora escolhida, através da tabela 16, é a AT.AM2.

Os cálculos que justificam a sua escolha são apresentados a seguir.

Tabela 16 – Características técnicas das bombas doseadoras (Técnico AQ, 2014)

Modelo	Caudal (l/h)	Pressão (bar)	cc/imp.	Conexões	Imp/min	Peso
AT.AM 1	1,50	20,00	0,21	4x6/4x7 mm	120	3 Kg
	2,00	18,00	0,28			
AT.AM 2	3,00	12,00	0,31	4x6 mm	160	3 Kg
	4,00	10,00	0,42			
	5,00	8,00	0,52			
	8,00	2,00	0,83			
	7,00	16,00	0,39			
AT.AM 3	10,00	10,00	0,55	4x6 mm	300	4 Kg
	14,00	6,00	0,78			
	16,00	2,00	0,89			
AT.AM 4	20,00	5,00	1,11	8x12 mm	300	4 Kg
	22,00	4,00	1,22			
	35,00	2,00	1,94			
	50,00	0,1	2,78			

Dados:

- $K_{\text{contador}} = 4$ impulsos/litro
- Volume doseado pela BD por impulso = 0,52 ml/imp
- Dosagem requerida = 2 ppm
- % Cloro ativo (no hipoclorito sódio) = 13,5% (P/P)
- Densidade do Hipoclorito de Sódio (NaOCl) = 1,11 g/cm³

Cálculos:

A BD vai injetar:

$$\begin{aligned} \text{Dosagem} &= 4 \text{ imp/l} \times 0,52 \text{ ml/imp} \\ &= 2,08 \text{ ml de NaOCl/litro água} \end{aligned} \quad (12)$$

Logo, em 1000 L de água, vem:

$$\text{Dosagem} = 2,08 \text{ l de NaOCl/m}^3 \text{ de água} \quad (13)$$

Considerando que o Hipoclorito de Sódio comercial tem uma densidade de 1,11 g/cm³, vem:

$$\begin{aligned} \text{Dosagem} &= 2,08 \text{ l de NaOCl/m}^3 \times 1,11 \text{ g/cm}^3 \\ &= 2,31 \text{ Kg de NaOCl/m}^3 \text{ de água} \end{aligned} \quad (14)$$

Visto que a solução comercial de NaOCl tem 13,5% em cloro ativo, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Dosagem} &= 2,31 \text{ Kg de NaOCl/m}^3 \times 0,135 \\ &= 0,312 \text{ kg de NaOCl/m}^3 \text{ de água} \end{aligned} \quad (15)$$

Como se pretende dosear 2g de cloro por m³, tem-se um rácio de:

$$\frac{312}{2} = 156 \text{ vezes mais} \quad (16)$$

Assim, se se fizer uma diluição de 5% e uma desmultiplicação na bomba doseadora de 1:8 (ou seja, por cada 8 impulsos emitidos pelo contador, a bomba doseadora só vai dar 1 impulso; por outras palavras, vai dosear 8 vezes menos).

$$Doseagem = 312 \text{ g de NaOCl/m}^3 \text{ de água} \quad (17)$$

Então, ao usar uma diluição de 5% tem-se:

$$\begin{aligned} Dosagem &= 312 \times 0,05 \\ &= 15,6 \text{ g de NaOCl/m}^3 \text{ de água} \end{aligned} \quad (18)$$

Utilizando a desmultiplicação de 1:8,

$$Dosagem = \frac{15,6}{8} \cong 2 \text{ g de cloro/m}^3 \text{ de água} \quad (19)$$

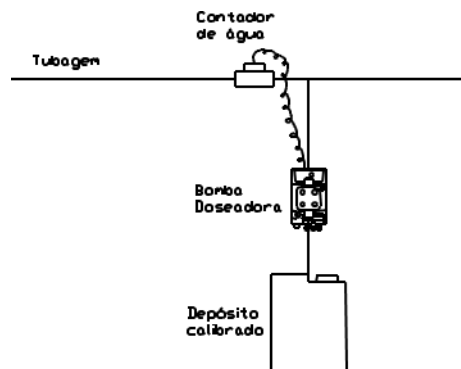


Figura 19 - Instalação típica de sistemas de dosagem (Técnico AQ, 2014)

4.2.4. Depósito de Água Bruta

Após a desinfecção, a água é armazenada em reservatórios de grandes dimensões para que os processos posteriores tenham uma maior eficácia de tratamento.

Para o armazenamento de água bruta serão escolhidos dois depósitos verticais (Figura 20) de 4000L de capacidade individual. Um depósito seria suficiente, mas tendo em conta que por vezes será necessário efetuar a manutenção dos equipamentos ou mesmo por uma questão de precaução, serão instalados dois depósitos em paralelo.



Figura 20 - Depósito Vertical (Catálogo PremierTech, 2017)

4.2.5. Bomba de Água Bruta

Tal como foi referenciado no início do estudo do caso prático, o caudal de projeto para o dimensionamento dos equipamentos para a ETA é $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. A bomba de água bruta a instalar na ETA tem como função alimentar os processos seguintes de tratamento das águas cinzentas (filtração multicamada e filtração em carvão ativado, respetivamente). Tendo em conta que a pressão aconselhável de funcionamento dos filtros imediatamente após a bomba de pressurização são 3 bar, será necessário escolher uma bomba que valide as duas condições anteriormente expostas.

De forma a escolher a melhor bomba a adaptar à ETA, houve uma consulta ao catálogo de um fabricante internacional de bombas de pressurização – a Hydroo.

Analisando as curvas de rendimento das bombas de pressurização no catálogo (Figura 21), facilmente se encontra um modelo que permita a bombagem da água bruta com o caudal de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ @ 3 bar.

Funcionamento Nominal da Bomba = $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ @ 3bar

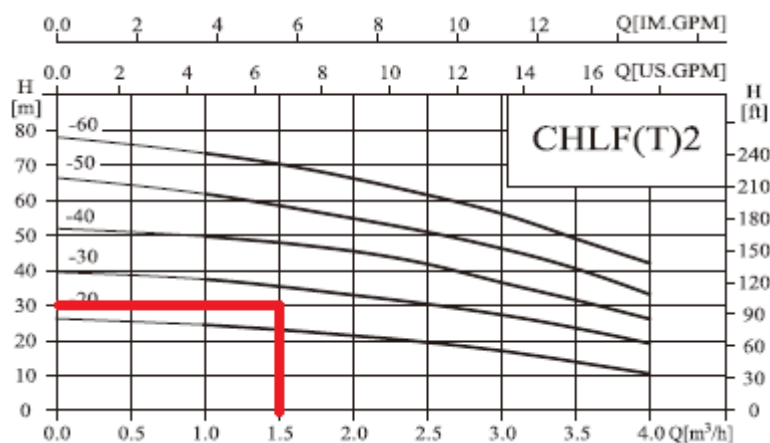


Figura 21 - Curva de rendimento da bomba de pressurização, modelo CHLF (T) 2 (Catálogo Hydroo, 2016)

O modelo escolhido para a bomba de pressurização de água bruta é o **CHLF (T) 2-30**, o que significa que a bomba tem capacidade para 2 m^3 de caudal nominal de funcionamento a 30 m.c.a. de pressão nominal. (Figura 22)

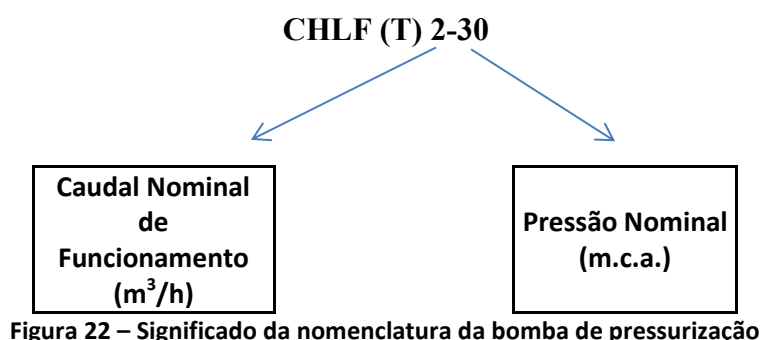


Figura 22 – Significado da nomenclatura da bomba de pressurização

Nota: Vão ser instaladas duas bombas em regime de alternância.

4.2.6. Filtração Multicamada

Para o dimensionamento do filtro multicamada será importante ter em conta a velocidade a que as águas cinzentas devem ser filtradas, pois quanto mais tempo de contacto a água tiver com o meio filtrante, melhor será a eficácia da filtração. A tabela 17 indica as velocidades típicas de filtração para vários tipos de efluentes.

Tabela 17 - Velocidades típicas de filtração multicamada (Manual Técnico AQ, 2010)

Aplicação	Velocidade de Filtração (m/h)
Piscina Privada	50
Piscina Pública	30-40
Água Subterrânea	15-25
Água Superficial	10-15

Analisando a tabela 17 e tendo em conta que as águas cinzentas têm uma maior quantidade de matéria em suspensão e, conseqüentemente, uma maior turvação que a maioria das aplicações expostas, será aconselhado utilizar uma velocidade de filtração inferior a 10 m/h no dimensionamento do filtro multicamada. A velocidade arbitrada é de **7 m/h**.

$$Velocidade\ de\ filtração_{FM} = 7\ m/h$$

O próximo passo na escolha do filtro multicamada mais adequado para esta aplicação será o dimensionamento da coluna do filtro e em particular o seu diâmetro.

A área de filtração é dada por:

$$A_{filtração} = \frac{Q_{projecto}}{Velocidade\ de\ filtração} \quad (20)$$

Aplicando a fórmula (20), vem:

$$A_{\text{filtração}} = \frac{1,5 \text{ m}^3/\text{h}}{7 \text{ m}/\text{h}} = 0,214 \text{ m}^2 \quad (21)$$

Com o valor da área de filtração, facilmente se calcula o diâmetro da coluna a utilizar:

$$A_{\text{filtração}} = 0,214 \text{ m}^2 \quad (22)$$

$$A_{\text{filtração}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \Leftrightarrow D \cong 0,522 \text{ m} \quad (23)$$

Na indústria do tratamento de águas, a unidade de medida mais comum nos equipamentos é a polegada. Desta forma será necessário converter o valor do diâmetro a polegadas:

$$1 \text{ polegada} = 2,54 \text{ cm} \quad (24)$$

Logo,

$$D = \frac{52,2 \text{ cm}}{2,54 \text{ cm}} = 20,55 \text{ inch} \quad (25)$$

Com os dados obtidos e com consulta de um catálogo de colunas *standard* fornecido por um fabricante (Wavecyber), facilmente se consegue escolher a coluna a utilizar no filtro multicamada (tabela 18). A coluna a usar terá um diâmetro imediatamente superior ao dimensionado.

Logo,

Coluna 21" x 62" de 352 L

Tabela 18 - Características *standard* das colunas filtrantes (Catálogo Wavecyber, 2017)

COLUNAS	DIÂMETRO	ALTURA	ABERTURA	Volume (L)
Pressure vessel 7" x 35"	7"	35"	2,5" Top	22
Pressure vessel 8" x 24"	8"	24"	2,5" Top	20
Pressure vessel 8" x 35"	8"	35"	2,5" Top	29
Pressure vessel 8" x 44"	8"	44"	2,5" Top	36
Pressure vessel 10" x 17"	10"	17"	2,5" Top	22
Pressure vessel 10" x 35"	10"	35"	2,5" Top	45
Pressure vessel 10" x 54"	10"	54"	2,5" Top	69
Pressure vessel 13" x 54"	13"	54"	2,5" Top	117
Pressure vessel 14" x 65"	14"	65"	2,5" Top	164
Pressure vessel 14" x 65"	14"	65"	4" Top	164
Pressure vessel 16" x 65"	16"	65"	2,5" Top	214
Pressure vessel 16" x 65"	16"	65"	4" Top	214
Pressure vessel 18" x 65"	18"	65"	4" Top	271
Pressure vessel 21" x 62"	21"	62"	4" Top 4"Bottom	352
Pressure vessel 24" x 72"	24"	72"	4" Top 4"Bottom	533
Pressure vessel 30" x 72"	30"	72"	4" Top 4"Bottom	834
Pressure vessel 36" x 72"	36"	72"	4" Top 4"Bottom	1200
Pressure vessel 40" x 72"	40"	72"	6" Top 6"Bottom	1482
Pressure vessel 42" x 72"	42"	72"	6" Top 6"Bottom	1634
Pressure vessel 48" x 72"	48"	72"	6" Top 6"Bottom	2134
Pressure vessel 60" x 86"	60"	86"	6" Top 6"Bottom	3983
Pressure vessel 63" x 67"	63"	67"	6" Top 6"Bottom	3421
Pressure vessel 63" x 86"	63"	86"	6" Top 6"Bottom	4391

Contudo, o enchimento com material filtrante (figura 23) é o correspondente a $\frac{2}{3}$ do volume da coluna (ver ponto 3.3.5.3.), ficando o restante volume livre para a expansão do referido leito filtrante na operação de *Backwash* (Contra-Lavagem).

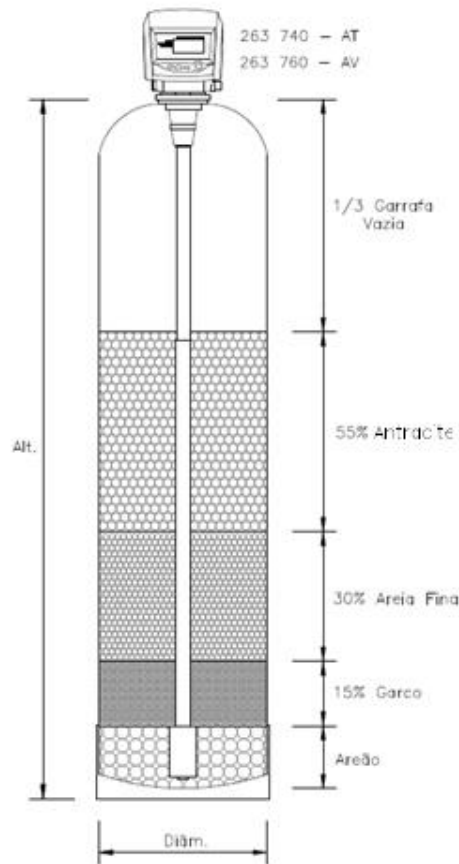


Figura 23 - Especificações típicas dos filtros multicamada (Manual Técnico de Equipamentos AQ, 2010)

4.2.7. Filtração em Carvão Ativado

O processo para o dimensionamento do filtro de carvão ativado a utilizar na ETA é, em grande parte, semelhante ao do filtro multicamada. A grande diferença entre os dois processos é que a filtração em carvão ativado requer velocidades de operação mais baixas (tabela 19), visto que esta filtragem é um processo físico-químico baseado na adsorção dos compostos orgânicos presentes na água, por forças débeis, pelas paredes dos canais do carvão ativado.

Tabela 19 - Velocidades típicas de filtração em Carvão Ativado (Manual Técnico AQ, 2010)

Aplicação	Velocidade de Filtração (m/h)
Remoção de Cloro	25
Remoção de Matéria Orgânica	9-15

A velocidade de filtração escolhida para este filtro é de **5 m/h**.

$$Velocidade Filtração_{CA} = 5 \text{ m/h} \quad (26)$$

Tal como no dimensionamento do filtro multicamada, o próximo passo é o cálculo da área de filtração.

Dado que área de filtração é dada por:

$$A_{filtração} = \frac{Q_{projecto}}{Velocidade \text{ de filtração}} \quad (27)$$

Vem,

$$A_{filtração} = \frac{Q_{projecto}}{Velocidade \text{ de filtração}} = \frac{1,5 \text{ m}^3/\text{h}}{5 \text{ m/h}} = 0,30 \text{ m}^2 \quad (28)$$

Com o valor da área de filtração, facilmente se calcula o diâmetro da coluna a utilizar:

$$A_{filtração} = 0,30 \text{ m}^2 \quad (29)$$

$$A_{filtração} = \frac{\pi \times D^2}{4} \Leftrightarrow D \cong 0,618 \text{ m} \quad (30)$$

$$D = 24,33 \text{ inch} \quad (31)$$

Com os dados obtidos e através do mesmo processo de escolha da coluna para o filtro multicamada, rapidamente se consegue escolher a coluna a utilizar no filtro de carvão ativado.

Logo, recorrendo à tabela 18, a escolha será:

Coluna 24" x 72" de 533 L

Analisando o catálogo de colunas do fabricante, a lógica seria escolher a coluna com diâmetro imediatamente acima do calculado, contudo como o diâmetro calculado é ligeiramente superior a 24”, não se justifica escolher a coluna com diâmetro de 30” porque o “salto” é bastante grande, o que implicaria maiores gastos no enchimento do material filtrante.

O enchimento com material filtrante é o correspondente a $\frac{2}{3}$ do volume da coluna (ver ponto 3.3.4.3.), ficando o restante volume livre para a expansão do referido leito filtrante na operação de *Backwash* (Contra-Lavagem), como representado na Figura 24.

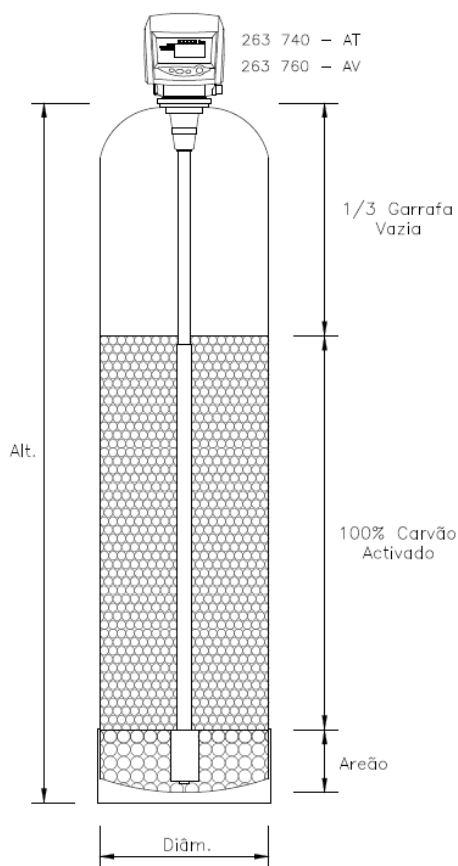


Figura 24 – Especificações típicas dos filtros de carvão ativado (Manual Técnico de Equipamentos AQ, 2010)

4.2.8. Microfiltração

Nesta operação pretende-se fazer uma afinação à filtração da água de forma a reduzir os sólidos suspensos que vão chegar ao tanque de água tratada.

O filtro multicamada (ponto 4.2.6.) consegue a filtração dos sólidos em suspensão com uma ordem de grandeza superior a 200 μm , enquanto o filtro de carvão ativado, apesar de não ser essa a sua função principal, consegue remover material em suspensão com ordem de grandeza superior a 100 μm . Os sólidos em suspensão de menor calibre continuam na água. Desta forma será uma boa prática aplicar uma microfiltração em duas etapas:

Etapa 1 – Filtro de Lavagem Automática

Nesta primeira etapa, a ideia passa por instalar um filtro com lavagem completamente automática para remoção dos sólidos em suspensão.

Recorrendo à tabela de filtros domésticos auto-laváveis da AQ (tabela 20), a melhor escolha será um filtro “Aquamatic” que possui uma célula de filtração de 80 μm .

Tabela 20 - Filtros domésticos auto-laváveis (Catálogo AQ, 2010)

Modelo	Caudal (m^3/h)	Ligações
Aquamatic 1"	4,5	1" M
Aquamatic 1" 1/4	5	1" 1/4 M
Aquamatic 1" 1/2	6	1" 1/2 M

O filtro escolhido será o *Aquamatic – 1"*.

Etapa 2 – Filtro com Célula de Filtração Descartável

Na segunda etapa, a ideia passa por instalar um filtro manual com célula de filtração descartável.

Recorrendo à tabela de filtros manuais da AQ, a melhor escolha será um fitro *Aqua Big - 20"* (figura 25) com uma célula de filtração em polipropileno de 25 μm (figura 26).

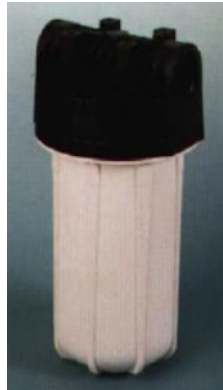


Figura 25 - Aqua Big - 20" (Catálogo AQ, 2017)



Figura 26 - Célula de Filtração em Polipropileno (Catálogo AQ, 2017)

Esquema-Resumo das Etapas de Filtração:

A figura 27 representa todos os processos unitários de remoção de sólidos em suspensão da água cinzenta, desde a remoção dos sólidos grosseiros até aos sólidos de menor dimensão.

Nota: Os círculos da figura 27 representam os sólidos suspensos de várias granulometrias.

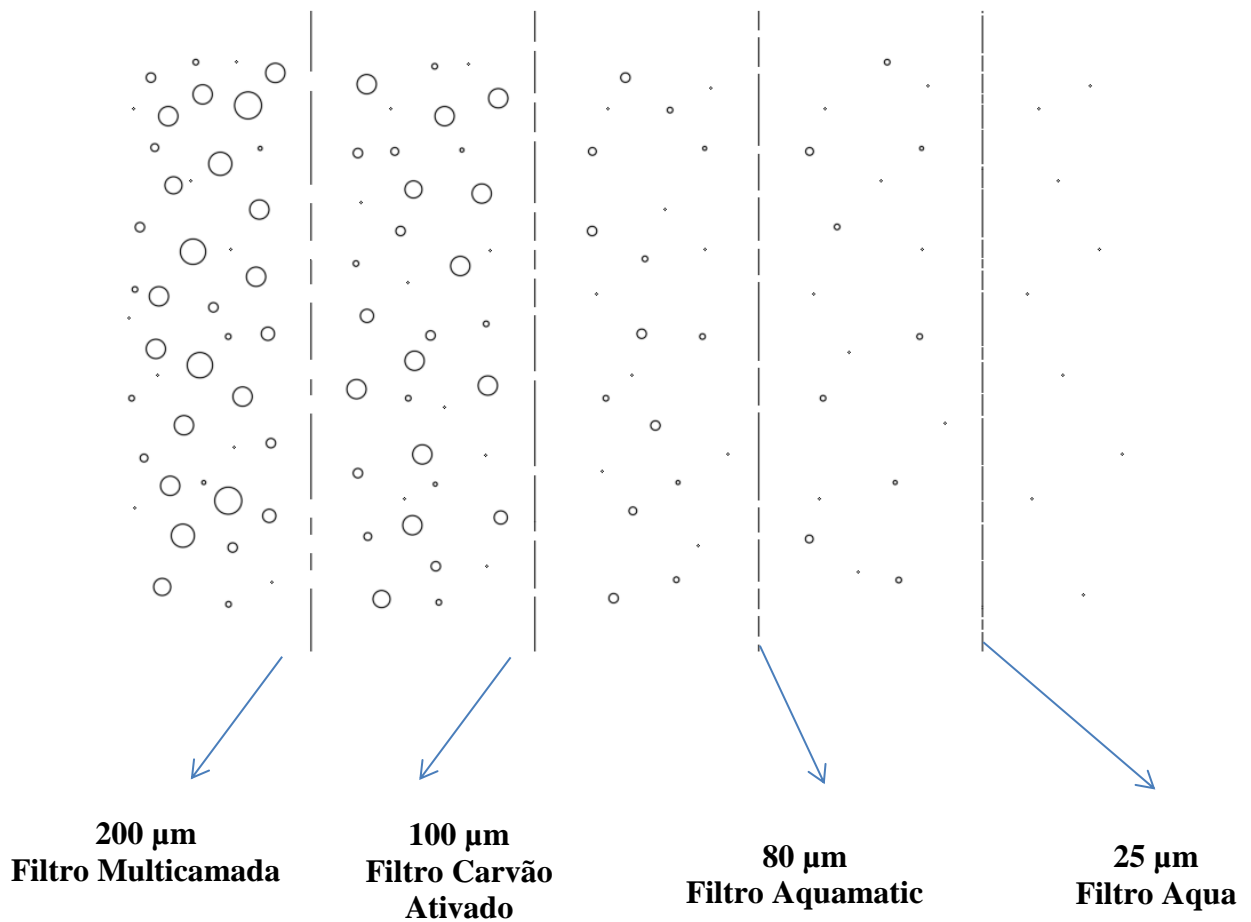


Figura 27 - Filtração dos Sólidos Suspensos na Água durante todas as etapas de filtração

4.2.9. Pós-Desinfecção

As águas armazenadas em tanques, uma vez que estão em contato com o ar, vão perdendo o desinfetante para o ar (o cloro, que é um gás, encontra-se dissolvido na água). Para além disso, durante os períodos noturnos, o consumo de água vai ser menor, aumentando, dessa forma, o tempo de residência da água no tanque e conseqüentemente haverá perda do desinfetante (cloro) para o ar.

Então, o que seria uma simples dosagem de cloro na água de entrada ao tanque (visto que o água não tem cloro, ficando retido na etapa de filtração em carvão ativado), torna-se numa operação mais delicada.

Como há perda de cloro, é tentador aumentar a dosagem de desinfetante, contudo este comportamento provocará uma sobredosagem da água para utilização imediata. Neste caso, se dosagem for feita com receio da sobredosagem, corre-se o risco de à noite a concentração de desinfetante na água ficar a zero.

Então é aconselhável fazer-se a pós-desinfecção em duas etapas complementares:

- Dosagem “conservadora” de cloro na água que chega ao tanque;
- Recirculação da água na cisterna, com controlo e reposição de cloro, caso necessário.

Etapa 1 – Pré-dosagem de cloro

Na água que chega à cisterna, será feita uma pré-dosagem (valor fixo via contador de água) de cloro numa concentração mínima (figura 28). Caso a água seja imediatamente consumida, não existe o risco da sobredosagem e como o tempo de residência é praticamente nulo, o cloro não é perdido. Caso a água fique retida no tanque durante períodos longos (ex. durante a noite) a etapa 2 vai complementar a falta de desinfetante na água, uma vez que este consome-se nas reações químicas com as substâncias existentes na água e pela perda para o ar).

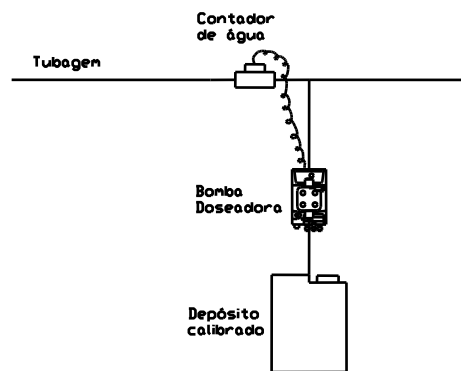


Figura 28 – Instalação típica de sistemas de dosagem (Técnico AQ, 2014)

Etapa 2 – Medição, controlo e reposição do teor de cloro no tanque

Esta etapa caracteriza-se pela recirculação da água no tanque, fazendo-a passar por uma sonda de cloro que monitorizará o controlo do valor de cloro real existente na água do tanque.

Na conduta de saída de água é feita uma picagem para retirar uma linha de água para alimentação da sonda de cloro, que está interligada ao controlador, onde previamente será registado o valor pretendido de cloro residual. O controlador (figura 29) dará a informação a uma bomba doseadora de forma a dosear a solução de hipoclorito de sódio no caso do valor pretendido ser inferior ao valor previamente estabelecido.



Figura 29 - Painel de Controlo de Cloro (Materiais Gráficos AQ, 2016)

4.2.10. Tanque de Água Tratada

A água que foi tratada anteriormente, é agora armazenada em dois tanques em paralelo. O volume escolhido para cada cisterna de armazenamento da água tratada é de 4000 litros.

A ideia da escolha de dois depósitos em detrimento de um de maiores dimensões prende-se com o facto de que, por vezes, a escolha de um depósito maior traz problemas interligados com a falta de espaço no local e custos de transporte de equipamentos de maiores dimensões.

Contudo, o principal objetivo para a escolha de dois depósitos é o da **gestão** da utilização da água reaproveitada. Esta gestão é um fator importante para o controlo da utilização final da água reaproveitada. Considerando que toda a água reaproveitada vai ser utilizada, tornando-se necessário compensar com água da rede.

A ideia passa pela seguinte gestão (figura 30):

- Toda a água cinzenta tratada vai ser enviada para o primeiro depósito;
- Sempre que o primeiro tanque estiver cheio, a água vai ser transbordada para segundo depósito, sendo o restante volume preenchido por água da rede (em caso de necessidade);
- Sempre que toda a água do depósito 1 seja consumida sem transbordar para o depósito 2, este vai conter apenas água da rede;

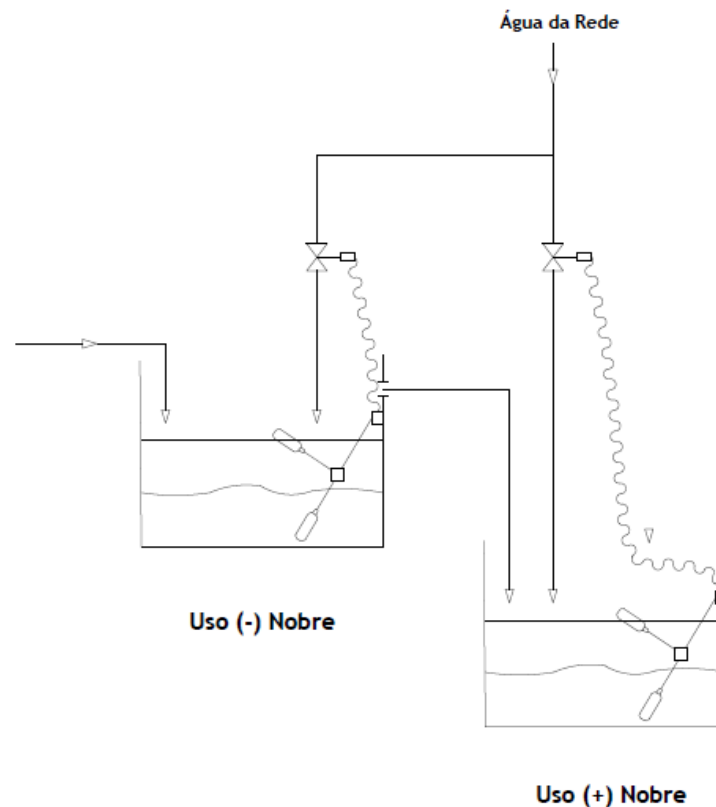


Figura 30 - Esquema de gestão da água

Desta forma, o depósito 1 receberá preferencialmente a água cinzenta tratada e só na falta de água é que será compensado com água da rede, assim a água no depósito 1 será uma água de menor qualidade, logo ficará “responsável” por aplicações que exijam um uso menos “nobre” da água, como a rega e lavagem de pátios.

Por sua vez, o segundo depósito fica, maioritariamente, com água da rede, podendo a água ser utilizada em aplicações mais “nobres”, como por exemplo na descarga de autoclismos e máquina de lavar a loiça, como descrito na tabela 21.

Desta forma garante-se uma **gestão** mais eficaz de utilização da água tratada:

- O uso mais ‘nobre’ recebe água, preferencialmente, água de melhor qualidade;
- O uso menos ‘nobre’ recebe água de qualidade inferior.

Tabela 21 – Estratificação do Consumo de Água pelos depósitos

	Atividades Prioritárias	Depósito Usado	Consumo de Água (m ³ /dia)			
			Verão	Primavera	Outono	Inverno
1ª	Rega	1	10	6	4	1
2ª	Máquina Lavar Roupa	1	6			
3ª	Lavagens Pátios	1	6			
4ª	Autoclismos	2	5			
5ª	Máquina Lavar Louça	2	5			

$$\Sigma = 30 \text{ m}^3 \quad \Sigma = 28 \text{ m}^3 \quad \Sigma = 26 \text{ m}^3 \quad \Sigma = 23 \text{ m}^3$$

4.2.11. Bomba de Água Tratada

O processo para a escolha do modelo da bomba de pressurização para a bombagem da água tratada é em todo semelhante ao da escolha da bomba de água bruta.

Tendo em conta que o volume dos reservatórios de água tratada são 4000 L, considerando que a altura do hotel não excede 40 metros e considerando as perdas de carga na tubagem durante a bombagem da água, será suficiente escolher uma bomba que funcione a 4,0 m³/h @ 4 bar.

$$\text{Funcionamento Nominal da Bomba} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h} @ 3\text{bar}$$

Analisando as curvas de rendimento das bombas de pressurização no catálogo da Hydro, facilmente se encontra um modelo que permita a bombagem da água tratada com o caudal de 4,0 m³/h @ 4 bar (Figura 311).

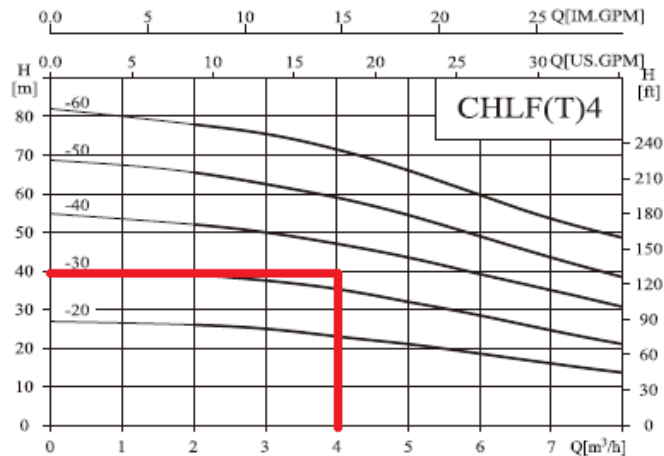


Figura 31 – Curva de rendimento da bomba de pressurização, modelo CHLF (T) 4 (Catálogo Hydroo, 2016)

O modelo escolhido para a bomba de pressurização de água bruta é o **CHLF (T) 4-40**.

Na designação “4-40” da bomba, o número 4 significa o caudal unitário de funcionamento enquanto o 40 significa a pressão de funcionamento em metros coluna de água (m.c.a.). (Figura 32)

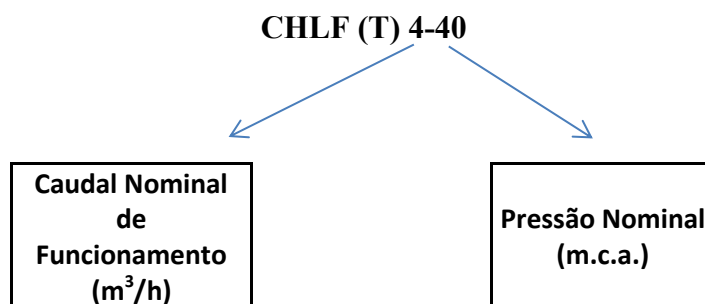


Figura 32 – Significado da nomenclatura da bomba de pressurização

Nota: Vão ser instaladas quatro bombas em regime de alternância.

4.2.12. Desinfeção por Ultravioletas

Pode parecer uma redundância, mas neste caso específico, visto que se trata de um hotel, nunca é demais fazer uma desinfeção à água, mesmo na ausência de contaminação bacteriológica. Visto que durante a noite o consumo de água vai ser menor, o tempo de retenção da água na cisterna de água tratada vai aumentar, logo é uma boa prática fazer-se uma última desinfeção antes de a água ser aplicada no seu destino final. Neste caso específico foi escolhida a desinfeção por radiação ultravioletas.

O maior problema que afeta os *rendimentos* do sistema de radiação UV é a quantidade de sólidos suspensos na água.

Nesse sentido e como forma de precaução à eficácia do aparelho de ultravioletas, serão instalados dois filtros manuais com células de filtração descartáveis: o primeiro filtro terá uma célula de filtração com porosidade de 25µm e o segundo terá uma célula com 5µm.

Recorrendo ao catálogo de filtros domésticos da AQ, mais uma vez os filtros escolhidos são os *Aqua Big – 20”*.

Assegurada a ausência de sólidos suspensos na água, resta agora escolher o modelo para o aparelho ultravioleta.

Recorrendo ao catálogo da AQ de aparelhos ultravioletas (tabela 22), seleciona-se o aparelho (figura 33) que se ajuste ao caudal da bomba de água tratada.

Tabela 22 - Aparelhos Ultravioletas, série Omega (Catálogo AQ, 2016)

Referência	Ligações	Caudal Nominal (m ³ /h)	Caudal Máximo (m ³ /h)	Potência (Watt)
Omega 0,23	¼"	0,12	0,23	11
Omega 0,3	¼"	0,15	0,3	12
Omega 1,3	½"	0,9	1,3	23
Omega 2,5	1"	1,8	2,7	36
Omega 4	1"	2,7	4	83
Omega 4,8	1"	3,4	4,8	100
Omega 10	1¼"	6,78	10	100
Omega 18	2"	11,3	17,5	220



Figura 33 - Aparelho ultravioletas (Catálogo Técnico de Equipamentos AQ, 2010)

Após a desinfecção por ultravioletas, a água está pronta para ser utilizada nas mais diversas tarefas que foram estabelecidas no início deste caso de estudo.

4.3. Análise Económica

A água potável é um bem cada vez mais escasso, por isso torna-se cada vez mais importante o reaproveitamento de águas residuais, contudo o aspeto económico é uma das principais barreiras face a este objetivo.

O próximo passo passa por uma análise económica dos custos de implementação do sistema para o reaproveitamento de águas cinzentas, contabilizando todos os gastos adjacentes ao mesmo. De forma a perceber-se a viabilidade económica desta tecnologia, analisam-se os gastos face a uma possível diminuição da fatura mensal da água.

A) Investimento Inicial

A tabela 23 apresenta todos os equipamentos seleccionados para o sistema de aproveitamento de águas cinzentas bem como o respetivo custo de aquisição.

Tabela 23 - Custo de investimento

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (€)	PREÇO DE CUSTO (€)
Caixa de Gradagem	1 un.	390	390
Separador de Gorduras c/ Decantador	1 un.	680	680
Contador Emissor de Impulsos - 1"	2 un.	150	300
Bomba Doseadora modelo AT.AM2	2 un.	223	446
Depósito Calibrado de 100L	2 un.	63	126
Depósito Vertical 4000L	2 un.	581	1162
Bomba Água Bruta	2 un.	350	700
Filtro Multicamada c/coluna 21	1 un.	1593	1593
Filtro Carvão Ativado c/coluna 24	1 un.	2800	2800
Filtro Automático Aquamatic - 1"	1 un.	650	650
Filtro Aqua Big – 20" de 1"	3 un.	77	231
Depósito Água Tratada	2 un.	1050	2100
Painel Controlo de Cloro	1 un.	1900	1900
Bomba Água Tratada	4 un.	455	1820
Aparelho Ultravioleta, Omega 4	1 un.	651	651
Montagem	-	-	1550
Quadro Elétrico	1 un.	300	300
Rede Água Águas Cinzentas	-	-	2550

Σ = 19 949 €

B) Custo de Operação**b.i) Custo Energético**

A tabela 24 apresenta a potência instalada e potência absorvida por cada equipamento instalado no sistema de aproveitamento de águas cinzentas:

Tabela 24 – Potência Instalada

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTALADA (W)	POTÊNCIA ABSORVIDA (W)
Bomba Doseadora de Pré-Dosagem	20	20
Bomba Pressurização de Água Bruta	370	222*
Filtro Multicamada	4	4
Filtro Carvão Ativado	4	4
Bomba Doseadora de Pós-Tratamento	20	20
Sistema de Controlo de Cloro	35	35
Bomba Pressurização de Água Limpa	750	450*
Aparelho Ultravioleta	83	83
Quadro Elétrico	100	100

* Bomba funciona a 60% do regime máximo

$\Sigma = 938 \text{ W}$

Dados:

Custo Energético = 0,2 €/kWh (média das tarifas tri-horárias p/ empresas)

Horas de Funcionamento = 17h

Horas de Funcionamento Anual = 17 h x 365 dias = 6205 horas

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Custo anual} &= 0,938 \text{ kWh} \times 0,2 \text{ €/kWh} \times 6205 \text{ horas/ano} \\ &= 1164 \text{ €/ano} \end{aligned} \quad (32)$$

b.ii) Custo dos Produtos Químicos

A tabela 25 apresenta a dosagem de cloro nas várias etapas de desinfecção da água cinzenta.

Tabela 25 - Dosagem de Hipoclorito de Sódio por Processo Unitário

PROCESSO UNITÁRIO	Dosagem de Cloro (ppm)
Pré-Desinfecção	2
Pós-Desinfecção	1
Controlo e Reposição de Cloro	0,5

$\Sigma = 3,5 \text{ ppm}$

Dados:

Água tratada = $25 \text{ m}^3/\text{dia}$

Custo hipoclorito sódio a 13,5% = $0,40\text{€/Kg}$

Consumo total de Cloro = $3,5 \text{ ppm} = 3,5 \text{ g/m}^3$

Cálculos:

$$\text{Quantidade Total}_{\text{Hipoclorito de Sódio}} = \frac{3,5 \text{ g/m}^3}{0,135} = 25,9 \text{ g/m}^3 \quad (33)$$

$$\text{Custo Diário} = \frac{25,9 \text{ g/m}^3 \times 25 \text{ m}^3 \times 0,4}{1000} = 0,26 \text{ €/dia} \quad (34)$$

$$\text{Custo Anual} = 94,90 \text{ €/ano} \quad (35)$$

b.iii) Mão de Obra de Operação e Supervisão

Para simplicidade dos cálculos estima-se que a operação e supervisão só necessitarão de uma pessoa, com os seguintes custos:

Custo de Mão de Obra = 8 €/h

Horas de Operação = $0,5 \text{ horas/dia}$

Volume = $25 \text{ m}^3/\text{dia}$

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Custo Diário} &= 8\text{€/h} \times 0,5 \text{ h/dia} \\ &= 4 \text{ €/dia} \end{aligned} \quad (36)$$

$$\text{Custo por m}^3 = \frac{4 \text{ €/dia}}{25 \text{ m}^3/\text{dia}} = 0,16 \text{ €/m}^3 \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \text{Custo Anual} &= 0,16 \text{ €/m}^3 \times 25 \text{ m}^3 \times 365 \text{ dias} \\ &= 1460 \text{ €/ano} \end{aligned} \quad (38)$$

b.iv) Custo de Monitorização e Acompanhamento da Qualidade da Água

Habitualmente as empresas do ramo de tratamentos de água propõem um serviço de **gestão** da água, onde é feito o acompanhamento e monitorização do sistema instalado.

$$\text{Preço Avença Mensal Típica} = 100 \text{ €/mês} \quad (39)$$

Logo,

$$\text{Custo Anual} = 100 \text{ €/mês} \times 12 \text{ meses} = 1200 \text{ €/ano} \quad (40)$$

b.v) Custos de Manutenção

Pela experiência da AQ e por uma questão de facilidade de cálculo, estima-se que os custos de manutenção dos equipamentos são, aproximadamente, 5% dos custos dos equipamentos.

Sendo o custo dos equipamentos 19.949 €:

$$\text{Custo de Manutenção Anual} = 19\,949 \text{ €} \times 0,05 \cong 998 \text{ €/ano} \quad (41)$$

b.vi) Custos dos Consumíveis (Cargas filtrantes/Células filtrantes)

A tabela 26 expõe o custo anual estimado dos consumíveis:

Tabela 26 - Custo dos consumíveis

EQUIPAMENTO	Custo de Substituição (€)	Periodicidade	Custo Anual (€)
Filtro Multicamada	157,50	6 em 6 anos	26,25
Filtro Carvão Ativado	450	3 em 3 anos	150
Microfiltração	15	6 em 6 meses	30
Lâmpada UV	60	1 em 1 anos	60

Σ 266,25 €

b.vii) Resumo Custos Operação

A tabela 27 apresenta os custos totais de operação resultantes do aproveitamento da água cinzenta:

Tabela 27 - Custos Totais de Operação

	Custos (€/ano)
Custo Energético	1 164
Custo com Produtos Químicos	94,9
Mão de Obra de Operação e Supervisão	1 460
Custos de Acompanhamento e Monitorização	1 200
Custos de Manutenção	998
Custos dos Consumíveis	266,25
	Σ 5.183,15 €

Calculando o volume total de água que é “reciclada” anualmente, facilmente se consegue contabilizar os custos anuais de operação.

$$\begin{aligned} \text{Volume Anual de Água Reciclada} &= 25 \text{ m}^3/\text{dia} \times 365 \text{ dias} \\ &= 9125 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (42)$$

Logo,

$$\text{Custo Operação} = \frac{5183,15}{9125} = 0,568 \text{ €/m}^3 \quad (43)$$

Então, o custo de operação anual em função do uso da água tratada por m³ produzido será:

$$\text{Custo Operação} = 0,568 \times \text{Volume de água tratada} \quad (44)$$

C) Poupança na Fatura de Água

Tabela 28 – Tarifa água (Câmara Municipal da Póvoa de Varzim, 2017)

	Taxa Variável (€/m ³)	Taxa Fixa (€/dia)	IVA
Abastecimento de Água	1,1	0,0797	6,00%
Saneamento de Águas Residuais	1,62	0,1247	Isento
Resíduos Urbanos	0,64	0,146	Isento
Recursos Hídricos	0,06	-	6,00%

A tabela 28 foi obtida através da consulta de uma fatura da água no Município da Póvoa de Varzim. Os dados obtidos são importantes para se poder calcular qual o valor a poupar na fatura da água através implementação do sistema de aproveitamento de águas cinzentas.

Nesse sentido será calculado, primeiramente, o custo da água para um cliente “não-doméstico”. O custo da água, que para o hotel se traduz em poupança, pelo reaproveitamento da água cinzenta será:

$$\begin{aligned}
 \text{Custo da Água} &= (1,1 + 1,62 + 0,64 + 0,06) \times V(m^3) + & (45) \\
 & (0,0797 + 0,124 + 0,146) \times 365 \text{ dias} = \\
 & = 3,42V + 127,64
 \end{aligned}$$

A poupança resultante do reaproveitamento da água em €, pela fórmula (45), será:

$$\text{Poupança} = (3,42 \times V) + 127,64 \quad (46)$$

O custo de operação anual (em € e em função do volume) de água reaproveitada, pela fórmula (44) é:

$$\text{Custo de Operação} = 0,568 \times V \quad (47)$$

Então,

$$\begin{aligned}
 \text{Poupança Líquida Anual} &= (3,42V + 127,64) - 0,568V && (48) \\
 &= 2,852V + 127,64 \\
 &= 2,852 \times (25 \text{ m}^3/\text{dia} \times 365 \text{ dias}) + 127,64 \\
 &= 26.152,14 \text{ €}
 \end{aligned}$$

D) Período de Retorno

Agora, sabendo o valor da instalação do sistema de aproveitamento de águas cinzentas e o valor da poupança anual na fatura da água, é possível calcular o período de retorno do investimento.

Se,

$$\text{Investimento Inicial} = 19.949\text{€}$$

E,

$$\text{Poupança Líquida Anual} = 26.152,14\text{€}$$

Então,

$$\begin{aligned}
 \text{Período de Retorno} &= \frac{19.949,00 \text{ €}}{26.152,14 \text{ €}} \cong 0,76 \text{ anos} && (49) \\
 &\cong 9,15 \text{ meses}
 \end{aligned}$$

O período de retorno calculado é de pouco mais de nove meses.

4.4. Contribuição das Águas Pluviais

Apesar de não ser o âmbito deste trabalho, será uma boa oportunidade para abordar a contribuição que o uso das águas pluviais pode trazer à qualidade e viabilidade económica de qualquer projeto de reaproveitamento de águas cinzentas.

Um facto muito importante a ter em conta é que o tratamento existente para as águas cinzentas é, também, um tratamento de enorme qualidade para as águas pluviais. A partir do momento em que o processo de tratamento para as águas cinzentas está instalado, facilmente se pode aproveitar a instalação para o tratamento das águas pluviais em simultâneo. Este facto é possível com a instalação de um novo tanque de armazenamento para as águas pluviais e interliga-lo com o tanque de água bruta já existente para as águas cinzentas.

Misturando estas origens, aumenta o volume de água disponível para reaproveitamento e melhora drasticamente a sua qualidade.

Nos meses mais chuvosos seria dada prioridade ao reaproveitamento das águas pluviais em detrimento das águas cinzentas, já nos restantes meses esta condição invertia-se. Desta forma haveria um maior aproveitamento do equipamento instalado previamente.

O custo de investimento é relativamente baixo para esta adaptação, sendo apenas necessário investir nos “filtros de caleira” (para remoção de folhas e outros detritos) e tanques de armazenamento de águas pluviais.

Recordando o caso de estudo atrás abordado e considerando que a sua implementação será na cidade da Póvoa de Varzim, será apresentado um estudo económico para a instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais conjuntamente com o sistema de águas cinzentas.

Tabela 29 - Precipitação média mensal na Póvoa de Varzim (SNIRH, 2017)

	Precipitação Média Mensal (mm/m ²)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2016/2017	80,80	173,40	79,40	29,10	29,00	35,30	7,80	22,30	10,80	80,80	138,50	37,30
2015/2016	297,50	197,20	125,80	201,50	131,30	26,00	2,50	9,40	33,00	105,60	24,60	110,70
2014/2015	74,30	94,50	19,80	88,40	102,20	31,60	14,80	24,70	106,60	0,00	8,10	28,10

Sabendo que a área do telhado do hotel é de 3550 m², com os dados da precipitação média mensal para a cidade da Póvoa de Varzim (tabela 29), facilmente se consegue calcular o volume média diário precipitado em cada mês.

$$1 \text{ mm/m}^2 = 1 \text{ litro/m}^2$$

Logo, a precipitação média diária em cada mês pode ser calculada pela fórmula:

$$\text{Precipitação}_{\text{Média Diária}} = \frac{\left(\frac{A_{\text{telhado}} \times P_{\text{média mensal}}}{1000}\right)}{30} \quad (50)$$

O cálculo da precipitação média diária nos últimos três anos é expresso na tabela 30:

Tabela 30 - Precipitação média diária

	Precipitação Média Diária em cada Mês (m/m ²)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2016/2017	9,56	20,52	9,40	3,44	3,43	4,18	0,92	2,64	1,28	9,56	16,39	4,41
2015/2016	35,20	23,34	14,89	23,84	15,54	3,08	0,30	1,11	3,91	12,50	2,91	13,10
2014/2015	8,79	11,18	2,34	10,46	12,09	3,74	1,75	2,92	12,61	0,00	0,96	3,33

Sabendo que os “filtros de calcira” têm uma taxa de aproveitamento das águas pluviais de 90% e que a água será armazenada para um volume máximo de 20 m³, facilmente se consegue calcular qual o volume diário de água pluvial que se consegue armazenar para tratamento. (Tabela 31)

Tabela 31 - Precipitação média diária que é armazenada para tratamento

	Precipitação Média Diária em cada Mês (m/m ²)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
2016/2017	8,61	20,00	8,46	3,10	3,09	3,76	0,83	2,37	1,15	8,61	14,75	3,97	Σ 2360,8
2015/2016	20,00	20,00	13,40	20,00	13,98	2,77	0,27	1,00	3,51	11,25	2,62	11,79	Σ 3617,6
2014/2015	7,91	10,06	2,11	9,41	10,88	3,37	1,58	2,63	11,35	0,00	0,86	2,99	Σ 1895,0

Com os resultados obtidos na tabela 31, facilmente se consegue calcular a precipitação média anual que se conseguia aproveitar para tratamento.

$$\begin{aligned}
 \text{Precipitação}_{\text{média anual aproveitada}} &= \frac{2360,80 + 3617,60 + 1895}{3} & (51) \\
 &= 2.624,50 \text{ m}^3/\text{ano}
 \end{aligned}$$

Com ajuda da equação (45), rapidamente se consegue calcular qual a poupança que se conseguiria obter na fatura da água:

$$\begin{aligned}
 \text{Poupança Anual em Água} &= (3,42 \text{ €/m}^3 \times 2624,50 \text{ m}^3/\text{ano}) + 127,64\text{€} & (52) \\
 &= 9.103,43 \text{ €/ano}
 \end{aligned}$$

Por outro lado, o investimento será expresso na tabela 32:

Tabela 32 - Custos de investimento

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO (€)	PREÇO DE CUSTO (€)
Tanque Armazenamento Água de 10 m ³	2 un.	2450	4900
Filtro de Caleira Optimax	8 un.	330	2640
Rede Águas Pluviais	-	-	1300
			Σ = 8 840 €

Analisando os dados anteriores sabe-se que,

$$\text{Poupança Anual em Água} = 8.103,43 \text{ €}$$

e que,

$$\text{Custos de Investimento} = 8.840,00 \text{ €}$$

Logo facilmente se consegue calcular o período de retorno:

$$\text{Período de retorno} = \frac{8.840,00\text{€}}{9.103,43\text{€}} \cong 1 \text{ ano} \quad (53)$$

O período de retorno deste investimento é, aproximadamente, um ano.

Analisando os dados anteriores, facilmente se percebe que as águas pluviais são uma excelente fonte para o reaproveitamento da água, contudo o entrave principal ao seu uso é o seu armazenamento, ou seja, há alturas em que chove e não existe o uso e noutras alturas há necessidade de água mas não precipita. Daí a grande necessidade de reserva das águas residuais, o que aumenta, em muito, o custo desta solução.

No caso das águas cinzentas, quando são geradas podem ser tratadas e encaminhadas para o seu uso, sem grandes necessidades de reserva.

Então, a abordagem deverá ser global (figura 34).

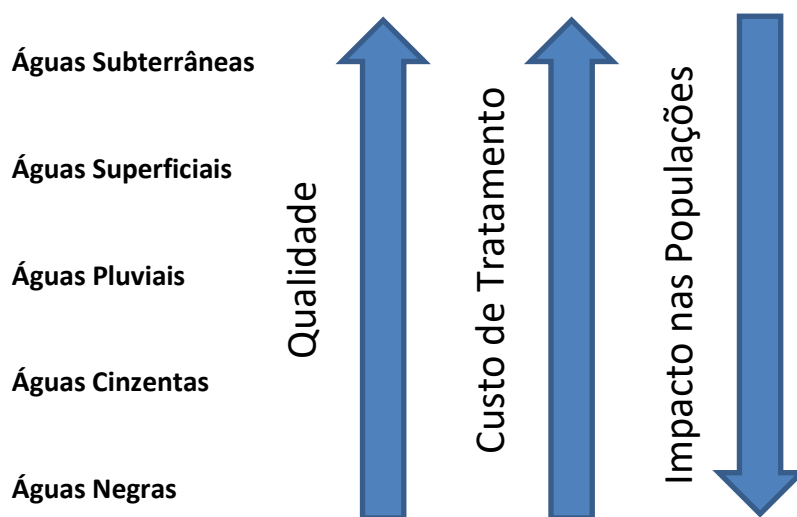


Figura 34 - Gestão Global

CONCLUSÕES

O reaproveitamento das águas cinzentas é reduzido em Portugal e no Mundo. Os casos conhecidos são esporádicos ou nulos. Muitas das soluções centram-se na poupança/racionalização e não pelo tratamento da água gerada.

A reutilização das águas cinzentas tem dois focos principais: a diminuição do consumo de água potável e a redução da quantidade de efluente que chega às ETAR's.

A 'reciclagem' das águas cinzentas tem um maior potencial de aplicabilidade nas situações com tratamento *in situ*, como é o caso do hotel estudado.

As operações unitárias utilizadas no reaproveitamento de águas cinzentas são as habituais no tratamento de água em geral, apenas são necessários alguns ajustes.

O custo-benefício tende largamente para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas cinzentas, pois estes tipos de tratamentos têm períodos de retorno, geralmente, abaixo de um ano.

As alterações/adaptações para o reuso com ou sem tratamento colidem na dificuldade de execução e custo. Onde existe possibilidade de grandes avanços e desenvolvimento deste tipo de implementações será sempre na fase de projeto/construções de novos edifícios.

O reaproveitamento das águas cinzentas deve ser pensado globalmente, devendo, inclusive, incluir o reaproveitamento das águas pluviais.

SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

As limitações e fraquezas do projeto apresentado revelaram aspetos possíveis de serem melhorados em experiências futuras. No desenvolvimento de projetos para o reaproveitamento das Águas Cinzentas é, também, importante analisar os seguintes aspetos:

- Sistematizar todos os aparelhos existentes para a recuperação/reutilização de água cinzenta, analisando a sua eficácia técnica e viabilidade económica;
- “BAT – Best Available Technology” – Do ponto de vista técnico será importante produzir trabalho para sugestões da melhor tecnologia disponível para cada operação unitária necessária no tratamento de Águas Cinzentas;
- Estudo da legislação Mundial, em particular a Europeia e sugerir um conjunto de Normas e procedimentos para servir de base à criação de leis;
- Estudo Piloto com caracterização qualitativa e quantitativa das Águas Cinzentas ao longo de todo o processo de tratamento das Águas Cinzentas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ahmed, M., Al Sidairi, S., Prathapar, A., Al-Adawi, S., 2008. “Evaluation of custom made and comercial greywater treatment systems: a case from Oman”. *International Journal of Environmental Studies*. 65, 33-40.
- [2] Ahmed, M., Prathapar, S., Al-Jamrah, A., Al-Maskiri, A., Al-Belushi, A. “Greywater reuse in arid countries: problems and possibilities”.
- [3] Al-Jayyousi, O. (2004). Greywater reuse: Knowledge management for sustainability. *Desalination*, 167(1–3), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.110>
- [4] Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: Towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1–3), 181–192. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- [5] Almeida, M.C., Butler, D., Friedler, E., 1999. “ At-source domestic wastewater quality”. *Urban Water*. 1, 49-55.
- [6] ANQIP, ETA 0905, *Sistemas prediais de reutilização e reciclagem de águas cinzentas* (SPRAC). Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (Versão 1), 2011.
- [7] Australian Capital Territory. Greywater Use: Guidelines for residential properties in Camberra. (2004). *Australian Capital Territory*. Austrália: Camberra.
- [8] Coutinho, A., 2009. “Reutilização de Água – Utilização de águas cinzentas in situ”. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- [9] Decreto 21/2006 de 14 de Fevereiro (2006)
- [10] Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho (1997).
- [11] Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (1997).
- [12] Directiva Comunitária 91/271/CEE de 21 de Maio de (1991).
- [13] Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., Robinson, M., 1999 b). “Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water”. *Urban Water*. 1, 293-306.
- [14] EcoSan Club. (2009). Greywater Treatment and Reuse. *Sustainable Sanitation Practice*, (Şekil 1), 34. <https://doi.org/10.2166/wpt.2008.041>

- [15] Elmitwalli, T.A., Otterpohl, R., 2007. "Anaerobic biodegradability and treatment of greywater in upflow sludge blanket (UASB) reactor". *Water Research*. 41, 1379-1387.
- [16] EPA, 2004. "Guidelines for Water Reuse".
- [17] Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002. "Characteristics of grey wastewater". *Urban Water*, Vol. 4, N.º 1, 2002.
- [18] Eriksson, E., Baun, A., Henze, M., Ledin, A., 2006. "Phytotoxicity of grey wastewater evaluated by toxicity tests". *Urban Water Journal*, Vol. 3, N.º 1, Março 2006.
- [19] ERSAR, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2010. "Relatório Anual do Sector das Águas e Resíduos em Portugal". (RASARP,2010)
- [20] Fenner, R.A., Komvuschara, K., 2005. "A new kinetic model for ultraviolet disinfection of greywater". *Journal of Environmental Engineering*. Junho 2005, 850-864.
- [21] Finley, S., Barrington, S., Lyew, D., 2009. "Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops". *Water Air Soil Pollut.* 199, 235-245.
- [22] Friedler, E., 2004. "Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities". *Environmental Technology*. 25, 997-1008.
- [23] Friedler, E., Alfiya, Y., 2010. "Physicochemical treatment of Office and public buildings". *Water Science & Technology*. 62 (10) (2010) 2357-2363.
- [24] Friedler, E., Hadari, M., 2006. "Economic feasibility in multi-storey buildings." *Desalination*. 190, 221-234.
- [25] Friedler, E., Kovalio, R., Ben-zvi, A., 2006 (b). "Comparative study of the microbial quality of greywater treated by three on-site treatment systems". *Environmental Technology*. 27, 653-663.
- [26] Gajurel, D.R., Li, Z., Otterpohl, R., 2003. "Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebaehalter". *Water Science and Technology*. 48, 111-118.
- [27] Gulyas, H. (2007). *Greywater Reuse: Concepts, Benefits; Risks and Treatment Technologies*. International Conference on Sustainable Sanitation: "Food and Water Security for Latin America."
- [28] Gulyas, H. (2007). *Greywater Reuse: Concepts, Benefits; Risks and Treatment Technologies*. In International Conference on Sustainable Sanitation: "Food and Water Security for Latin America."

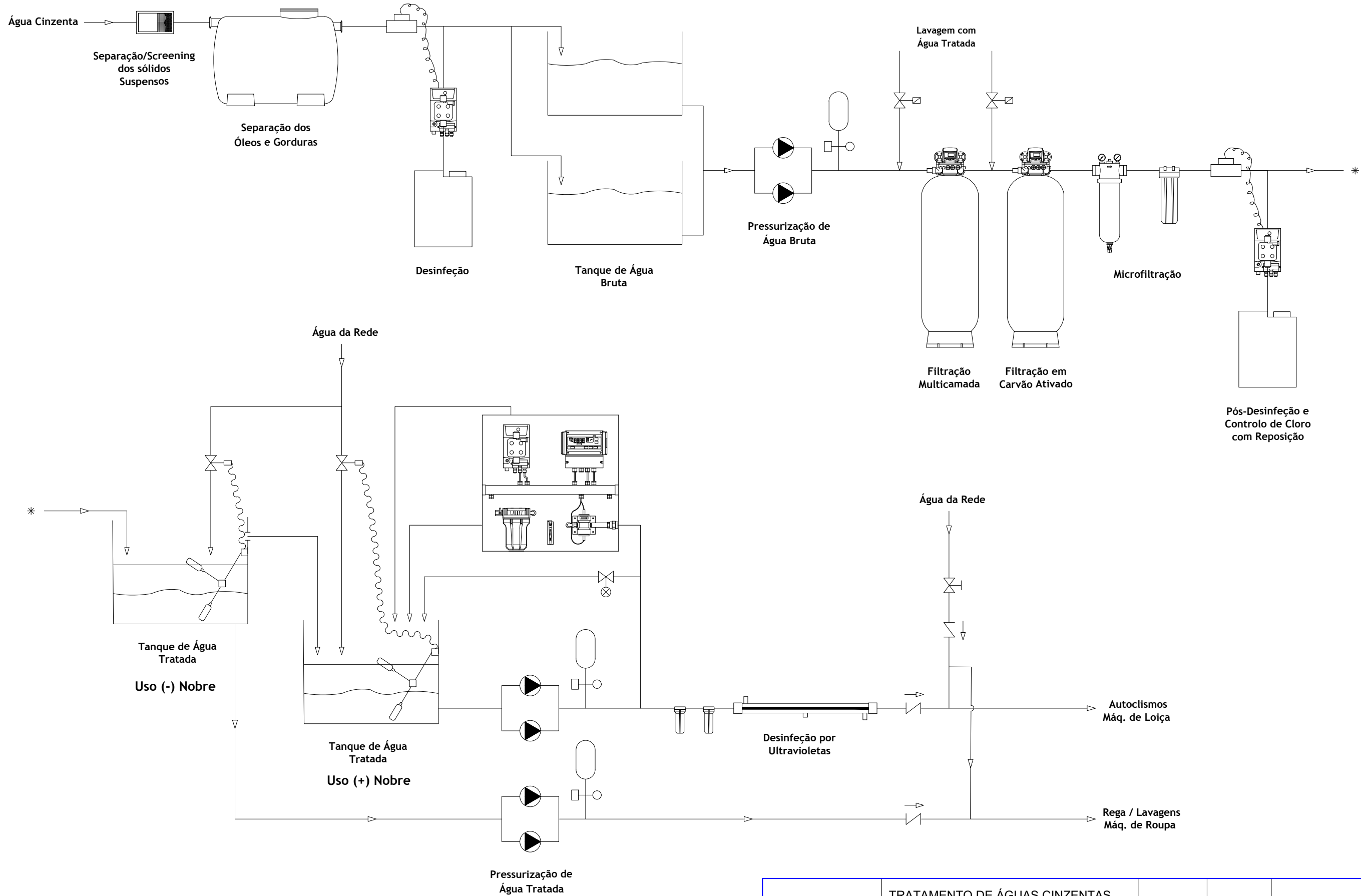
- [29] Hoek, J.P.van, Dijkman, B.J., Terpstra, G.J., Uitzinger, M.J., Dillen, M.R.B.van., 1999. “Selection and evaluation of a new concept of water supply for Ijburg Amsterdam”. *Water science and Technology*. 39 (5), 33-40.
- [30] Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., Judd, S., 1999. “Technologies for domestic wastewater recycling”. *Urban Water*. 1, 285-292.
- [31] Khoury-Nolde, N., Nolde, E., Translation of fbr – information sheet H 201, in: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr), Darmstadt: Ingenieurburo Nolde & Partner, 2005.
- [32] Ministério do Ambiente, do ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II) (MAOTDR, 2006)
- [33] Nixon, S.C., Lack, T.J., Hunt, D.T.E., Lallana, C., Boschet, A., 2000. Relatório de avaliação ambiental. “Recursos hídricos na Europa: uma utilização sustentável? Situação, perspectivas e questões”. Agência Europeia do Ambiente.
- [35] Norma Portuguesa 4434 – Reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega (2005).
- [35] Otterpohl, R., Albold, A., Oldenburg, M., 1999. “ Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources”. *Water Science Technology*. 39 (5), 153-160.
- [36] Otterpohl, R., Braun, U., Oldenburg, M., 2002. “Innovative Technologies for Decentralized Wastewater Management in Urban and Peri-Urban Areas”. Keynote presentation at IWA Small2002, Istanbul, Setembro de 2002.
- [37] Otterpohl, R., Braun, U., Oldenburg, M., 2003. “Innovative technologies for decentralized water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas”. *Water Science and Technology*. 48 (11-12), 23-32.
- [38] Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., ... Jefferson, B. (2008). Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, 71(1), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.046>
- [39] Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el regimen juridico de la reutilizacion de las aguas depuradas.
- [40] WHO (2001). “Water quality-guidelines standards and health: assessment of risk and risk management for water-related infectious disease”.
- [41] WHO Water Supply and Sanitary Council, 2000. *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. New York: WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, WA 675.

[42] WHO, 2008. “Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater”. *International Journal of Environmental Studies*. 65, 157-176.

[43] WHO, Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2006. “Overview of greywater management Health considerations”.

[44] Wright, M., 1996. “Safe use of household greywater”.

ANEXOS



DATA: FEVEREIRO 2018	TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZENTAS	ESCALA S/ ESCALA	DESENHO 1	AQUAQUÍMICA Tratamento de Água
Mod. 096V0	DIAGRAMA GERAL	ELABORADO: P. MIRANDA	APROVADO: BL	