

# Gestão Sustentável de Recursos Hídricos: Um Estudo com alunos de Ciências Naturais

Liliana Gabriela Fernandes Magalhães

Mestrado em Ensino da Biologia e da Geologia no 3ºCiclo do  
Ensino Básico e no Ensino Secundário

Departamento de Biologia e Departamento de Geociências, Ambiente e  
Ordenamento do Território

2016

Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Clara Vasconcelos, Professora Auxiliar, Faculdade de  
Ciências

Orientador

Prof. Luís Calafate, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências





Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



## Agradecimentos

Ao longo deste ano letivo foram várias as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que conseguisse concluir os meus estudos. Assim, gostaria de deixar um agradecimento em primeiro lugar aos orientadores científico-didáticos, Professora Clara Vasconcelos e Professor Luís Calafate, por terem disponibilizado o seu tempo para me acompanharem em todas as fases do meu trabalho, terem esclarecido as dúvidas que foram surgindo e por efetuarem críticas construtivas.

Queria também agradecer à orientadora cooperante, Sandra Ferraz, por todos os ensinamentos e apoio que me deu durante toda a Prática de Ensino Supervisionada.

Um obrigado aos restantes elementos do núcleo de estágio, Sofia e Bárbara, pelo incrível ambiente de trabalho, apoio e interajuda que se estabeleceu desde o primeiro dia.

Um agradecimento aos meus amigos de licenciatura, em particular à Cláudia, Márcia, Filipa, Bruno, Tiago e Rita pelo apoio que me deram ao longo de todos estes anos académicos.

Queria agradecer às meninas da residência universitária, nomeadamente, Adriana, Marlene, Gabriela e Patrícia, pelos bons momentos de companheirismo e diversão que me fizeram esquecer os problemas do quotidiano e por sempre me apoiarem nos momentos decisivos.

Aos meus amigos da minha cidade natal, em particular à Júlia, que mesmo longe preocupavam-se comigo e com o meu percurso académico.

Aos meus alunos da Escola Secundária Fontes Pereira de Melo que me ajudaram a crescer enquanto professora e pessoa.

E, por fim, e não menos importante, à minha família, principalmente aos meus pais e irmão, que sempre acreditaram em mim e, por isso, investiram no meu futuro e me apoiaram em todas as minhas decisões. Pelo carinho, dedicação, paciência e compreensão, um muito obrigado!

## Resumo

Nos dias que correm, reconhece-se que o desperdício e o aumento da procura dos recursos hídricos, bem como os danos causados pela ação antrópica no ambiente, requerem a atenção de todos. Assim, é importante perceber qual a sensibilidade dos alunos em relação a este tema, de forma a torná-los mais conscientes do seu papel ativo na gestão sustentável dos recursos hídricos. O presente estudo foi desenvolvido com alunos do 8º ano de escolaridade de uma escola pública, na disciplina de Ciências Naturais, no âmbito do domínio *Sustentabilidade na Terra*, que integra as metas curriculares implementadas pelo Ministério da Educação e Ciência. O objetivo geral escolhido foi *relacionar a gestão de resíduos e da água com o desenvolvimento sustentável*, onde se optou por abordar as ETAR's e Fito-ETAR's como medidas para a minimização de danos relativos à contaminação da água procedente da ação humana. Adicionalmente foram abordadas medidas internacionais (Carta Europeia da Água) e nacionais (Programa Nacional para Uso Eficiente da Água), que levam a uma redução no consumo da água e simultaneamente uma boa gestão da mesma.

Em termos de investigação educacional, optou-se por um estudo pré-experimental, que envolveu um único grupo de alunos, que constituiu uma amostra por conveniência.

O problema central que orientou a investigação consistiu em avaliar o conhecimento dos alunos sobre a importância da minimização de danos relativos aos recursos hídricos, antes da leção da temática sobre a gestão sustentável dos mesmos, apoiada na teoria da aprendizagem significativa. Desta forma, inicialmente foi aplicado um teste diagnóstico (pré-teste) com o objetivo de analisar as conceções prévias dos alunos acerca da temática da gestão sustentável dos recursos hídricos. Seguiu-se a implementação de um programa de intervenção educativa, que se apoiou na metodologia de ensino por mudança concetual. O mesmo teve a duração total de 100 minutos e decorreu durante o 3º Período. Os recursos utilizados incidiram em apresentações *PowerPoint* com vídeos incorporados e mapas de conceitos, desenvolvidos pelos alunos. Na primeira aula da intervenção, de 50 minutos, recorreu-se aos materiais produzidos para abordar as possíveis medidas para a redução de danos nos recursos hídricos. Adicionalmente, foi dado aos alunos um conjunto de palavras e pedido que as relacionassem através da construção de um mapa de conceitos. Na segunda aula da intervenção, de 50 minutos, foram abordadas medidas que visavam a redução do consumo dos recursos hídricos. Nesta aula foi, ainda, pedido aos alunos que colaborassem, em trabalho de pares, na execução de um cartaz, que foi posteriormente afixado na Escola. A fim de perceber as aprendizagens dos alunos, após o programa interventivo, foi aplicado um teste de avaliação sumativo (pós-teste). Após a análise dos resultados obtidos em ambos os testes, verificou-se que a média obtida no pós-teste era superior à média obtida no pré-teste. Após esta análise aceitou-se então a hipótese direcionada ( $H_1$ ) "A leção

da temática segundo o processo de mudança conceitual promove significativamente a alteração na aprendizagem dos alunos” com um intervalo de confiança de 99%.

Após a realização do estudo, concluiu-se que a metodologia adotada para abordar a gestão dos recursos hídricos distinguiu-se da tradicional exposição e leitura de manuais, essencialmente, por terem sido levantadas questões de nível cognitivo elevado. Após a intervenção, os alunos mostraram-se capazes de argumentar devidamente as suas respostas. Contudo, relativamente à elaboração dos mapas conceituais, ainda manifestaram algumas dificuldades. Estas aprendizagens despertaram a participação dos alunos como preconizado nos métodos ativos de ensino.

**Palavras-chave:** poluição, ETAR, Fito-ETAR, Carta Europeia da Água, mudança conceitual, estudo pré-experimental.

## Abstract

Nowadays, it is recognizable that the waste and the increasing of the hydric resources search, as well as the damages caused by the anthropic action in the environment, require everyone's attention. This way, it is important to understand which the students' sensibility is regarding this subject, in order to make them more conscious in what concerns their active role in the hydric resources sustainable management. The present study was developed with a public school 8<sup>th</sup> form students, in the subject of Natural Sciences within the 'Earth sustainability' domain, which integrated the curricular goals implemented by the Science and Education Ministry. The chosen general aim was to 'relate the waste and water management with the sustainable development', where it was chosen to approach the WWTPs and the Phyto-WWTPs as measures to minimize the water contamination by human action damages. Additionally, there were approached international (European Water Charter) and national (Efficient Water Use National Programme) measures, which conduct to a water consumption reduction and simultaneously to a good management of it.

In terms of educational investigation, it was chosen to do a pre-experimental study, which included a single students group that constituted a convenience sample.

The central problem that guided the investigation consisted of evaluating the students' knowledge about the importance of the hydric resources damages minimization, before teaching the sustainable management of them, supported by the theory of meaningful learning. This way, initially, it was applied a diagnostic exam (pre-test) with the aim of analysing the students' previous conversance about the hydric resources sustainable management thematic. This was followed by the implementation of an educational intervention, which was based on the teaching methodology by conceptual changing. The exam had a 100 minutes duration and was performed during the 3<sup>rd</sup> term. The used resources focused on PowerPoint presentations with incorporated videos and conceptual maps developed by the students. On the first intervention lesson, with 50 minutes, it was called upon the produced materials to approach the possible measures to the hydric resources damages reduction. Additionally, it was given the students a group of words and then asked to relate them through the development of a conceptual map. On the second intervention lesson, with 50 minutes, there were approached measures that focused on the hydric resources consumption reduction. On this lesson it was yet asked to the students to collaborate, in a pair-group work, in the development of a poster that was posteriorly plastered at the school. With the aim of percept the students' learning, after the intervention programme, it was applied a summative evaluation exam (post-test). After evaluating the obtained results on both the exams, it was verified that the obtained mean value on the post-test was higher than the one obtained on the pre-test. After this analyse it was accepted

the directed hypothesis ( $H_1$ ) 'The teaching of the thematic accordingly to the conceptual changing process significantly promotes the students learning alteration' with a 99% confidence interval.

After the performing of the study, it was concluded that the adopted methodology to the approaching of the hydric resources management distinguished itself from the traditional exposure and book reading, essentially, by have put high level cognitive questions. After the intervention, students had revealed themselves capable of properly urging their answers. However, in what concerns the conceptual maps' elaboration, they had revealed some difficulties. These learnings have woken the students' participation as it is professed in the teaching active methods.

**Key-words:** pollution, WWTP, phyto-WWTP, European Water Charter, conceptual change, pre-experimental study.

# Índice geral

Agradecimentos .....	III
Resumo .....	IV
Abstract.....	VI
Índice geral .....	VIII
Índice de figuras.....	X
Índice de tabelas .....	X
Índice de apêndices .....	X
I - Introdução.....	1
I.1 - Contextualização geral e justificação do estudo .....	2
I.2 - Problema, objetivos e hipóteses da investigação.....	3
II - Enquadramento teórico do estudo .....	4
II.1 - Recursos Hídricos .....	4
II.1.1- Características físico-químicas da água.....	5
II.1.2- Hidrogeologia e o Ciclo Hidrológico .....	7
II.1.3- Reservas de água.....	8
II.2 - Tipos de poluição da água.....	9
II.3 - Tratamento de águas residuais .....	14
II.3.1 - Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).....	15
II.3.1.1 - Pré-Tratamento .....	15
II.3.1.2 - Tratamento Primário .....	17
II.3.1.3 - Tratamento Secundário ou Tratamento Biológico .....	18
II.3.1.4 - Tratamento Terciário ou Desinfeção.....	27
II.3.2 - Estação de tratamento de Águas Residuais com o recurso à fitorremediação (Fito - ETAR).....	29
II.3.2.1 - Tipos de Fito-ETAR's.....	32
II.4 - Uso sustentável dos recursos hídricos .....	37
III - Contextualização Educacional do Estudo .....	38
III.1 - Ensino por Mudança Concetual.....	40
III.2 - Estratégias e Recursos de ensino .....	42
III.3 - Intervenção educativa.....	44
IV - Metodologia de investigação .....	46
IV.1 - Estudo pré-experimental .....	46
IV.2 - Caracterização da amostra .....	47

IV.3 - Técnicas e instrumentos de recolha e análise de dados .....	47
IV.3.1 - Testagem.....	48
V - Resultados e investigação .....	49
V.1 - Análise dos resultados .....	49
V.2 - Discussão dos resultados .....	50
VI - Conclusões gerais .....	51
VI.1 - Limitações do estudo .....	51
VI.2 - Conclusões do estudo.....	52
VI.3 - Contributos para o desenvolvimento profissional .....	53
VII - Referências .....	55

## Índice de figuras

Fig. 1- Água no estado sólido.....	5
Fig. 2- Tensão superficial da água. ....	6
Fig. 3- Ciclo hidrológico ou ciclo da água. ....	7
Fig. 4- Distribuição da água no planeta Terra.....	9
Fig. 5- Descarga combinada de resíduos urbanos. ....	10
Fig. 6- Processo de Eutrofização. ....	11
Fig. 7- Sobreexploração de aquíferos costeiros. ....	12
Fig. 8- Sistema de grades e desarenador.....	16
Fig. 9- Desarenador mecânico (Vista aérea). ....	16
Fig. 10- Processo de floculação.. ....	17
Fig. 11- Sistemas mecânicos de aeração do tanque biológico.. ....	18
Fig. 12- Metabolismo e mecanismos de transporte das bactérias. ....	19
Fig. 13- Floco biológico. ....	20
Fig. 14- Constituintes básicos de um sistema de tratamento biológico por lamas ativadas. ....	21
Fig. 15- Pirâmide alimentar que se estabelece nas lamas ativadas.....	21
Fig. 16- Diferentes tipos de protozoários. ....	22
Fig. 17- Estrutura de um leito percolador de formato cilíndrico.....	23
Fig. 18- Mecanismo de transporte de oxigénio e carga poluente ao longo do biofilme. ....	24
Fig. 19- Pirâmide alimentar existente num leito filtrante. ....	26
Fig. 20- Sistema de lagunagem.....	26
Fig. 21- Esquema do funcionamento de uma ETAR.....	29
Fig. 22- Componentes básicos de uma Fito-ETAR.....	31
Fig. 23- Características dos vários tipos de leitos de macrófitas. ....	32
Fig. 24- Diferentes tipos de macrófitas presentes em Fito-ETAR ....	32
Fig. 25- Sistema de macrófitas emergentes com escoamento superficial.....	35
Fig. 26- Sistema de macrófitas flutuantes com escoamento superficial.....	35
Fig. 27- Sistema de macrófitas submersas com escoamento superficial.....	35
Fig. 28- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo horizontal. ....	36
Fig. 29- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo vertical descendente.....	36
Fig. 30- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo vertical ascendente.....	37
Fig. 31- Modelo de pontuação de um mapa de conceitos. ....	43

## Índice de tabelas

Tabela 1-Estatísticas descritivas relativas ao pré e pós-teste.....	50
---	----

## Índice de apêndices

Apêndice 1- Pré e Pós-teste.....	61
----------------------------------	----

# I - Introdução

O presente relatório insere-se no âmbito da unidade curricular de Introdução à Prática Profissional (IPP), incluindo a Prática de Ensino Supervisionada (PES), do 2º ano de Mestrado em Ensino da Biologia e Geologia no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. Esta unidade curricular tem como objetivo promover o desenvolvimento de competências profissionais inerentes à profissão docente, aliado a uma melhoria na argumentação e comunicação oral e escrita da linguagem científica e educacional.

No entanto, este relatório foca-se num outro objetivo da disciplina, nomeadamente efetuar uma investigação sobre determinada intervenção científico-didática, realizada durante a PES. Tal intervenção enquadrou-se numa metodologia de ensino por mudança concetual (EMC) e esteve vinculada a uma temática específica, nomeadamente recursos hídricos e uma gestão sustentável dos mesmos.

Ao longo dos tempos têm surgido metodologias que visam ser alternativas ao ensino por transmissão (EPT), que se caracteriza por um papel ativo do professor e por uma submissão do aluno (papel inativo). Neste tipo de ensino o docente é detentor do saber e o aluno desprovido de qualquer conhecimento prévio, sendo considerado “tábua rasa”. Tal situação não se verifica num EMC pois, apesar de o professor ter um papel importante, este considera que o aluno possui conceções prévias, ou seja, que possui algum conhecimento sobre os assuntos. Além disso, o docente promove o confronto de ideias entre os alunos e destes com ele, ao contrário do que acontece no EPT (Lucas & Vasconcelos, 2005).

Segundo Berger (2009), a investigação na área das ciências sociais pode funcionar como um trabalho crítico, isto é, como um trabalho de contestação e de problematização das práticas sociais, sendo esta uma visão um pouco negativa da investigação social. No entanto, o mesmo autor afirma que pode ser um trabalho onde se enumeram factos que poderão servir como alicerces, instrumentos para promover o desenvolvimento e o progresso. Ora sendo a educação uma área pertencente às ciências sociais, torna-se necessário considerar o que este autor menciona. Isto é, torna-se importante a realização de investigações sobre as práticas educativas, durante a PES e fora da mesma, no sentido de averiguar se as mesmas constituem uma mais-valia para a construção do conhecimento dos alunos, ou seja, para uma aprendizagem significativa dos mesmos. Mediante os resultados deve-se adotar uma posição de reflexão crítica sobre os mesmos e, posteriormente, utilizá-los como propulsores do progresso e desenvolvimento profissional e, conseqüentemente, do sucesso escolar dos alunos.

O presente relatório encontra-se organizado e estruturado em sete capítulos, dos quais seis, são dedicados ao trabalho desenvolvido e explorado nas fases do pré, durante e pós

implementação do programa de intervenção, e o último capítulo é destinado às referências bibliográficas. O capítulo I é constituído por uma Introdução onde se efetua um enquadramento geral da investigação e da estrutura do relatório. Também neste capítulo se encontra a justificação para a escolha deste estudo, bem como, o problema, objetivos e hipóteses da investigação. O capítulo II é referente ao Enquadramento teórico do estudo que engloba toda a informação necessária sobre os recursos hídricos, nomeadamente: características, distribuição no planeta Terra, tipos de poluição e forma de tratamento das águas residuais. Ainda neste capítulo são referidas algumas noções sobre o uso sustentável destes recursos.

O capítulo III apresenta toda a informação sobre a intervenção educativa, nomeadamente, uma descrição, do ensino por mudança concetual, das estratégias e recursos utilizados, e de como esta se procedeu. No capítulo IV aborda-se a metodologia de investigação, onde é referido o estudo pré-experimental, as características da amostra e as técnicas e instrumentos de recolha e análise de dados. O capítulo V apresenta os resultados da investigação e a análise e discussão dos mesmos. No capítulo VI encontram-se as conclusões gerais do estudo e no capítulo VII todas as referências necessárias para a elaboração da investigação. O relatório possui um único apêndice que se localiza após as referências.

## I.1 - Contextualização geral e justificação do estudo

A água é um recurso natural indispensável à vida. As nossas células e as de outros seres vivos, como as plantas, têm água na sua constituição, pelo que a quantidade da mesma tem de ser constante nos organismos e a necessidade e procura por esta é imprescindível. Além disso, sabe-se que a água é um importante modelador da Geologia do nosso planeta. Posto isto, é importante perceber até que ponto os alunos têm a noção da importância deste recurso e a sua sensibilidade para o assunto.

Nos dias que correm, reconhece-se também que o desperdício e o aumento da procura deste recurso, bem como os danos causados por ação antrópica, é um problema que requer a atenção de todos. Assim, é importante perceber qual a sensibilidade dos nossos alunos em relação a este tema, de forma a torná-los mais conscientes de que podem ter um papel ativo na gestão sustentável dos recursos hídricos.

Uma vez que o tema da investigação implica a sua integração nas metas curriculares e, simultaneamente, abordar a componente da Biologia e da Geologia, optou-se por escolher uma área relacionada com os recursos hídricos e uma gestão sustentável dos mesmos. Tal temática encontra-se no domínio *Sustentabilidade na Terra*, subdomínio *Gestão sustentável dos recursos*, das metas curriculares do 8º ano de escolaridade implementadas pelo Ministério da Educação e Ciência (MEC). O objetivo geral escolhido foi *relacionar a gestão de resíduos e da água com o desenvolvimento sustentável*. Os descritores em que incidiu a intervenção

educativa foram: (i) *construir um plano de ação que vise diminuir o consumo de água na escola e em casa, com base na Carta Europeia da Água*; (ii) *propor medidas de redução de riscos e de minimização de danos relativos à contaminação da água procedente da ação humana*. Simultaneamente, foram abordados os descritores: (iii) *propor medidas que visem diminuir os impactos da exploração e da transformação dos recursos naturais* e (iv) *referir medidas que estão a ser tomadas em Portugal para promover a sustentabilidade dos recursos naturais*.

Além disso, tratando-se de uma investigação educacional é importante averiguar se a metodologia de ensino escolhida, ensino por mudança concetual, promove uma aprendizagem significativa. Assim, fez-se o diagnóstico ao conhecimento dos alunos acerca dos assuntos referidos. De seguida, estes tópicos foram lecionados recorrendo à mudança concetual e, por fim, avaliou-se os conhecimentos construídos pelos mesmos durante a intervenção educativa.

Todas estas etapas serão abordadas em pormenor mais à frente.

O estudo foi realizado no 3º Período com alunos do 8ºano de escolaridade de uma escola pública, onde foi realizada a Prática de Ensino Supervisionada (PES).

## I.2 - Problema, objetivos e hipóteses da investigação

Como em qualquer investigação, é necessário definir um problema que irá fundamentar toda a investigação e, mais uma vez, tendo em conta os descritores das metas curriculares escolhidos, o do presente estudo assenta em *Avaliar o conhecimento dos alunos sobre a importância da minimização de danos relativos aos recursos hídricos antes da leção da temática sobre a gestão sustentável dos mesmos, apoiada na teoria da aprendizagem significativa*. Assim, e dado que se trata de uma investigação educacional, é importante avaliar as aprendizagens dos alunos mas também verificar se estas foram alteradas significativamente com a aplicação de determinada intervenção educativa. Assim, e uma vez que a intervenção educativa foi baseada na metodologia de ensino por mudança concetual, e seguindo um estudo pré-experimental como metodologia de investigação, definiu-se uma hipótese nula (H0) e numa hipótese direcionada (H1):

- Hipótese nula (H0) - A leção da temática segundo o processo de mudança concetual não promove a alteração na aprendizagem dos alunos;
- Hipótese direcionada (H1) - A leção da temática segundo o processo de mudança concetual promove significativamente a alteração na aprendizagem dos alunos.

No que se refere à hipótese de investigação, a variável dependente corresponde ao sucesso escolar dos alunos participantes e a variável independente corresponde à planificação e construção de recursos e materiais didáticos segundo a metodologia de ensino por mudança concetual.

Posteriormente ao problema e hipótese de investigação, definiram-se objetivos, os quais serão orientadores de toda a investigação educacional. Os objetivos dividem-se em objetivos conceituais, educacionais e de desenvolvimento profissional e são os seguintes:

- Reconhecer os tipos de danos causados pelo homem nos recursos hídricos;
- Compreender a interação da biologia no tratamento dos recursos hídricos;
- Diagnosticar nos alunos o conhecimento de medidas de redução de danos antrópicos nos recursos hídricos;
- Ensinar aos alunos medidas de redução de danos causados pelo homem sobre os recursos hídricos;
- Lecionar medidas que promovam a gestão sustentável da água;
- Recorrer à mudança conceitual para implementar a intervenção educativa;
- Analisar a contribuição do projeto científico-educacional no desenvolvimento de competências profissionais.

## II - Enquadramento teórico do estudo

O enquadramento teórico do estudo engloba toda a revisão de literatura necessária para a produção do material essencial para a execução da intervenção educativa.

Numa fase inicial, tornou-se necessário perceber o que é considerado um recurso hídrico, bem como as características da água no seu estado natural, além da forma como se encontra e distribui na Terra. Seguidamente, e uma vez que um dos descritores das metas curriculares refere que sejam lecionadas medidas que visem a minimização de danos, causados pelo Homem nos recursos hídricos, considerou-se necessário saber os tipos de poluição aquática. E, adicionalmente, qual o tipo de tratamento a que podem ser sujeitos e, caso este não possa ser realizado, qual o reaproveitamento possível da água, a ser considerado. Desse modo, optou-se por uma abordagem sobre as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) e as estações de tratamento de águas que recorrem a plantas (Fito – ETAR's ou ETAP's).

A uma gestão sustentável dos recursos hídricos está associado, não só um reaproveitamento de águas contaminadas e sua descontaminação, mas também um uso eficiente, para que o seu consumo possa ser reduzido ao mínimo necessário. Assim, serão também referidas algumas medidas que permitam tal situação.

### II.1 - Recursos Hídricos

Regra geral, os *recursos hídricos são considerados como sendo a quantidade de água superficial e subterrânea, disponível para qualquer uso, numa determinada região ou bacia*

*hidrográfica* (Fulgencio, 2007, p.539). No entanto, a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) descreve que os recursos hídricos não se limitam à sua quantidade física e aos seus reservatórios, mas também abrangem dimensões mais qualitativas, nomeadamente ambientais e socioeconómicas (Natural Resources Management and Environment Department, 2003).

### II.1.1- Características físicas e químicas da água

A água é uma substância química formada por átomos, os quais agrupados formam moléculas. A molécula de água é formada por dois átomos de hidrogénio e um de oxigénio, sendo que a sua forma química é  $H_2O$ . Uma única gota de água é constituída por biliões de moléculas de água (INETI, 2007).

No planeta Terra a água é a única substância natural que se encontra nos três estados físicos: líquido, sólido e gasoso. Esta congela a  $0^{\circ}$  Celsius (C) ( $32^{\circ}$  Fahrenheit (F)) e entra em ebulição aos  $100^{\circ}$  C ( $212^{\circ}$  F), em condições de pressão atmosférica normais.

No seu estado puro a água não tem cor, sabor ou cheiro, e tem um pH neutro de 7 (ácida ( $pH < 7$ ), básica ( $pH > 7$ )) (USGS, 2015). No entanto, regra geral, a água presente no ambiente não apresenta essas características, mas mesmo assim e, segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, estes são parâmetros constantemente verificados para averiguar se a água é própria ou não para consumo. Assim, relativamente à cor, sabor e odor, a água não deve apresentar tais características ou então em quantidades mínimas.

Quando se encontra sólida, na forma de gelo, esta é menos densa do que no seu estado líquido (Shakhashiri, 2011). É por isso que os icebergs (água na forma de gelo) flutuam sobre a água líquida como mostra a figura 1 (imagem à direita).



Fig. 1- Água no estado sólido. O gelo apresenta menos densidade que a água no estado líquido, acabando por flutuar nesta.

(Extraído de Fogaça, s.d.).

A água no seu estado puro tem uma condutividade elétrica muito baixa. No entanto, como na natureza esta vai englobando iões em solução, essa propriedade vai aumentando gradualmente até atingir um ponto de saturação (Moore, Richards & Story, 2008).

Esta substância apresenta uma grande capacidade calorífica, ou seja, consegue absorver uma grande quantidade de calor antes de começar a ficar quente, isto é, antes de demonstrar variações de temperatura, sendo por isso bastante utilizada para refrigerar equipamentos que atingem temperaturas elevadas (Shakhashiri, 2011).

Além de todas estas características, as moléculas de água são altamente coesivas (estabelecem ligações químicas fortes entre elas) e, tendencialmente, aglutinam-se em gotas ou bolhas. Tal propriedade permite que a água possua uma tensão superficial muito elevada, apresentando propriedades elásticas, permitindo que alguns insetos consigam caminhar sobre a água, como se vê na figura 2.

Contudo, a água pode ser atraída por outras substâncias, revelando uma grande capacidade de adesão. Tal propriedade permite que a água dissolva mais substâncias do que qualquer outro líquido. Isto é, ao passar pelo solo, rochas, outros cursos de água, ou até mesmo através dos nossos corpos, vai dissolvendo e incorporando componentes químicos, minerais e nutrientes, adquirindo assim a designação de *solvente universal* (Sharp, 2001; Silva, 2015). Uma vez que a água tem esta característica facilmente incorpora em si os poluentes existentes nos locais por onde passa.



Fig. 2- Tensão superficial da água.  
 (Extraído de Bates, 2014).

Importa então referir que a água encontra-se poluída quando as suas características físicas e químicas se encontram alteradas, deixando de cumprir as funções ecológicas que tinha anteriormente e a sua utilização para diversos fins deixa de ser benéfica (Delgado, Canha & Trinca, 2014).

## II.1.2- Hidrogeologia e o Ciclo Hidrológico

Sendo a água um bem essencial para a nossa vida é importante estudá-la, tarefa realizada pelos estudantes de hidrogeologia, que se encarregam de descobrir qual a ocorrência, distribuição e circulação da água, bem como da interação geológica da mesma com a crosta terrestre (Hiscock, 2009). Antes de se localizar as áreas onde podem ocorrer depósitos de água, é necessário entender como é que esta circula no nosso planeta. A água descreve um ciclo contínuo, o ciclo hidrológico, esquematizado na figura 3, que compreende todas as etapas e transformações da água (estado líquido, sólido e gasoso), bem como os percursos desta ao longo do seu trajeto na Terra, sendo por isso um sistema bastante complexo. A força motriz deste ciclo é a energia proveniente do sol, sem ela a existência deste ciclo seria impossível (Lencastre & Franco, 2003).

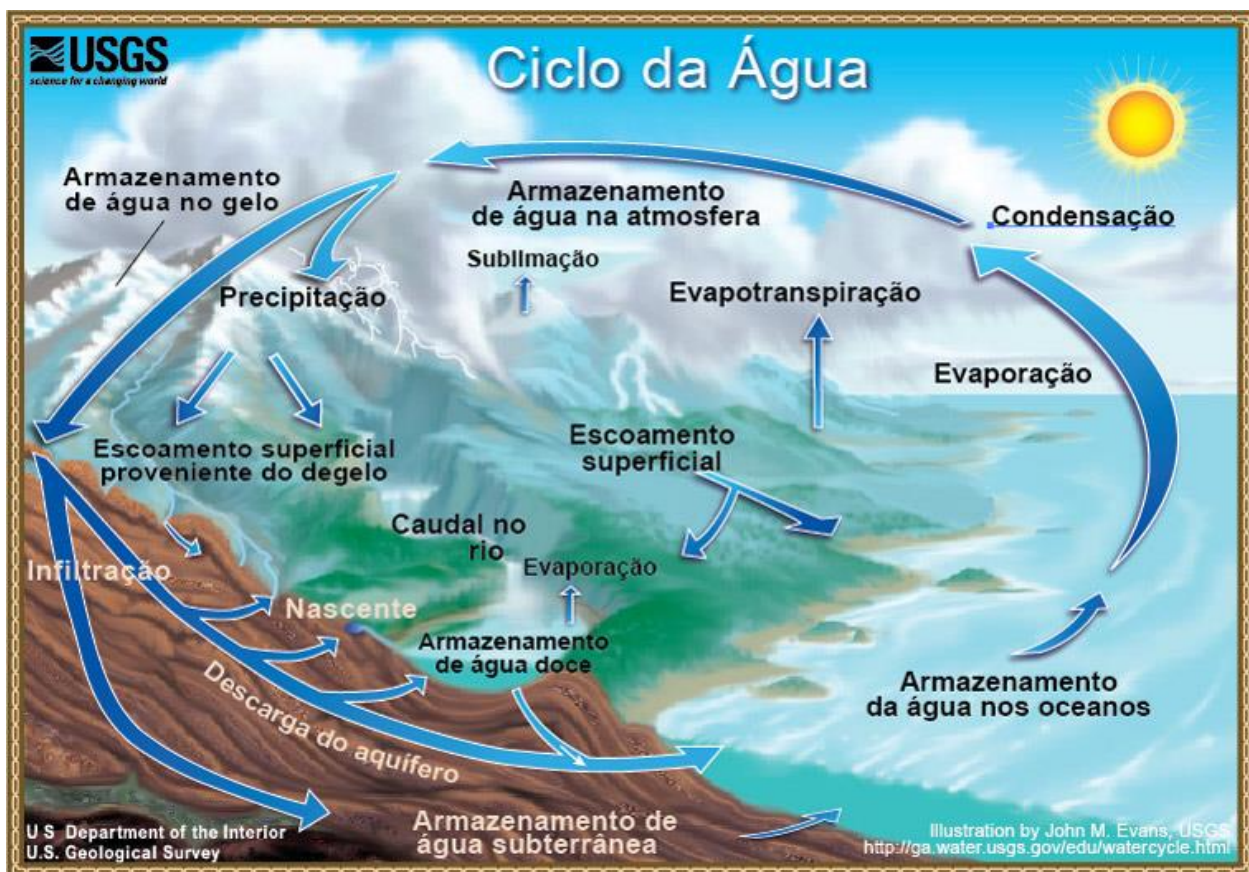


Fig. 3- Ciclo hidrológico ou ciclo da água.  
 (Extraído de USGS, 2016).

Neste ciclo não existe um início e um fim, o que significa que pode começar em qualquer uma das suas etapas. Iniciando a sua explicação na etapa da evaporação, a água (estado líquido) presente nos rios, lagos e oceanos evapora-se passando para o estado gasoso sob a forma de vapor de água. Em condições adequadas, o vapor de água acumula-se em partículas sólidas, que ficam em suspensão no ar, em estado quase coloidal, formando

aerossóis, que constituem as nuvens e o nevoeiro. Quando estas atingem uma certa densidade, dá-se início à precipitação, podendo esta ocorrer sobre a terra ou sobre os oceanos, rios e lagos, (entre outros). Dependendo das condições atmosféricas, a água pode precipitar sob a forma de chuva, neve ou granizo.

Segundo Hipólito e Vaz (2011), a precipitação que cai sobre a terra pode ter vários fins: uma parte evapora-se no momento da queda, voltando à atmosfera; outra fica retida na vegetação ou telhados, voltando a evaporar-se; uma outra parte dará origem a escoamentos superficiais ou ficará aprisionada em depósitos superficiais. Dessa última parte, uma sofrerá evaporação e outra irá se infiltrar nos solos, humedecendo-os. A quantidade que fica acumulada na parte mais superficial do solo irá fazer parte da transpiração das plantas e da evaporação do solo. Tais acontecimentos, no seu conjunto, adquirem a designação de evapotranspiração e vão permitir o retorno da água para a atmosfera. Uma outra parte da água infiltrada, por ação da gravidade, vai dissipar-se para zonas mais profundas onde se encontram reservatórios de água subterrânea - aquíferos, alimentando-os. Parte da água subterrânea é escoada de imediato para o oceano.

Uma vez a chegada da água superficial e subterrânea aos oceanos, inicia-se um novo ciclo hidrológico. Ao longo do ciclo as quantidades de água mantêm-se, não existindo perdas significativas. Assim, a água que bebemos hoje pode ser a mesma que existia há já milhões de anos atrás.

Uma vez feita a descrição do ciclo da água, percebe-se facilmente que esta circula por todo o nosso planeta, mesmo em locais impossíveis de imaginar. Deste modo, a água poluída presente em determinado local facilmente desagua num outro local cuja água não o esteja, mas que devido às propriedades adesivas da água rapidamente o ficará.

### II.1.3- Reservas de água

A água está presente em todo o planeta Terra e pode facilmente ser contaminada por diversos poluentes. Sendo assim, importa conhecer quais as reservas existentes, para entender se a poluição da água pode ou não constituir um problema, não só para o homem, mas para todo o ambiente.

Estima-se que existam cerca de 1600 milhões de  $\text{Km}^3$  de água, dos quais 15% encontram-se vinculados quimicamente à crosta terrestre, restando aproximadamente 1386 milhões de  $\text{km}^3$ . Desses 1386 milhões de  $\text{km}^3$ , e segundo a figura 4, apenas 2,5% correspondem à percentagem de água doce. No entanto, dessa pequena percentagem de água doce, grande parte encontra-se retida nos glaciares e em zonas de neve permanente

(69,5%), restando apenas 30,5 % em lagos, rios e águas subterrâneas que o homem pode utilizar (Hipólito & Vaz, 2011), tal como demonstra a figura 4.

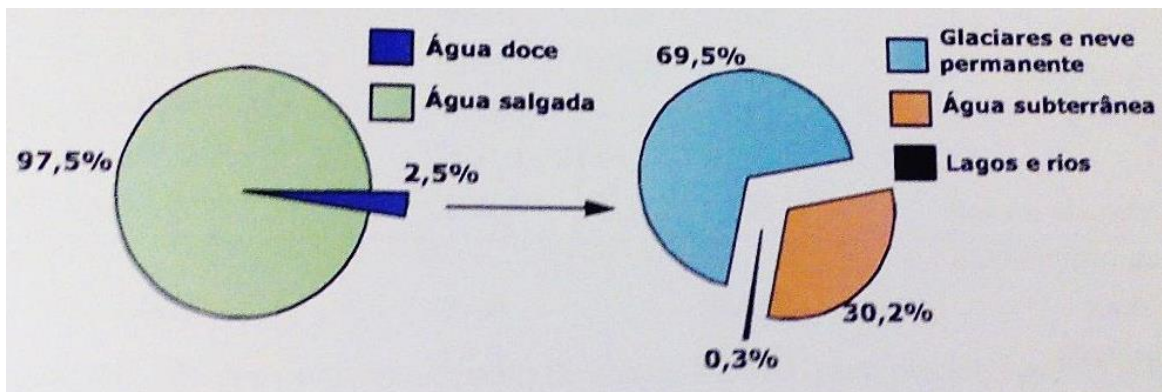


Fig. 4- Distribuição da água no planeta Terra.  
 (Extraído de Hipólito & Vaz, 2011, p.11).

Dado que uma grande parte, se não a maioria, dos seres vivos necessita de água potável para satisfazer as suas necessidades vitais e, apenas existe uma pequena percentagem passível de ser utilizada, é então urgente tomar medidas para que se reduzam ou diminuam os impactos negativos causados pelo homem nos recursos hídricos.

## II.2 - Tipos de poluição da água

Antes de se tomar qualquer tipo de medidas preventivas ou de recuperação da água contaminada, é necessário, para além de identificar as fontes, que por si só já é um fator determinante, reconhecer e identificar que tipo de substâncias ou ações causam a poluição da água, para posteriormente estudar a melhor forma de as combater.

Assim, e segundo Delgado *et al.*, (2014), existem sumariamente cinco tipos de poluição aquática: a microbiológica, por matéria orgânica, a salinização, a poluição por substâncias tóxicas e, ainda, a poluição térmica. Estes tipos de poluição serão descritos abaixo.

Segundo Jung *et al.* (2014), a **poluição microbiológica** consiste na introdução de bactérias patogénicas, protozoários ou vírus nos recursos hídricos. Este tipo de contaminação provém de diversas fontes, sendo regra geral de natureza fecal, podendo ser de origem humana, através de libertações de resíduos fora dos sistemas de recolha dos mesmos, descargas combinadas de resíduos urbanos, como ilustra a figura 5, ou libertação de remanescentes de estações de tratamento de água proveniente de esgotos. Pode ainda estar relacionada com a pecuária excessiva, levando a descargas de efluentes (estrupe). Tal facto é verídico, pois os cursos de água que percorrem zonas de pasto apresentam níveis de

contaminação microbiológica mais elevados que aqueles que passam em áreas de cultivo ou em florestas.

Os contaminantes microbianos provêm também de hospitais, indústrias (ligadas ao setor alimentar e farmacêutico).

Este tipo de poluição é grave quando o nível de contaminação é elevado, o período de permanência dos patogénicos nos reservatórios de água é longo ou os microrganismos são passíveis de serem transportados (Jung *et al.*, 2014).



Fig. 5- Descarga combinada de resíduos urbanos.

(Figura da esquerda extraída de Jarmuth, 2014; Figura da direita extraída de Silva, s.d.).

A **poluição da água por matéria orgânica** é manifestada pelo fenómeno de eutrofização. Segundo Monteiro (2004), a eutrofização é um processo natural de envelhecimento dos lagos ou albufeiras motivado pela acumulação, nesses locais, de substâncias de origem mineral ou de origem orgânica, transportadas por cursos de água afluentes. À medida que se vão depositando sedimentos, conjuntamente com essas substâncias, vão-se estabelecendo condições para o crescimento de algas e plantas. No entanto, a intervenção humana nestes locais promove um enriquecimento anormal de nutrientes, sendo o azoto e o fósforo as substâncias com maior relevância, acelerando consideravelmente os processos naturais. Ou seja, o excesso de substâncias nutritivas promove um crescimento excessivo de espécies vegetais (produção primária) no meio aquático, tal como demonstra a figura 6. Posteriormente, à medida que as plantas e algas morrem, estas passam a constituir a matéria orgânica morta, que futuramente será degradada pelos decompositores. Uma vez que estes necessitam de oxigénio para realizarem a sua atividade, um aumento de matéria morta implica uma diminuição drástica do nível de oxigénio.

Tal situação afeta a utilização normal e desejável da água e causa um desequilíbrio biológico, levando à alteração do tempo de residência ou a morte das espécies que habitam estes locais.

Esse excesso de matéria orgânica provém, por exemplo, da pecuária (estruume), da agricultura com o recurso excessivo a adubos e pesticidas ou de descargas de esgoto urbano.

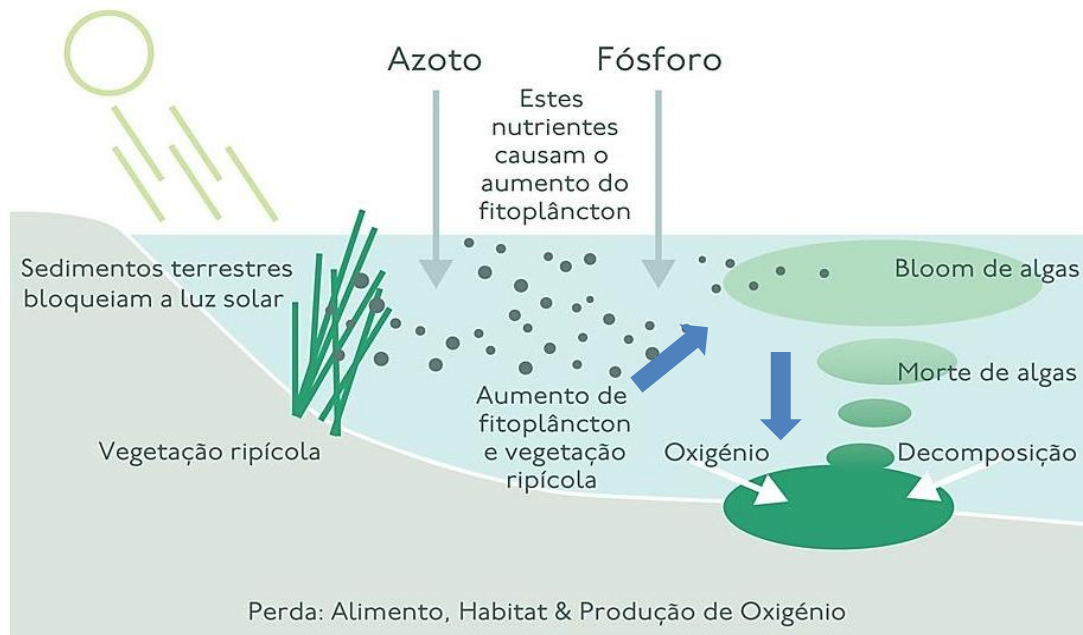


Fig. 6- Processo de Eutrofização.  
 (Adaptado de Governo dos Açores, 2014).

A **salinização**, segundo Vengosh (2003), é um outro tipo de poluição antrópica que consiste na introdução de elevadas quantidades de sais na água, alterando significativamente as suas propriedades, tornando-a imprópria para consumo e cultivo. Além disso, influencia negativamente os nichos ecológicos dos locais poluídos, levando a mudanças na quantidade, qualidade e natureza das espécies que deles fazem parte e que necessitam da água para sobreviver. Ou seja, pode provocar uma alteração das cadeias alimentares.

Uma agricultura com o recurso excessivo a sais minerais e outros nutrientes, no sentido de tornar o solo mais fértil, vai proporcionar a formação de águas salobras, uma vez que o solo ao ser drenado vai arrastar consigo os sais que se irão ligar quimicamente à água potável. Uma introdução contínua de sais na água e a evaporação contínua levam a um desequilíbrio das concentrações, passando os depósitos de água a possuir uma maior quantidade de sais.

A salinização também ocorre nas águas subterrâneas, nomeadamente ao nível dos aquíferos, mais concretamente dos aquíferos costeiros (próximos da linha de costa), pondo em causa uma futura exploração e utilização da água dos mesmos. De facto, a introdução de água salgada nos aquíferos é um dos processos mais comuns e importantes que degradam a qualidade da água para níveis que excedem os padrões da água potável aceitáveis, para consumo próprio e para a irrigação. Tal situação, segundo Vengosh (2003), é intensificada pelo grande crescimento populacional e pelo facto de cerca de 70% da população mundial ocupar as zonas de planície costeira. A salinização de muitos aquíferos costeiros em todo o mundo dá-

se pela intrusão de água do mar nos mesmos, resultado da exploração excessiva da água doce, como ilustra a figura 7.

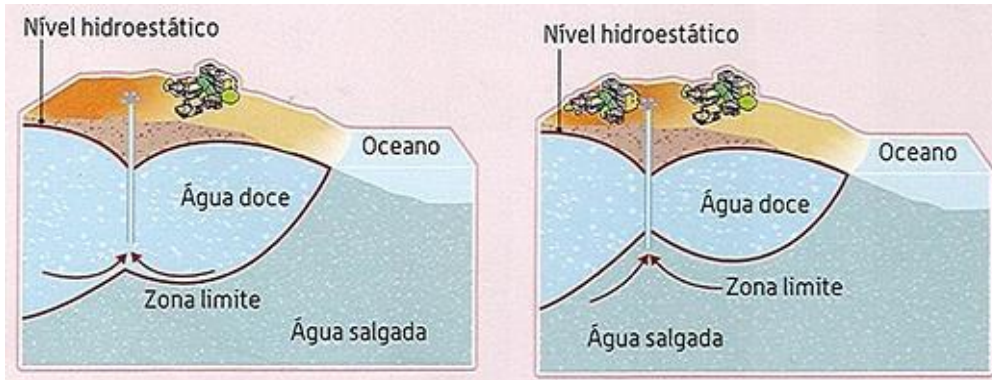


Fig. 7- Sobreexploração de aquíferos costeiros.  
 (Extraído de Neves, 2011).

Existe também a **poluição da água por substâncias tóxicas**. Por vezes, algumas substâncias encontram-se dissolvidas na água, no entanto, não trazem qualquer tipo de inconvenientes. Assim, para que uma substância seja considerada tóxica a mesma tem de resultar de atividades executadas pelo homem. É também necessário que esta se encontre presente na água num longo período de tempo e em quantidades ou concentrações que poderão causar um efeito negativo, imediato ou a longo prazo, no ambiente e na saúde pública. Uma ingestão de água com esses poluentes pode levar ao envenenamento do organismo e permitir a formação de mutações genéticas, que irão induzir o aparecimento de doenças físicas ou mentais ou até mesmo cancro. Tais doenças poderão depois causar a morte do ser vivo (homem e outras espécies) que consuma a água contaminada (Spellman & Stoudt, 2013; GAO, 1994; Durnil, 1995).

Relativamente às substâncias, estas podem-se cingir aos metais pesados, aos pesticidas, aos elementos radioativos e ao petróleo.

Os **metais pesados** são compostos naturais presentes na crosta terrestre que apresentam densidade superior a  $4\text{-}5\text{ g/cm}^3$ . Estes entram no meio ambiente como produtos resultantes de atividades da indústria mineira, da indústria de refinação ou de indústrias que recorrem a esses metais para cobrir outros como, por exemplo, na ourivesaria ou indústria automóvel.

Alguns dos metais como, por exemplo, o cobre, selénio, e zinco, encontram-se no corpo humano facilitando os processos metabólicos do mesmo, no entanto, em concentrações elevadas podem-se tornar tóxicos. Outros metais como, por exemplo, chumbo, crómio, cádmio, níquel e mercúrio, entre outros, têm efeitos tóxicos diretos na vida dos seres vivos.

Infelizmente, estas substâncias dissolvem-se facilmente na água e vão sendo absorvidas pelos seres vivos aquáticos e, como estes não conseguem eliminá-las, estas

acumulam-se gradativamente no organismo (bioacumulação). Posteriormente, esses seres vivos serão o alimento de outros e estes últimos vão também incorporar os metais pesados e assim sucessivamente até ao topo da cadeia alimentar. Os seres vivos do último nível trófico (alimentar) serão os mais prejudicados, pois terão em si uma maior quantidade desses metais. A este fenómeno dá-se o nome de bioampliação.

Regra geral, concentrações elevadas destes poluentes causarão problemas no sistema nervoso, irão modificar a composição do sangue e, conseqüentemente, afetar pulmões, rins, fígado e outros órgãos vitais. Uma exposição prolongada pode levar a uma degeneração muscular e neurológica progressiva do organismo (Wang *et al.*, 2009).

Relativamente aos **pesticidas**, estes são compostos químicos utilizados maioritariamente na agricultura para matar ou controlar pestes. Dentro dos pesticidas incluem-se os herbicidas (ervas), os fungicidas (fungos), inseticidas (insetos), entre outros. Estes entram facilmente na constituição da água, pois a mesma é utilizada no processo de fabrico dos pesticidas e parte da água que é utilizada na rega dos campos agrícolas transporta consigo essas substâncias.

Uma vez que os pesticidas matam determinados seres vivos, causam graves problemas no meio ambiente, nomeadamente alterações na biodiversidade e nas relações de predação, pondo em risco a sobrevivência dos ecossistemas. Os pesticidas são considerados poluentes pois têm na sua constituição químicos, dos quais se destacam os DDT (diclorodifeniltricloroetano), que podem levar à morte imediata do ser vivo que contacta com estes compostos ou, induzir problemas no crescimento e na reprodução do ser vivo. Estes compostos foram proibidos na produção dos pesticidas, no entanto, algumas indústrias continuam a fazê-lo (Chang *et al.*, 2007; Ongley, 1996).

Os **elementos radioativos** como, por exemplo, o urânio ( $^{238}\text{U}$ ;  $^{234}\text{U}$ ), o tório ( $^{232}\text{Th}$ ), o rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ) e o chumbo ( $^{210}\text{Pb}$ ), são substâncias químicas que libertam radiação quando os átomos que os constituem se separam. Tal como os metais pesados, grande parte destes elementos ficam acumulados no organismo dos seres vivos, podendo levar à formação de cancro nos ossos, no sangue, rins, estômago, entre outros. Estes elementos podem-se encontrar na água quando ocorrem, por exemplo, desastres em centrais nucleares, como foi o caso da central nuclear de Chernobil, libertando grandes quantidades destes elementos na água (Lee *et al.*, 2013; Canu *et al.*, 2011; Jackson, 2006).

O petróleo é composto por hidrocarbonetos e é libertado essencialmente no mar quando ocorrem acidentes com os cargueiros, ou seja, quando os tanques onde se encontra o petróleo quebram ou existem pontos de fuga. O crude, um derivado do petróleo, quando é libertado no mar, mata inúmeros seres vivos como, por exemplo, caranguejos, ostras e mexilhões. (Motarjemi *et al.*, 2014; Joseph, 2009).

A **poluição térmica** consiste em mudanças de temperatura anormais de uma massa de água natural, provocadas pela descarga de água (quente) utilizada na refrigeração de, por exemplo, máquinas industriais, causando efeitos negativos nos ecossistemas aquáticos (Karpagan, 2007).

Alguns seres vivos aquáticos como, por exemplo, os peixes, são poiquilotérmicos, ou seja, a sua temperatura é regulada pela temperatura ambiente, isto é, à medida que a temperatura ambiente aumenta, a temperatura corporal dos peixes aumenta também de forma gradual. Se a temperatura aumentar abruptamente, os processos e funções dos peixes vão falhar, podendo estes acabar por morrer. A redução ou a extinção, mesmo que local, de uma espécie, pode levar à morte ou desaparecimento (extinção) de outra espécie que se alimentava dessa, tendo assim influência nas cadeias alimentares (Rastogi, 2001).

Praticamente todos os efeitos negativos dos tipos ou formas de poluição da água que foram referidos, podem ser minimizados através do tratamento das águas que contêm esses produtos relativamente nefastos, para o ambiente e para o ser humano. No subcapítulo “Tratamento de águas residuais”, será referenciado, ao longo do texto, de que forma ou que mecanismos são utilizados para os remover. No entanto, relativamente à poluição térmica da água, não existe um tratamento propriamente dito, então torna-se necessário evitar a libertação das águas quentes no meio ambiente. Tal situação pode ser alcançada através do reaproveitamento das mesmas, algo que será descrito no subcapítulo “Uso Sustentável dos recursos hídricos”.

### II.3 - Tratamento de águas residuais

Como já foi referido, numa população a água é utilizada para diversos fins e naturalmente acabam por ser adicionados a ela diferentes poluentes resultantes das diversas atividades realizadas pelo homem. Assim, essas águas trazem consigo resíduos, obtendo a designação de águas residuais. Dependendo da origem da água poluída esta adquire diferentes designações. Segundo o Decreto Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, as águas residuais podem dividir-se em:

- Águas residuais domésticas - águas residuais de instalações residenciais e serviços, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas;
- Águas residuais industriais - todas as águas residuais provenientes de qualquer tipo de atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais<sup>1</sup>;

---

<sup>1</sup> Águas provenientes da chuva

- Águas residuais urbanas - águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais ou com águas pluviais;

Ora, tendo em conta este decreto as águas residuais podem ser consideradas todas aquelas que sofreram os tipos de poluição referidos anteriormente, já que direta ou indiretamente, todas proveem de atividade doméstica ou industrial. Posto isto, e uma vez que uma das metas curriculares que orientaram a elaboração do presente relatório encontra-se relacionada com medidas que visem a minimização de danos relativos à contaminação da água, procedente da ação humana, torna-se relevante conhecer de que forma a mesma pode ser descontaminada. Assim, considerou-se pertinente referir as ETAR's, amplamente distribuídas pelo país, e explorar um pouco sobre os processos que lá ocorrem. Do mesmo modo, optou-se por referir as Fito-ETAR's, uma técnica mais recente e ainda em expansão em Portugal, mas que já existe há bastante tempo noutros países (Saraiva, 2001). Tanto as ETAR's como as Fito-ETAR's serão descritas neste subcapítulo.

### II.3.1 - Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)

Uma ETAR corresponde a uma infraestrutura de extrema importância e uma solução para a despoluição de múltiplos cursos de água para onde, diariamente, é canalizada através das redes de esgotos uma grande carga de afluentes poluentes de forma quase ininterrupta. Estas estações, normalmente localizadas no troço final de um curso de água, recebem de forma contínua os resíduos líquidos urbanos e industriais canalizados através da rede pública de esgotos. Posteriormente, submetem esses afluentes a um tratamento que se processa de forma faseada, que será descrita abaixo.

#### II.3.1.1 - Pré-Tratamento

Todas as águas residuais que chegam a uma ETAR passam primeiro por um tratamento preliminar. Nesse **pré-tratamento** ou **tratamento preliminar** as águas residuais são submetidas a vários processos com o objetivo de separar os poluentes sólidos da água, preparando o efluente para as fases de tratamento posteriores. Nesta fase, as águas residuais passam por um processo físico através de grades denominado gradagem. Deste modo, objetos de grande dimensão como madeira, papel, plásticos, panos e outros materiais flutuantes são barrados por grades de diversas dimensões e espaçamento entre elas e retirados posteriormente de forma manual (Gray, 2004). A gradagem permite salvaguardar o bom funcionamento dos equipamentos de tratamento e uma grande parte da matéria orgânica é

aqui removida. De seguida, ocorre o desarenamento que consiste na remoção de materiais pesados como, por exemplo, metais, areias, cascalho, vidro, carvão, e pedaços de plástico que possam ter passado pelo gradeamento. Nesta etapa estes materiais vão-se depositando no fundo do tanque tal como se verifica na figura 8-b (Moreira, 2012; Gray, 2004).

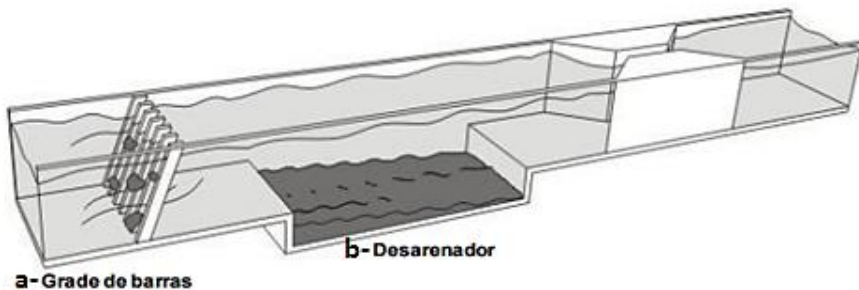


Fig. 8- Sistema de grades e desarenador. a- Gradagem- remoção de sólidos grosseiros , b- Desarenamento- deposição de os poluentes, nomeadamente areia, cascalho, entre outros no fundo do tanque.

(Adaptado de Dielle, 2014, p.5).

No entanto, dado que este pode ser um processo demorado, certas ETAR's possuem um mecanismo de pás rotativas criando um movimento descendente e contínuo, que vai fazer com que estes materiais mais pesados sedimentem no fundo do coletor, sendo recolhidos pelo recetor de areias, tal como pretende demonstrar a figura 9. A matéria orgânica e outras substâncias, denominadas de lodo, permaneçam na superfície e passam à próxima fase de tratamento juntamente com a água. (Gray, 2004).

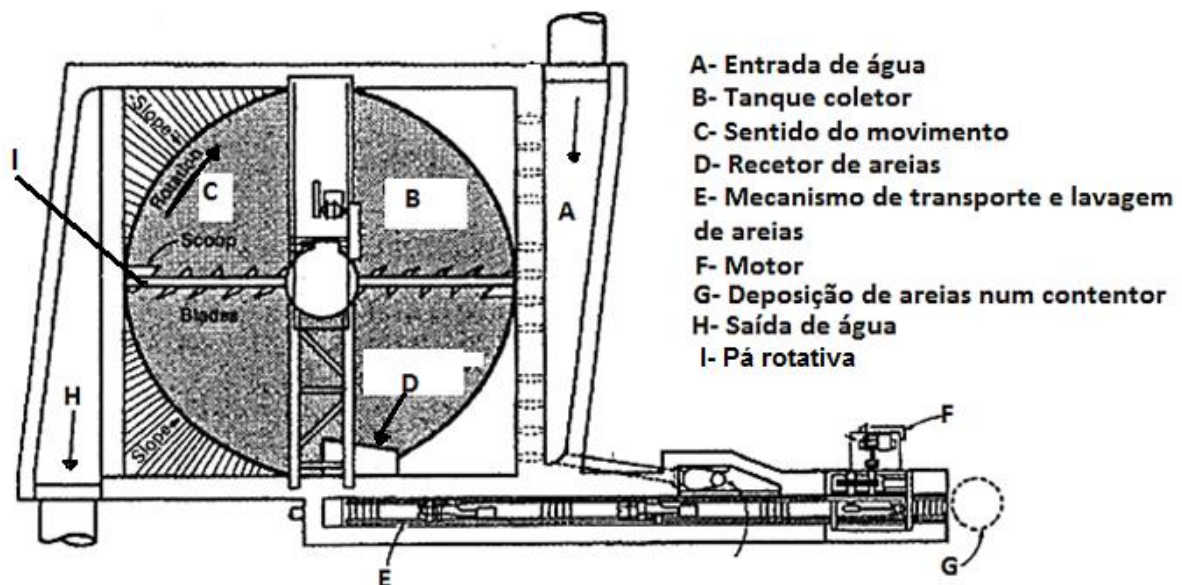


Fig. 9- Desarenador mecânico (Vista aérea).

(Adaptado de Gray, 2004, p.141).

Regra geral, a água residual traz consigo óleos e gorduras, resultantes, por exemplo, da lavagem da loiça nas nossas casas ou da limpeza de máquinas industriais ligadas ou não ao ramo alimentar. Posto isto, é importante que a água contaminada passe pela fase de desengorduramento, a qual consiste na remoção dessas substâncias por emulsão. Isto é, como algumas dessas substâncias misturam-se parcialmente com a água, ficando por vezes retidas no meio do corpo de água, torna-se necessário injetar ar comprimido, o qual cria bolhas que arrastam consigo esses óleos e gorduras, processo designado de flotação. Na superfície forma-se uma espécie de espuma, que é removida por raspadores mecânicos. No fim desta etapa, os resíduos resultantes são depositadas, regra geral, em aterros sanitários (Moreira, 2012; Gray, 2004; LENA Ambiente, 2012).

### II.3.1.2 - Tratamento Primário

Apesar da água ser submetida a um pré-tratamento, alguns poluentes orgânicos (bactérias, agentes patogénicos e microorganismos) e inorgânicos (por exemplo, metais como cobre, selénio, mercúrio) não ficam retidos nessa fase, sendo necessário um **tratamento primário**. Este tipo de tratamento separa os poluentes da água por um processo de **decantação primária**, também designado de sedimentação, ou seja, por ação da gravidade os materiais vão depositando por ordem de densidade (mais pesado para o menos pesado) (Moreira, 2012; Simtejo, 2010). Este processo físico é facilitado pela adição de substâncias químicas denominadas de coagulantes. Estas substâncias, sob a forma de soluções, pós ou grânulos, emulsões de óleo ou à base de água, vão estabelecer ligações químicas com os poluentes por um processo denominado de adsorção (ligação de uma superfície a outra), tal como mostra a figura 10 B, permitindo a coagulação da matéria poluente através da formação de flocos, representado na figura 10 com a letra D, num processo denominado de floculação. Como os flocos são mais densos irão afundar (Beddow & Cruden, 2015). Os depósitos resultantes deste processo ganham a designação de lamas primárias (Simtejo, 2010).

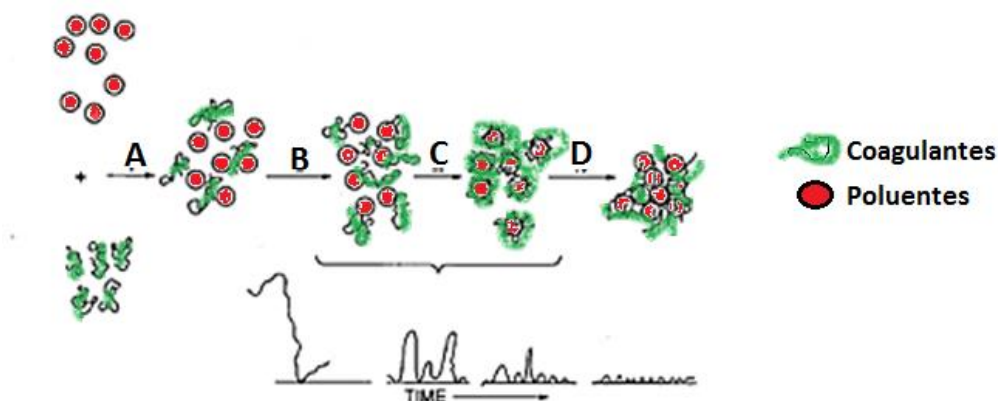


Fig. 10- Processo de floculação. A- poluentes e coagulantes dispersos começam a juntar-se. B- Adsorção. C- Estabilização das ligações químicas. D- Formação do flocos.

(Adaptado de Beddow & Cruden, 2015).

### II.3.1.3 - Tratamento Secundário ou Tratamento Biológico

Regra geral, após o tratamento primário, a água residual ainda contém uma grande carga de poluentes orgânicos e alguns inorgânicos de pequenas dimensões, os denominados coloides, não estando a água em condições de ser devolvida ao meio ambiente. Sendo assim, a água residual necessita de sofrer um tratamento secundário e complementar aos processos físico-químicos anteriores. Este consiste num tratamento biológico realizado por diversos microorganismos, geralmente, em condições aeróbias. Existem três formas possíveis para este processo: as lamas ativadas, que correspondem a biomassa (microorganismos) suspensa, os leitos percoladores onde a biomassa se encontra fixa e, por fim, os sistemas de lagunagem, que correspondem a sistemas aquáticos por biomassa suspensa (Moreira, 2012; Gray, 2004; LENA Ambiente, 2012). Pode também recorrer-se às Fito-ETAR's que serão abordadas mais à frente.

#### II.3.1.3.1 - Lamas ativadas

O tratamento feito à base de **lamas ativadas** é um tratamento aeróbio das águas residuais domésticas e industriais que se caracteriza por um contacto entre a matéria orgânica da água residual e microrganismos aeróbios (Sperling, 2007; Barroso, 2012). O processo consiste em manter num reator artificialmente arejado, denominado de tanque de arejamento, uma elevada concentração de uma cultura mista de microrganismos, que podem ser bactérias, protozoários, metazoários e fungos. À junção dos microrganismos (vivos e mortos) e da água residual, com o material coloidal e suspenso, biodegradável e não biodegradável presente no reator arejado, dá-se o nome de licor misto ou lamas ativadas (Gray, 2004; EPA, 1997; Barroso, 2012).

Uma vez que se trata de um sistema aeróbio, é necessário que as condições de aeração sejam mantidas, permitindo a entrada constante de oxigénio no(s) tanque(s) de arejamento. Tal feito é conseguido por diferentes tipos de mecanismos, como ilustra a figura 11, além de que um movimento constante das águas residuais permite que os poluentes se mantenham em suspensão para serem degradados pelos microrganismos e que as lamas ativadas se mantenham na superfície (EPA, 1997).

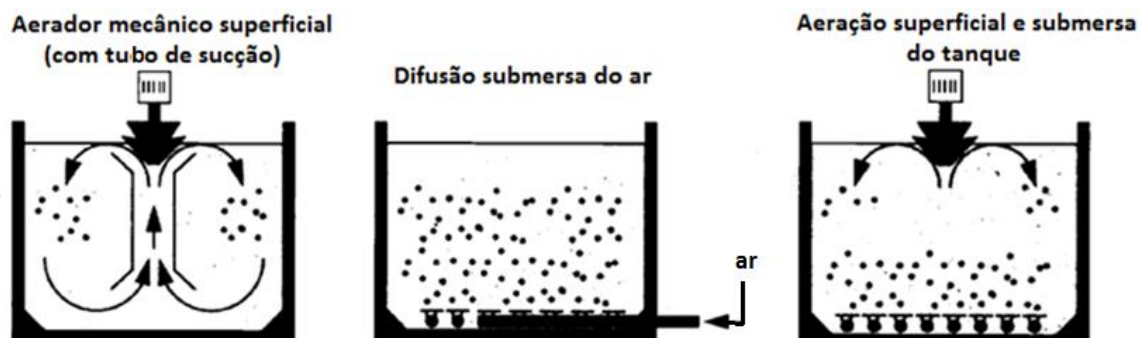


Fig. 11- Sistemas mecânicos de aeração do tanque biológico. A imagem da esquerda representa uma entrada do ar de superfície, a imagem do centro evidencia a entrada do ar no fundo do tanque e posterior difusão na coluna de água e por fim a imagem da direita pretende representar a combinação dos dois sistemas anteriores.

(Adaptado de EPA, 1997, p.25).

Mantidas as condições referidas, as bactérias iniciam o processo de tratamento da água. Estas pertencem ao Reino Monera, são seres unicelulares e não possuem um núcleo individualizado, sendo por isso consideradas procariontes. Podem apresentar diferentes formatos e reproduzem-se de forma assexuada por um processo denominado de fissão binária, em que uma célula dá origem a uma célula filha exatamente igual a si. O crescimento das bactérias, ou seja, a quantidade de vezes que estas se multiplicam, é influenciado pela temperatura, concentração e disponibilidade de nutrientes essenciais (por exemplo, azoto, fósforo), disponibilidade de oxigénio e ainda da quantidade de poluentes (EPA, 1997; Clitheroe *et al.*, 2010; Barroso, 2012; Rogers, 2011; Hayes, 1995).

As bactérias podem degradar a matéria orgânica através de reações de oxidação ou de biossíntese. Nas reações de oxidação ou respiração a bactéria recorre aos compostos orgânicos da água residual e oxigénio para deste modo produzir energia que vai permitir as reações de biossíntese. Da oxidação resultam também compostos minerais que vão permanecer em solução no tanque e, posteriormente, seguirão com o efluente tratado. Por sua vez, na biossíntese ocorre a transformação da matéria orgânica solúvel e dos coloides em moléculas mais complexas que irão constituir novas células/ microrganismos que poderão posteriormente passar por um processo de decantação (EPA, 1997; Gray, 2004; Barroso, 2012). As bactérias podem ser subdivididas em diferentes grupos (aeróbias, anaeróbias e facultativas - vivem nas duas condições), mas todas elas recorrem a enzimas por elas produzidas para digerir os poluentes, tanto no seu interior como exterior, de maneira a poderem ser utilizados mais facilmente por elas. O exemplo representado na figura 12 é de uma bactéria aeróbia pois recorre a oxigénio (EPA, 1997).

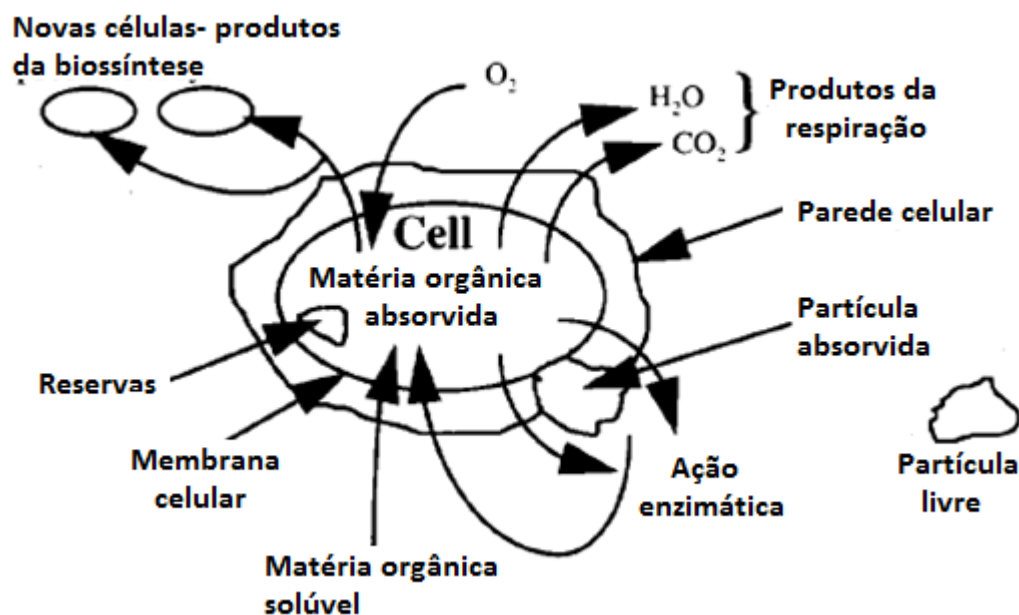


Fig. 12- Metabolismo e mecanismos de transporte das bactérias. A bactéria recorre a enzimas por ela produzidas para transformar os poluentes em substâncias solúveis e absorve-as (oxidação), ou então recorre aos poluentes como fonte de alimento para produzir energia suficiente para produzir novas células/ compostos (biossíntese).

(Adaptado de EPA, 1997, p.14).

Nas lamas ativadas existem ainda bactérias com a capacidade de realizar processos de adsorção e coagulação, sendo alguns exemplos as espécies dos géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium* e *Zooglea*. Estas são capazes de formar flocos (floculação) de biomassa, semelhantes ao da figura 13, à qual se agregam componentes inorgânicos (como, por exemplo, o azoto e o fósforo) e substâncias não biodegradáveis tais como substâncias sintéticas, sais metálicos e substâncias radioativas (Lactema, s.d.; Gray, 2004).

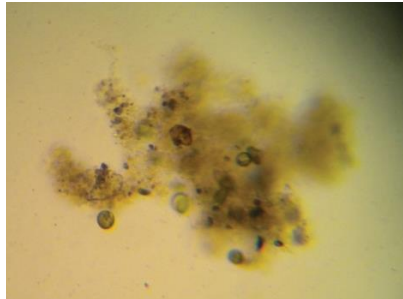


Fig. 13- Floco biológico.  
 (Extraído de Taneco, 2012, p.19).

Numa fase inicial, as bactérias encontram-se livres e dispersas ou em pequenas quantidades de flocos, pelo que são poucas as lamas formadas. No entanto, à medida que o fluxo de afluentes aumenta, estas vão envelhecendo (maturando), e as bactérias vão criando aglomerados (os flocos), os quais ficam cada vez mais densos, facilitando a sua sedimentação no tanque de **decantação secundária** ou no próprio tanque de arejamento, se este estiver preparado para tal. Além disso, algumas bactérias do filo *Bacteroidetes* têm a capacidade de formar uma matriz filamentosa e gelatinosa, onde se aglutinam todos os microrganismos presentes no tanque, facilitando a formação dos flocos de maiores dimensões e sua fácil deposição (Sperling, 2007; Barroso, 2012).

Parte dos sólidos poluentes incorporados em flocos de pequenas dimensões não são de fácil deposição no fundo do tanque de decantação devido à sua baixa densidade. Por conseguinte, esses sólidos são novamente inseridos no tanque de arejamento para serem de novo tratados. Juntamente com esses sólidos vão também obrigatoriamente alguns microrganismos aglomerados, fundamentais para realimentar o processo de criação de lamas ativadas e, conseqüentemente, a despoluição da água. Os restantes poluentes que ficam no fundo do tanque são depois sujeitos a outros tratamentos e adquirem o nome de lamas secundárias (EPA, 1997; Gray, 2004; Sperling, 2007; Simtejo, 2010). Todo este processo encontra-se representado de forma resumida na figura 14.

Torna-se assim claro que os flocos são a unidade fundamental deste tipo de tratamento, uma vez que são estes que permitem a remoção final dos poluentes orgânicos e inorgânicos. Em muitas situações, a massa de água que passa por este tipo de tratamento já se encontra

límpida e cumpre os requisitos mínimos para ser considerada água potável, podendo ser devolvida à natureza. No entanto, outras vezes isso não se verifica, sendo a água encaminhada para outra fase de tratamento (Moreira, 2012; Simtejo, 2010).

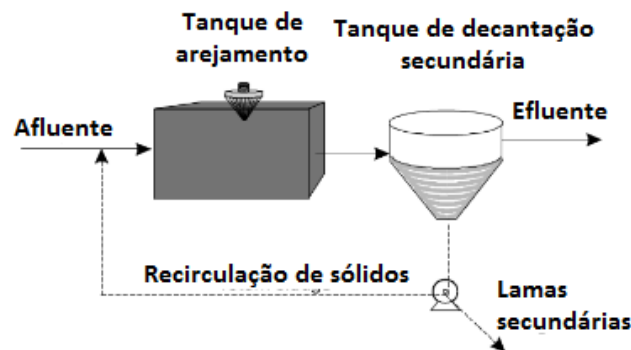


Fig. 14- Constituintes básicos de um sistema de tratamento biológico por lamas ativadas. (Adaptado de Sperling, 2007, p.2).

Este tipo de sistemas possui, para além de microorganismos, seres vivos de maiores dimensões que se alimentam de organismos mais pequenos, acabando por se criar um ecossistema no tanque de arejamento com diferentes níveis tróficos, como se pode observar na figura 15.

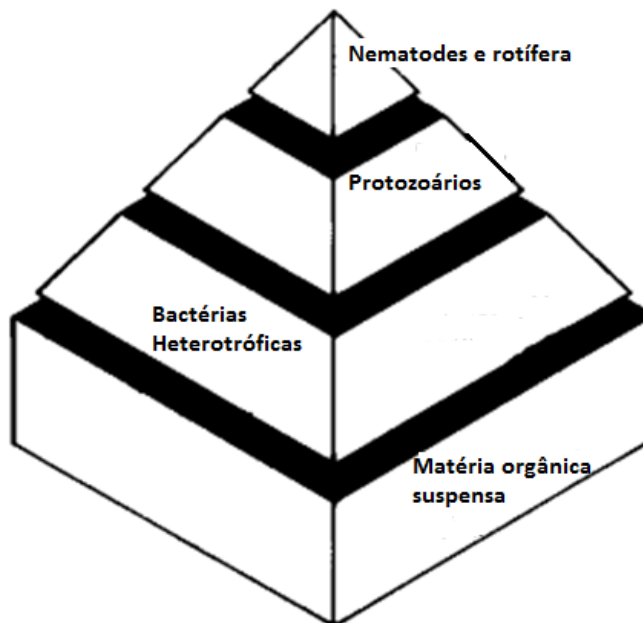


Fig. 15- Pirâmide alimentar que se estabelece nas lamas ativadas. As bactérias encontram-se em quantidades superiores que os protozoários e nematodes e rotíferas. (Adaptado de Gray, 2004, p.175).

Dentro desse ecossistema, as bactérias são as formas de vida mais simples e encontram-se na base da teia alimentar (EPA, 1997; Gray, 2004). Além disso, como já referido, estas apresentam diferentes características. As bactérias autotróficas obtêm o carbono através do CO<sub>2</sub> para formar os seus constituintes. Já as bactérias heterotróficas obtêm esse carbono decompondo a matéria orgânica como, por exemplo, carboidratos, gorduras e proteínas. Por sua vez, as bactérias nitrificantes vão decompor o amoníaco (composto azotado) que foi

produzido durante a desagregação de proteínas e transformá-lo em nitritos e nitratos que, posteriormente, serão libertados para a atmosfera sob a forma de azoto gasoso por ação das bactérias heterotróficas desnitrificantes. As bactérias anaeróbias são utilizadas quando se pretende evitar odores provenientes dos tanques de tratamento com o recurso a lamas ativadas (EPA, 1997).

Uma vez descrito o papel das bactérias (os decompositores) no tratamento das águas residuais, torna-se relevante perceber de que forma é que os restantes microrganismos (consumidores) contribuem para o tratamento biológico da água.

Os consumidores são os predadores das bactérias, controlando assim a taxa de desenvolvimento das mesmas, e decompõem as partículas sólidas que não foram degradadas pelas bactérias. Dentro dos consumidores existem os protozoários (flagelados, ciliados e rizópodes) e metazoários (nematodes e rotíferas) e a sua presença é um excelente indicador da qualidade do tratamento biológico (EPA, 1997; Barroso, 2012; Nicolau *et al.*, 1997). Os protozoários pertencem ao reino Protista, são seres unicelulares eucariontes (com núcleo individualizado) geralmente heterotróficos, alimentam-se por ingestão (fagocitose) e realizam a digestão intracelular (Clitheroe *et al.*, 2010). Estes podem ser divididos em 4 categorias de acordo com o tipo de estruturas de locomoção (figura 16) (Perrone, 2013). Assim existem:

- Esporozoários - sem locomoção;
- Flagelados - movem-se através de um ou mais flagelos. Simultaneamente, o flagelo aprisiona alimento na sua superfície. Os flagelados alimentam-se da matéria orgânica dissolvendo-a, mas as bactérias presentes no tanque constituem o seu principal alimento. Dentro dos flagelados encontrados fazem parte a *Euglena* (Seviour & Nielsen, 2010).
- Rizópodes - possuem pseudópodes para se movimentarem, mas que simultaneamente são utilizados na obtenção de alimento. Dentro destes fazem parte a ameba.
- Ciliados - que se deslocam através de cílios. Os cílios (espécie de pêlos) têm ainda a capacidade de capturar as bactérias e transportá-las para a boca do ciliado (Seviour & Nielsen, 2010).



Fig. 16- Diferentes tipos de protozoários.  
 (Extraído de Perrone, 2013, p.33).

No entanto, estudos feitos em diversas ETAR's revelaram a presença de apenas flagelados, ciliados e rizópodes nas lamas ativadas, sendo que os ciliados encontram-se em maior número, seguidos dos flagelados e por fim os rizópodes.

Os nematodes são seres vivos com corpo cilíndrico de aspeto vermiforme, apresentam simetria bilateral, uma faringe trirradiada, e não apresentam órgãos circulatórios ou respiratórios. Surgem numa fase em que as lamas ativadas já existem há bastante tempo e há presença de muitos microrganismos inferiores (EPA, 1997; Ax, 1995; Bird & Bird, 1991). Os rotífera são animais microscópicos de água doce e alimentam-se de detritos e de bactérias em suspensão (Gerlach, 2011).

### II.3.1.3.2 - Leitos percoladores ou leitos filtrantes

O tratamento por lamas ativadas é um sistema amplamente utilizado, contudo, existem outras formas biológicas de tratamento, com resultados igualmente positivos, como é o caso dos sistemas que recorrem ao **biofilme**, em concreto os **leitos percoladores/ filtrantes**. Ao contrário dos sistemas de lamas ativadas, em que os microrganismos surgem suspensos no tanque de arejamento, nos leitos filtrantes estes surgem fixados a um substrato sólido e inerte, que lhes forneça nutrientes suficientes, formando assim o denominado biofilme. Nestes sistemas o tratamento da água residual é conseguido pela passagem da mesma num meio onde esse biofilme se encontra fixado (Grady *et al.*, 2011).

O meio adquire a designação de filtrante pois retém alguns sólidos pequenos, mas maioritariamente porque possui espaços e câmaras que permitem a passagem de ar e da água residual. A água residual entra no meio através de um distribuidor que regula a que velocidade e quantidades esta entra. Os distribuidores, em meios filtrantes cilíndricos, são, regra geral, constituídos por dois a quatro braços perfurados que libertam jatos de água residual, tal como demonstra a figura 17. Esses braços descrevem movimentos rotativos, o que permite uma distribuição mais homogênea da água (EPA, 1997; Gray, 2004).

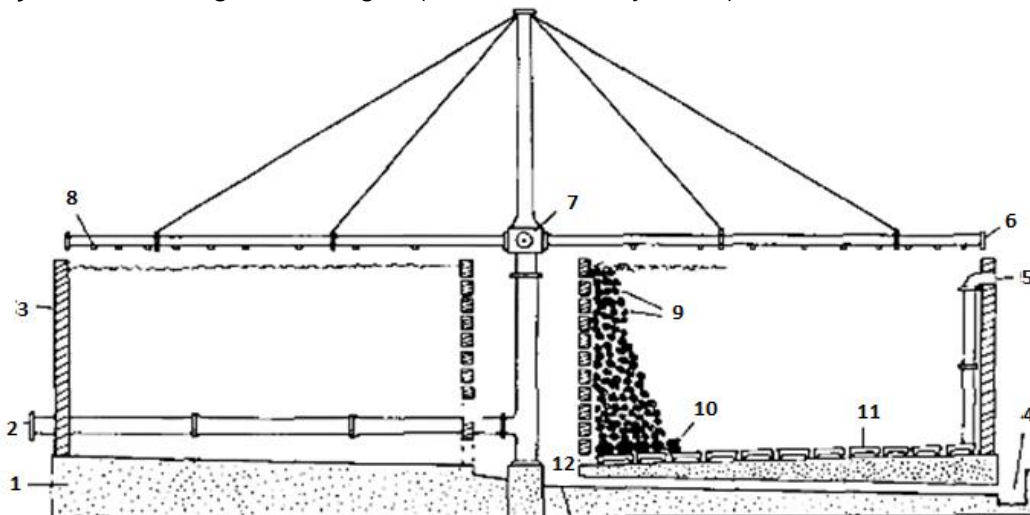


Fig. 17- Estrutura de um leito percolador de formato cilíndrico. 1- Fundação, 2- Entrada de água residual, 3- Parede, 4- Saída da água tratada, 5- Sistema de ventilação, 6- Braço do distribuidor, 7- Estrutura que permite o movimento rotacional dos braços do distribuidor, 8- Perfuração no braço do distribuidor por onde sai a água, 9- Camada superior do meio, 10- Camada inferior (base) do meio, 11- Plataforma de drenagem da água, 12- Plataforma central de recolha de água tratada.

(Adaptado de Gray, 2004, p.327).

Os leitos percoladores não necessitam de constante manutenção, acarretam custos energéticos mais baixos e os microrganismos neles presentes são mais resistentes a variações de fluxo e alterações ao nível do tipo de poluentes que recebem. Os mesmos são igualmente resistentes a resíduos industriais tóxicos como, por exemplo, metais pesados, cianetos, formaldeídos, entre outros (Gray, 2004).

Relativamente ao meio, antigamente, este era constituído por material rochoso, tal como granito, cascalho e calcário, sendo que o granito era o mais utilizado por ser mais resistente. Atualmente, grande parte dos leitos filtrantes é formada por meios plastificados, tais como Polivinilo de cloreto (PVC) e Polietileno Tereftalato (PET). (EPA, 1997; Gray, 2004; Dezotti, 2008).

O movimento da água residual e do oxigénio através do biofilme é feito por dois mecanismos, por difusão e por advecção, representadas na figura 18.

A difusão ocorre quando existem diferenças de gradientes de concentração entre o biofilme e os afluentes. Ou seja, se o biofilme possuir uma baixa quantidade de oxigénio e poluentes em relação à coluna de água, esses mesmos poluentes e oxigénio vão entrar e difundir-se mais facilmente no biofilme. A advecção consiste no movimento da água residual e do oxigénio através de canais que a própria estrutura do biofilme possui (EPA, 1997).

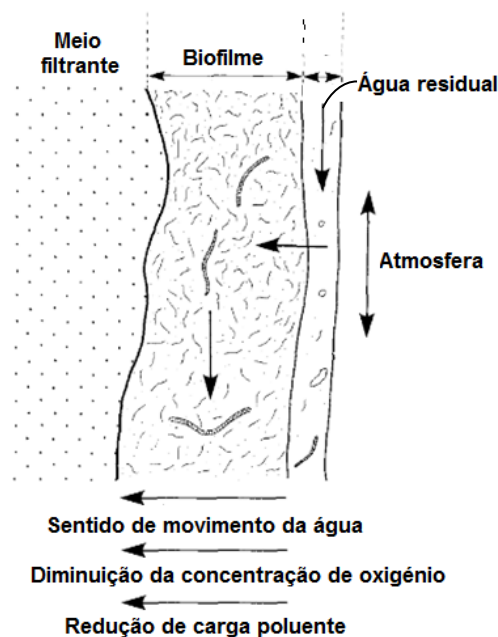


Fig. 18- Mecanismo de transporte de oxigénio e carga poluente ao longo do biofilme.

(Adaptado de Gray, 2004, p.350).

Tal como ocorre nos sistemas de lamas ativadas, as bactérias presentes nos leitos percoladores vão digerindo a matéria orgânica e os colóides, por oxidação ou biossíntese. Adicionalmente, algumas bactérias e fungos vão produzindo polímeros extracelulares, por ação

das suas enzimas, que permitem a formação de flocos com as substâncias poluentes e que, por sua vez, vão ficar presos ao biofilme por adsorção (Gray, 2004)

Nestes sistemas a parte superior do biofilme, que contacta mais facilmente com a atmosfera, é responsável pelas reações de oxidação da matéria orgânica. As bactérias aeróbias decompõem os compostos azotados (matéria orgânica) através da nitrificação, dando origem aos nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Nas camadas mais inferiores onde, regra geral, não há presença de oxigénio livre ( $\text{O}_2$ ), as bactérias desnitrificantes vão decompor esses nitritos e nitratos permitindo a libertação de azoto (N) sob a forma de gás ( $\text{N}_2$ ) para a atmosfera. Contudo, a libertação excessiva deste gás pode levar à destruição do biofilme (EPA, 1997; Gray, 2004).

Uma vez feito o tratamento é necessário remover os produtos sólidos (“Lodo”) resultantes da atividade dos microrganismos da massa de água para que esta fique limpa. Essa remoção ocorre quando o biofilme já possui uma camada espessa de produtos sólidos e é feita com base em duas situações (EPA, 1997):

- Erosão - quando o líquido passa pelo meio filtrante pequenas partes de biofilme sofrem erosão e são levadas com este,
- Descamação - em condições anaeróbias e anóxicas ocorre a produção de gases que reduzem a capacidade do biofilme se aderir ao meio, causando a sua descamação.

Ao segundo tanque de sedimentação (decantação secundária) chegam os sólidos que se encontravam em flocos, porções de biofilme que se desprenderam do meio, partes de microrganismos mortos, pedaços de organismos superiores que habitam no meio e produtos da sua atividade (fezes). Posteriormente, esses sólidos que adquirem a designação de “húmus”, por terem um aspeto semelhante a este, depositam-se no fundo do tanque de sedimentação, que possui o nome de tanque de “húmus”. Esses produtos finais adquirem o nome de lamas secundárias.

O resto de efluente (parte líquida) pode ser devolvido ao meio ambiente ou seguir para tratamento terciário (Mara, 2004).

Tal como nos sistemas de lamas ativadas, nos leitos percoladores estabelece-se um ecossistema com diversos níveis tróficos. No primeiro nível encontram-se as bactérias heterotróficas aeróbias e fungos, existindo em maior número (figura 19 a).

No nível trófico seguinte surgem os protozoários (ciliados, flagelados e rizópodes) que vão se alimentar de matéria orgânica e de todas as bactérias livres, controlando assim o número de bactérias presente na água e simultaneamente ajudando a clarificar o fluxo (figura 19 b). De seguida, surgem formas de vida superiores que também habitam o local, tais como, rotíferos e nematodes (figura 19 c), sendo que estes últimos têm a função de controlar o

crescimento de coliformes e bactérias patogénicas por predação. Num outro nível surgem vermes, larvas de mosquitos, moscas e outros insetos (figura 19 d). A teia alimentar termina com a presença de aves (figura 19 e) que consomem os insetos e vermes perto da superfície do um leito percolador. Os animais superiores, ao alimentarem-se do biofilme e de outros seres vivos pequenos, diminuem a produção de lamas secundárias e facilitam a sedimentação dos produtos finais (“lodo”) (Quinteiro, 2012; Gray, 2004).

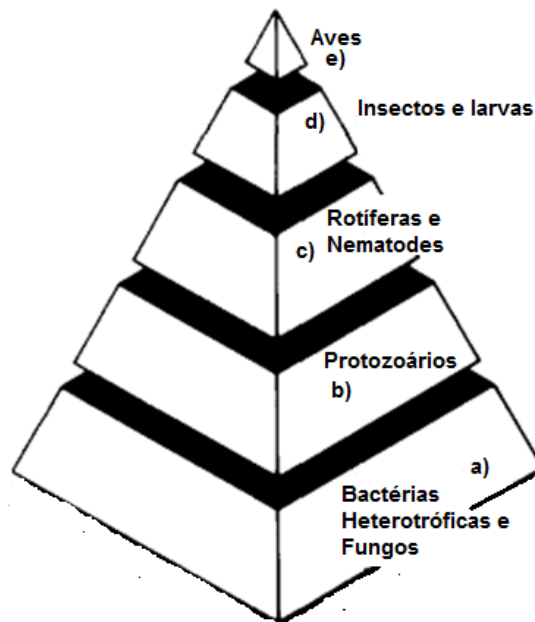


Fig. 19- Pirâmide alimentar existente num leito filtrante.  
 (Adaptado de Gray, 2004, p.175).

### II.3.1.3.3 - Lagunagem

Para além de todos os sistemas referidos anteriormente, ainda existe o tratamento biológico por lagunagem. O sistema de tratamento de água residual por lagunagem consiste num tratamento feito em lagoas e é um dos sistemas mais antigos. As lagoas são depressões cavadas num terreno amplo e encontram-se rodeadas por paredes inclinadas, como se pode ver no esquema da figura 20.

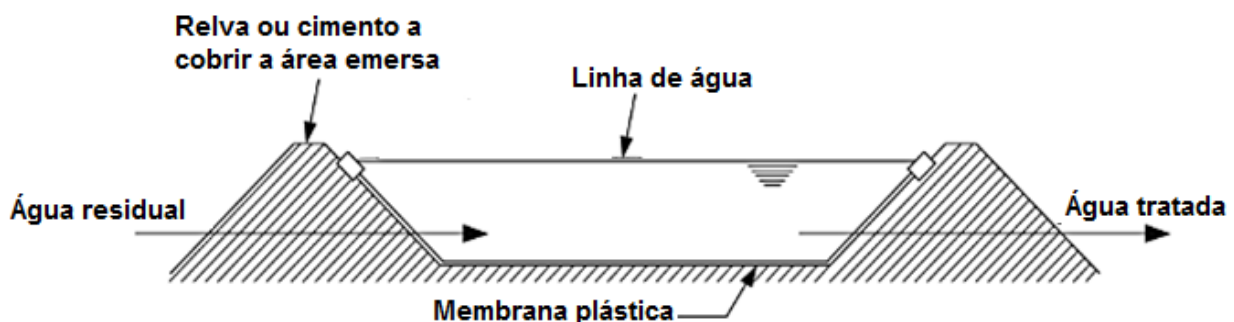


Fig. 20- Sistema de lagunagem. As margens acima da linha de água encontram-se geralmente cobertas por relva ou cimento. O afluente entra numa das extremidades e o efluente sai numa extremidade oposta.

(Adaptado de Grady *et al.*, 2011, p.618).

Estas lagoas encontram-se forradas por materiais naturais como, por exemplo, argilas (bentonite), membranas sintéticas ou cimento, de forma a impedir que a água residual se infiltre na base da lagoa e contamine as águas subterrâneas.

Na maioria dos casos, este tipo de tratamento não recorre a nenhum sistema mecanizado, sendo que todo o processo é feito de forma natural, estando os fatores físicos, químicos e biológicos do tratamento dependentes das condições ambientais do local onde estão inseridos. Por esse mesmo motivo, este sistema é o menos utilizado, pois a qualidade e eficiência do tratamento pode ser comprometida (Grady *et al.*, 2011; National Small Flows Clearinghouse, 1997).

### II.3.1.4 - Tratamento Terciário ou Desinfecção

Regra geral, depois do tratamento biológico as águas residuais ainda contêm alguns produtos suspensos resultantes desse tratamento, microrganismos (bactérias e patogénicos), ou nutrientes como o azoto e fósforo (responsáveis pela eutrofização da água) (Gray, 2004).

Por este motivo, a água tem de sofrer um novo tratamento denominado de **tratamento terciário ou desinfecção**. Esse tratamento pode ser feito recorrendo a três compostos distintos (Forster, 2003):

- Cloro;
- Ozono;
- Radiação Ultravioleta (UV).

O tratamento feito à base de **cloro** e seus derivados é o mais conhecido e amplamente utilizado. Esta substância provoca inúmeras alterações nas células permitindo a destruição dos microrganismos. Essas alterações são (Spellman, 2014):

- Destruição da parede celular;
- Alteração da permeabilidade da parede celular (capacidade de permitir a entrada e saída de água);
- Alteração do protoplasma da célula;
- Inibição da produção de enzimas, deixando assim a célula de conseguir obter alimento para produzir energia;
- Inibição da reprodução da célula.

O cloro é bastante eficaz a eliminar bactérias patogénicas, no entanto, tem uma ação limitada em certos vírus e protozoários (Marya, 2011). Além disso, em quantidades exageradas pode deixar sabor e cheiro na água ou quando combinado com outras substâncias torna-se tóxico e não biodegradável. É, assim, evidente que a desinfecção feita recorrendo ao cloro pode causar problemas para o ambiente e para a saúde pública (Nebel & Wright, 1993; Marya, 2011).

O **ozono** é uma alternativa ao uso do cloro, por ser um potente oxidante e, ao contrário deste, conseguir eliminar tanto protozoários como bactérias patogénicas (Marya, 2011). O processo de obtenção do ozono tem de ser feito em ambiente isolado e no local do tratamento, o que acarreta custos elevados, no entanto, o tratamento à base de ozono é mais eficaz e a produção de produtos perigosos resultantes desta atividade é bastante menor em relação à utilização do cloro. Contudo, podem-se formar substâncias cancerígenas podendo estas causar graves problemas para o ambiente e saúde pública (Forster, 2003; Pizzy, 2010; Nebel & Wright, 1993; Spellman, 2014).

Por último, existe o tratamento da água residual através de **radiação ultravioleta (UV)**. A radiação ultra-violeta é bastante eficaz na eliminação de vírus, bactérias patogénicas e protozoários, uma vez que consegue provocar alterações no material genético destes, levando à sua morte (Spellman, 2014; Marya, 2011). O sistema consiste em lâmpadas de mercúrio (dentro de tubos de quartzo se estiverem submersas), que libertam a radiação para a água em períodos curtos de tempo (Forster, 2003).

Estes sistemas são mais vantajosos que os anteriores pois são bastante mais eficazes a remover microrganismos e nutrientes, não produzem substâncias perigosas para o homem e para a vida aquática e o tratamento é realizado em pouco tempo (de segundos a minutos). Contudo, são bastantes dispendiosos e requerem uma manutenção constante (Spellman, 2014).

#### II.3.1.4.1 - Tratamento de lamas

A água depois de passar por todas estas fases de tratamento é devolvida à natureza em condições ambientalmente seguras, podendo ser usada na agricultura, na rega de campos de golfe, na rega de espaços verdes, na indústria, entre outras utilizações possíveis. No entanto, de todo este processo resultam ainda as **lamas primárias e secundárias**, que são igualmente resíduos, sendo necessário conhecer qual o seu destino e, se possível, valorizá-las de alguma forma (LENA Ambiente, 2012; Simtejo, 2010). Assim, as lamas passam por um tratamento obrigatório de três fases: **espessamento, estabilização e desidratação** (Barbosa, 2008; Moura, 2012).

No **espessamento** ocorre a compactação das lamas e consequente perda de água, permitindo que estas ocupem menos espaço. Os sólidos vão-se separando da água por ação gravítica, ou seja, vão depositando no tanque, ou ocorre a injeção de ar no meio, criando bolhas que arrastam consigo os sólidos até à superfície, sendo removidos depois por raspadores. Segue-se a **estabilização**, cujos objetivos são reduzir os organismos patogénicos, eliminar odores e controlar a potencial putrefação da matéria orgânica. Posteriormente, ocorre a **desidratação**, onde se dá a redução do teor de humidade das lamas e, consequentemente,

do seu volume. Deste modo, os custos para o armazenamento e transporte das mesmas reduzem. O processo pode ser natural, ocorrendo a evaporação da água, ou mecânico, recorrendo a equipamentos que aceleram esse processo. Depois deste processo decide-se se as lamas desidratadas seguem para aterro sanitário, para a agricultura, servindo como fertilizante, pois possuem nutrientes essenciais como azoto (N), fósforo (P) e potássio (K), ou, se apresentarem um bom potencial energético, são incineradas (queimadas) sendo aproveitada a energia gerada pelo calor.

Conclui-se assim que o tratamento de águas em ETAR processa-se, normalmente, segundo a ordem que se encontra representada na figura 21.

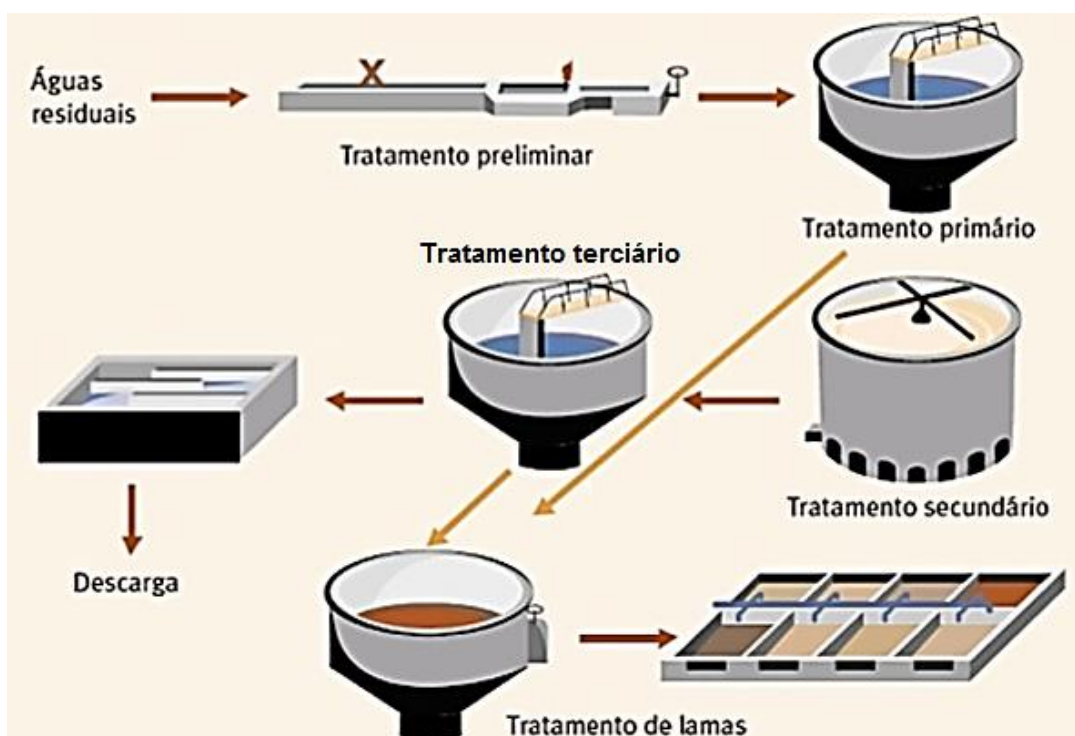


Fig. 21- Esquema do funcionamento de uma ETAR.  
 (Extraído de Gavinhos, 2013).

### II.3.2 - Estação de tratamento de Águas Residuais com o recurso à fitorremediação (Fito - ETAR)

Como se tem vindo a referir, a contaminação das águas por diversos poluentes (compostos orgânicos, inorgânicos e metais pesados), provenientes das atividades antrópicas, é um tópico que tem merecido atenção pelo homem. Como tal, este tenta solucionar o problema sempre que possível recorrendo aos meios que a natureza põe ao seu dispor. Por outras palavras, o ser humano tem recorrido, por exemplo, a seres vegetais para resolver certos casos de poluição dos recursos hídricos. Esta técnica, denominada de fitorremediação, passa pela utilização de plantas para a extração/amenização do(s) composto(s) poluente(s) e

remediação da área contaminada (Vasconcellos *et al.*, 2012; Procópio *et al.*, 2008; Khan *et al.*, 2009).

Os sistemas convencionais de tratamento de águas residuais permitem tratar caudais muito elevados em pequenos espaços mas, em contrapartida, são de custo elevado e exigem grande regularidade no caudal e na carga poluente dos efluentes. Por esse motivo, este tipo de sistemas são indicados para grandes aglomerados populacionais que possam proporcionar efluentes regulares e sejam capazes de pagar os encargos a que este tipo de sistemas obriga (Martinez, 1993).

Assim, para zonas de pequena dimensão como, por exemplo, zonas rurais ou pequenas áreas contaminadas, a fitorremediação, embora seja ainda um conceito novo e que necessita de mais estudos, tem dado respostas positivas na descontaminação da água. Trata-se de uma tecnologia promissora, uma vez que a sua criação é um processo simples e tem uma boa integração paisagista. Além disso, revela elevados níveis de sustentabilidade, uma vez que o consumo de energia e de reagentes químicos é reduzido, ou seja, os custos de operação destas estruturas são baixos. Como a manutenção é feita no próprio local e não exige uma verificação permanente, sendo feita apenas periodicamente, os encargos monetários relativos a esta são mínimos (Saraiva, 2001; Kadlec & Wallace, 2009).

Os sistemas de tratamento de águas que recorrem à fitorremediação são denominados de Fito-ETAR's, sendo também conhecidos como zonas húmidas artificiais ou, em Portugal, por leitos de macrófitas. Estas podem ser utilizadas isoladamente ou como auxiliares do tratamento biológico feito em ETAR's.

As Fito-ETAR's recorrem a plantas macrófitas, que são seres vegetais, visíveis a olho nu, com partes fotossinteticamente ativas, que se encontram em zonas húmidas e, têm grande produtividade biológica e grande capacidade para processar nutrientes (por exemplo fósforo e azoto) e outras substâncias (Saraiva, 2001; Kadlec *et al.*, 2006). Este tipo de infraestruturas pretende mimetizar os processos de degradação de poluentes que ocorrem em zonas húmidas naturais. Posto isto, são sistemas normalmente constituídos por uma ou mais bacias, escavadas no solo, e são construídos em locais cujo solo pode-se encontrar permanentemente coberto por água ou saturado, ou em zonas que vivenciam as duas condições ao longo do tempo.

Para que uma Fito-ETAR consiga reproduzir os fenómenos naturais que ocorrem numa zona húmida natural, bem como ter um papel eficiente no tratamento das águas residuais, é necessário que a sua construção obedeça aos seguintes critérios e pela seguinte ordem, como mostra a figura 22 (Kadlec *et al.*, 2006):

- Material impermeável – por exemplo, lona impermeável, para uma impermeabilização do local, evitando a contaminação da água subterrânea e área envolvente em locais

cujo solo é bastante permeável (Bastian *et al.*, 2000). Caso contrário, é necessário um solo subjacente inalterado, situado abaixo da zona ativa das raízes das macrófitas, que pode ser orgânico ou mineral. Esta camada de solo, por norma, argilosa, encontra-se saturada de água mas é simultaneamente impermeável (Saraiva, 2001).

- Solo hídrico (ou hidromórfico - Maltby & Barker, 2009) – camada de solo orgânica ou mineral, pertencente ao leito de macrófitas, que se encontra frequentemente saturado com água, onde se encontram normalmente raízes, rizomas, tubérculos e ligações com a superfície através de túneis e covas. Este solo tem associado a si bactérias que removem nutrientes como, por exemplo, ferro e o azoto, provenientes dos pesticidas;
- Detritos – acumulação de matéria orgânica viva e morta no leito, da qual fazem parte algas e plantas emergentes mortas, ou parte delas, animais, por norma invertebrados, vivos ou mortos e microorganismos (bactérias e fungos);
- Coluna de água – água imóvel que proporciona habitat para seres vivos aquáticos, tais como peixes, algas, plantas flutuantes e submersas e microorganismos;
- Vegetação – plantas hidrófitas vasculares com raízes que estão fisiologicamente ligadas à água, em parte do seu ciclo de vida, ou por existirem em ambientes húmidos ou encharcados e que toleram a submersão em períodos mais ou menos longos. Dentro delas estão incluídas macroalgas, herbáceas e plantas lenhosas. (Oliveira, 2008).

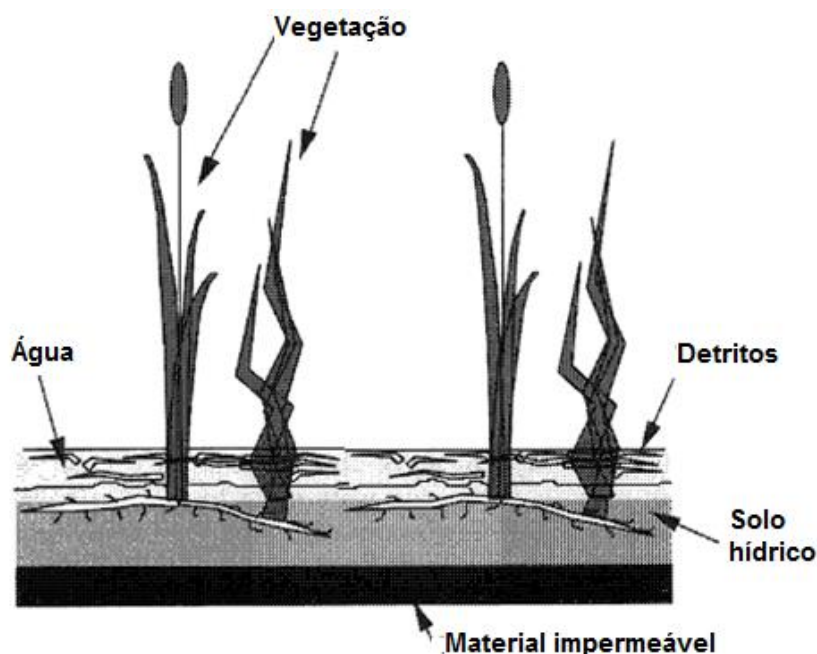


Fig. 22- Componentes básicos de uma Fito-ETAR.  
 (Adaptado de Kadlec *et al.*, 2006, p.2).

### II.3.2.1 - Tipos de Fito-ETAR's

Apesar da construção de uma Fito-ETAR ou leito de macrófitas obedecer, regra geral, ao referido anteriormente, a estrutura das mesmas pode variar dependendo da funcionalidade que se pretende para determinado local.

Segundo Vymazel (2010), os leitos de macrófitas devem ser classificados quanto ao tipo de vegetação e, posteriormente, quanto ao tipo de enchimento dos mesmos e quanto à direção do escoamento (fluxo). De forma a clarificar o referido, elaborou-se um esquema que se encontra na figura 23 e cada uma das suas partes será referida e explicada abaixo do mesmo.

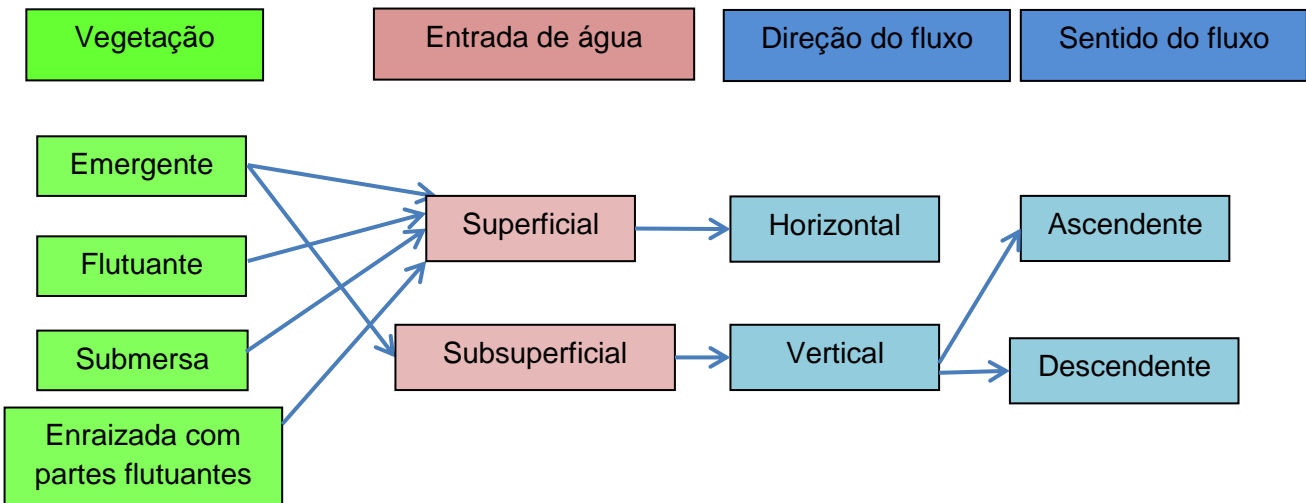


Fig. 23- Características dos vários tipos de leitos de macrófitas.  
 (Adaptado de Vymazel, 2010, p.2).

Relativamente ao tipo de vegetação dos leitos de macrófitas (LM), que se encontra representada na figura 24, os mesmos podem ser classificados como LM emergentes, LM flutuantes ou LM submersas (Oliveira, 2008; Moura, 2013).

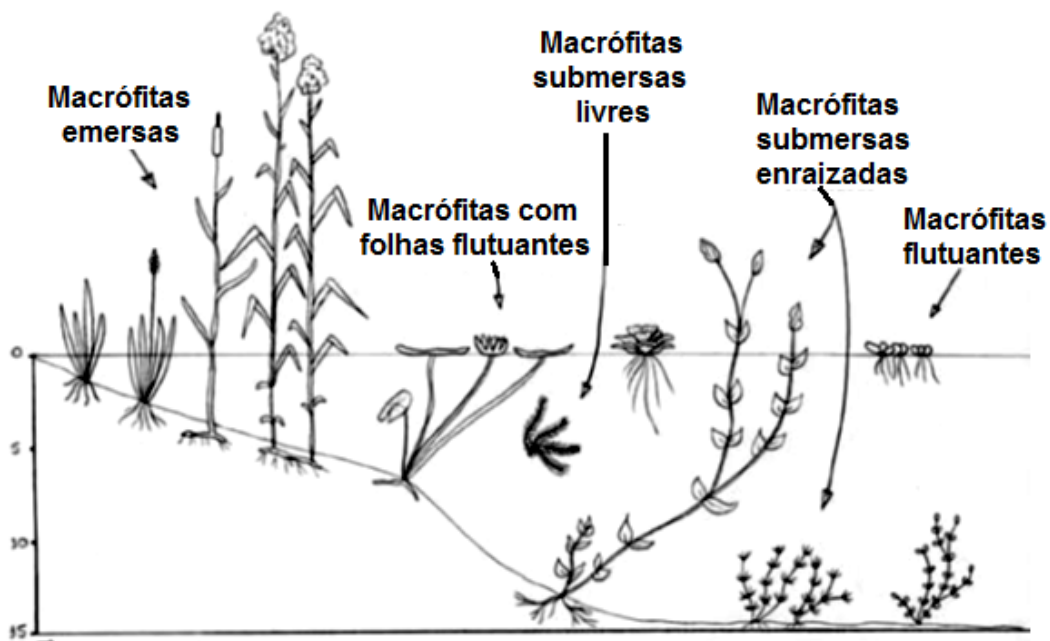


Fig. 24- Diferentes tipos de macrófitas presentes em Fito-ETAR  
 (Adaptado de Moura, 2013, p.17).

Nos **leitos de macrófitas emergentes** as plantas apresentam raízes que se encontram presas ao solo ou substrato e têm grande parte dos caules e folhas fora de água, como é o caso dos caniços (*Phragmites australis*), os mais utilizados em Portugal, das espadanas (*Typha latifolia*), os juncos do pântano ou lírios do pântano (*Íris pseudocorus*) e o junco (*Scirpus lacustris*). Utiliza-se este tipo de vegetação para o tratamento de águas, pois o seu sistema radicular liberta oxigénio para a rizosfera, que vai sendo consumido, permitindo a ocorrência de uma mistura de diferentes ambientes (aeróbio, anaeróbio e anóxico). Tal situação permite o desenvolvimento de diferentes mecanismos de remoção da matéria orgânica, por exemplo, através da respiração das bactérias em ambiente aeróbio e/ou fermentação em ambiente anaeróbio. Permite, do mesmo modo, o crescimento de bactérias que efetuam a remoção de compostos azotados (amónio e nitritos/nitratos). As bactérias nitrificantes realizam os processos de nitrificação aeróbia que consiste na passagem de amónio a nitritos e nitratos. Posteriormente, as bactérias desnitrificantes realizam o processo de desnitrificação anóxica e/ou anaeróbia que consiste na passagem dos nitritos e nitratos a azoto atmosférico, voltando este para a atmosfera. Em zonas que apresentam altos teores de sódio (águas salobras, águas que sofreram salinização) recorre-se a plantas emergentes como, por exemplo, *Phragmites australis*. Todos estes acontecimentos tornam este tipo de LM mais eficiente. Os leitos de macrófitas emergentes são o tipo de sistemas mais utilizados em leitos de macrófitas artificiais (Oliveira, 2008; Moura, 2013).

Por sua vez, os **LM flutuantes** recorrem a plantas que flutuam à superfície da água, não estando enraizadas no leito, tendo a maior parte dos caules e folhas emersos como, por exemplo, o jacinto-aquático (*Eichhornia crassipes*), alface-da-água (*Pistia stratiotes*), as lentilhas-de-água (*Lemna* spp.) e a azola (*Azolla filiculoides*). Neste tipo de LM, como as raízes da vegetação estão cobertas com as águas residuais, é possibilitada uma maior superfície de contacto entre as raízes e os compostos poluentes, permitindo uma biorremediação da água mais eficaz. Estudos recentes demonstram que determinadas bactérias simbióticas, por exemplo, o jacinto-aquático, permitem a remoção de metais pesados, como o crómio (Cr) (Moura, 2013; Granato *et al.*, 2014).

Os **LM submersas** utilizam plantas enraizadas ao substrato ou que se encontram em suspensão na água e têm as partes vegetativas abaixo da superfície da água mas, por norma, os órgãos reprodutores estão à superfície ou acima dela. Alguns exemplos são o limo meste (*Potamogeton pectinatus*) e *Elodea canadensis* (Oliveira, 2008). Como estas espécies de macrófitas estão submersas no corpo do leito, conseguem com uma maior facilidade absorver formas inorgânicas de carbono (por exemplo, CO<sub>2</sub>), nutrientes (essencialmente N e P) e metais pesados, bem como uma libertação de O<sub>2</sub> através da fotossíntese, necessário para a remoção de matéria orgânica (Moura, 2013).

Por fim, existem também os **LM enraizadas com folhas flutuantes** que recorrem a plantas enraizadas ou ancoradas ao leito, mas que têm a maioria das folhas à superfície como, por exemplo, a pinheirinha de água (*Myriophyllum aquaticum*), e os nenúfares (*Nymphaea* sp., *Nuphar* sp.) (Oliveira, 2008).

De uma forma geral, todas estas plantas têm em comum o facto de possuírem aerênquima, que é um tipo de parênquima (tecido) condutor e aerífero, o que lhe permite um maior desenvolvimento em terrenos encharcados, sem que sofram asfixia radicular. No entanto, também conseguem sobreviver por períodos variáveis num solo livre de inundação, durante períodos de seca ou pouca carga de afluentes (Oliveira, 2008). Além disso, são de adaptação rápida e fácil manutenção, têm uma boa tolerância a águas salobras e elevado teor em azoto e uma elevada capacidade de evapotranspiração, fundamental para a libertação de água descontaminada para a atmosfera. Como já referido, as raízes das diversas espécies vegetais coabitam na matriz da Fito-ETAR com uma elevada variedade de microrganismos, que usam os diversos substratos para adquirirem carbono, nutrientes e energia para as suas atividades de crescimento e manutenção, sendo responsáveis pela degradação dos poluentes orgânicos e inorgânicos. Simultaneamente, as raízes desenvolvem-se e crescem rapidamente, já que têm ao seu dispor uma quantidade elevada de nutrientes e à medida que estes vão esgotando, estas vão crescendo em profundidade, acabando por eliminá-los, sendo por exemplo, uma boa forma de descontaminar água proveniente da eutrofização. Quando a sua utilização deixa de ser viável, a parte superior destas plantas é cortada ou são eliminadas e utilizadas na forragem de currais ou incorporadas na compostagem de detritos vegetais, de forma a evitar que os contaminantes voltem para a água. (Mendes, 2010; Oliveira, 2008).

Feita a diferenciação das Fito-ETAR's, consoante o tipo de vegetação, é importante verificar a diferença entre estas quando se considera a forma de entrada do fluxo de água. Assim, de um modo geral, existem dois tipos básicos: os **leitos de macrófitas de escoamento superficial (LM-ES)** e os **leitos de macrófitas de escoamento subsuperficial (LM-ESS)** (Kadlec *et al*, 2006).

Os LM-ES são áreas cujo escoamento de água residual é feito à superfície e essa superfície de água está em contacto com o ar, sendo por isso semelhantes a pântanos. Dada a sua semelhança com as zonas húmidas naturais, este tipo de leito de macrófitas atrai diferentes formas de vida, desde pequenos microrganismos a seres vivos de maiores dimensões, nomeadamente, pequenos insetos, moluscos, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Este tipo de leito é construído com o objetivo de tratar água residual doméstica e água residual proveniente de diferentes indústrias, como a indústria mineira, através dos sistemas de drenagem de minas. São também utilizados para o tratamento de afluentes de

origem urbana e agrícola e ainda água contaminada por produtos lixiviados (Kadlec & Wallace, 2009).

Os LM-ES podem apresentar na sua constituição todo o tipo de plantas, nomeadamente plantas emergentes (figura 25), flutuantes (figura 26) ou submersas (figura 27).

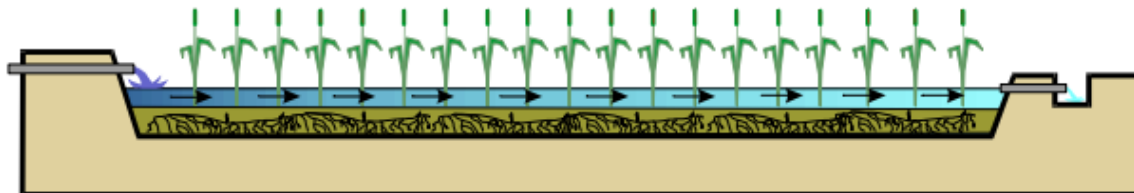


Fig. 25- Sistema de macrófitas emergentes com escoamento superficial.  
 (Extraído de Salati, 2009, p.6).

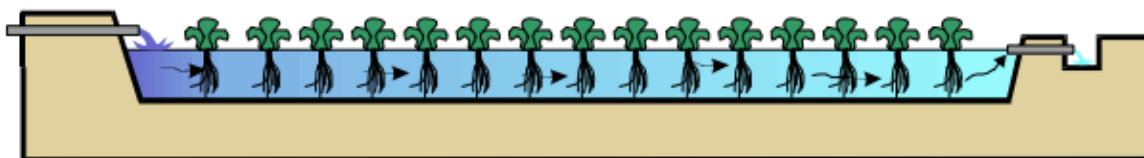


Fig. 26- Sistema de macrófitas flutuantes com escoamento superficial.  
 (Extraído de Salati, 2009, p.6).

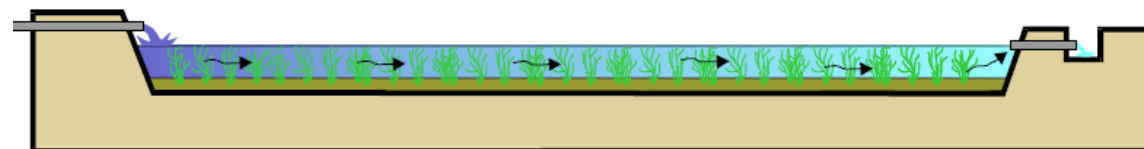


Fig. 27- Sistema de macrófitas submersas com escoamento superficial.  
 (Extraído de Salati, 2009, p.12).

Ao contrário dos leitos de macrófitas de escoamento superficial, nos LM-ESS a água residual mantém-se abaixo das macrófitas e o tipo de enchimento do leito varia, pois são adicionados sedimentos de diferentes granulometrias que permitem a fixação das raízes das plantas e uma dispersão do oxigénio de forma gradual. Além disso, este tipo de sistemas evita a proliferação de odores e insetos não causando um impacto negativo para a saúde pública pois o líquido não está em contacto com a superfície. Os LM-ESS são utilizados para tratar de forma mais mecânica a água residual urbana que sofreu um pré-tratamento (Oliveira, 2008; Kadlec *et al*, 2006; Soares, 2012).

Do que diz respeito à **direção do fluxo** da água residual, apenas as **Fito-ETAR's de escoamento superficial** apresentam **fluxo horizontal**, por sua vez as **Fito-ETAR's de escoamento subsuperficial** tanto podem evidenciar um **fluxo horizontal como vertical**.

Nos **leitos de macrófitas de escoamento subsuperficial horizontal (LM-ESSH)** a água entra abaixo da vegetação, numa das extremidades da Fito-ETAR, atravessa um meio poroso e segue uma direção horizontal, passando pelas raízes das macrófitas e saindo

posteriormente na outra extremidade do leito, como demonstra a figura 28. Ao contrário de todos os tipos de leitos de macrófitas, este, no lugar do solo hídrico, apresenta um meio rochoso com diferentes granulometrias no qual se fixam as raízes da vegetação.

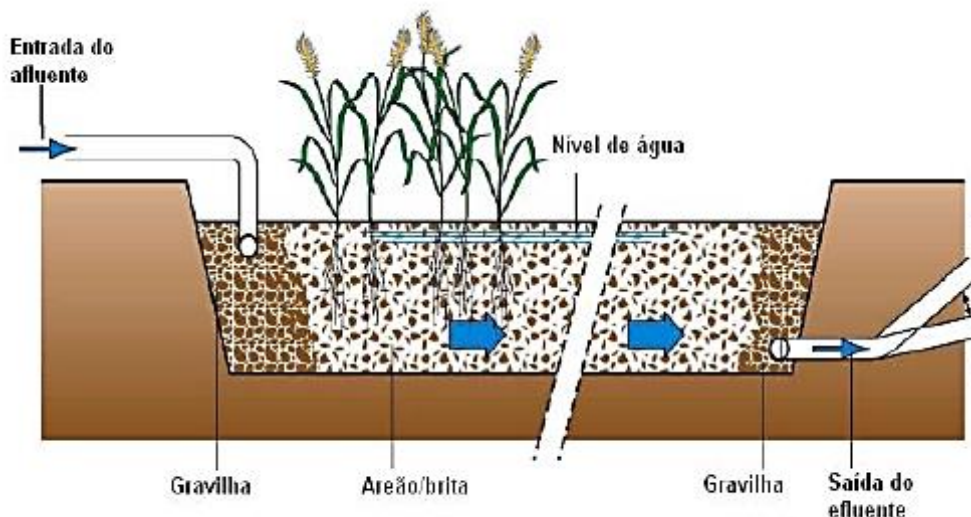


Fig. 28- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo horizontal.  
 (Adaptado de Oliveira, 2008, p.20).

Os **leitos de macrófitas de escoamento subsuperficial vertical (LM\_ESSV)** apresentam para, além dos constituintes básicos de uma Fito-ETAR, um meio constituído por areia, brita e gravilha, como demonstram as figuras 29 e 30).

Neste tipo de sistemas o fluxo de água residual atravessa um ou vários tubos perfurados, ou não, que a distribuem na superfície do leito, de forma mais ou menos homogénea, para permitir uma rápida infiltração no meio, seguindo uma **direção vertical descendente**, como se verifica na figura 29. Na base deste tipo de leitos existe um sistema de drenagem, geralmente tubagens perfuradas, que recolhem o efluente tratado e conduzem-no para uma caixa de saída. (Moura, 2013; Oliveira, 2008).

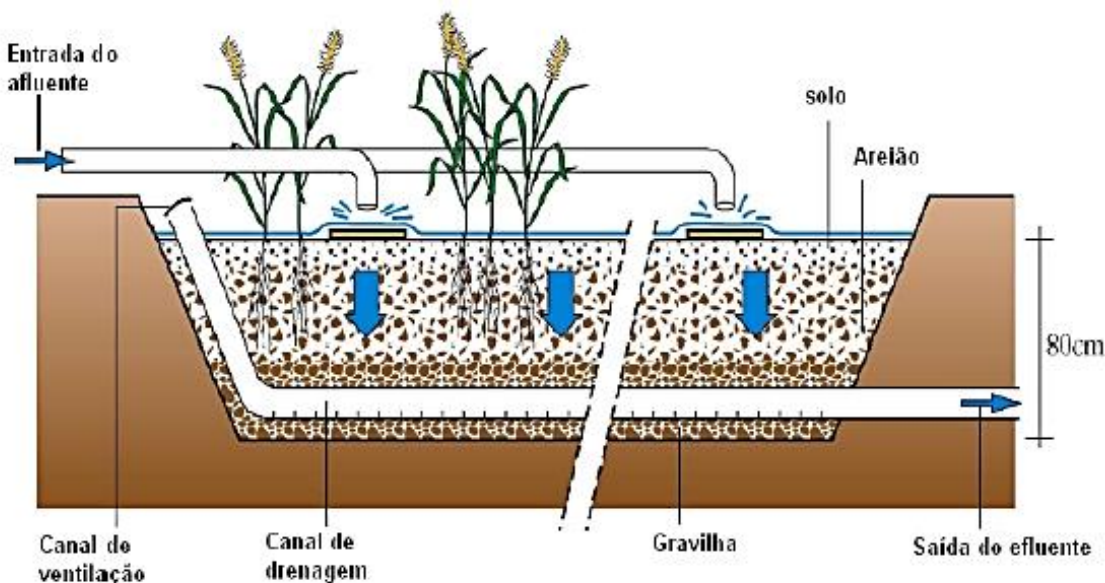


Fig. 29- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo vertical descendente.  
 (Extraído de Oliveira, 2008, p.21).

O escoamento vertical também pode ocorrer de forma **ascendente**, como demonstra a figura 30. Neste tipo de sistemas o afluente entra no fundo do leito e é distribuído de forma mais ou menos homogénea no meio poroso por um tubo perfurado. A água residual ascende por contra-corrente e por capilaridade, normalmente com a utilização de sistemas mecanizados que injetam ar no meio e, por fim, o efluente sai pela superfície. São adequados para o tratamento de águas residuais com elevada carga orgânica, óleos, gordura e amónia, apresentando elevada capacidade de remoção de matéria orgânica e amónia devido à introdução artificial e constante de oxigénio. (Moura, 2013; Oliveira, 2008)

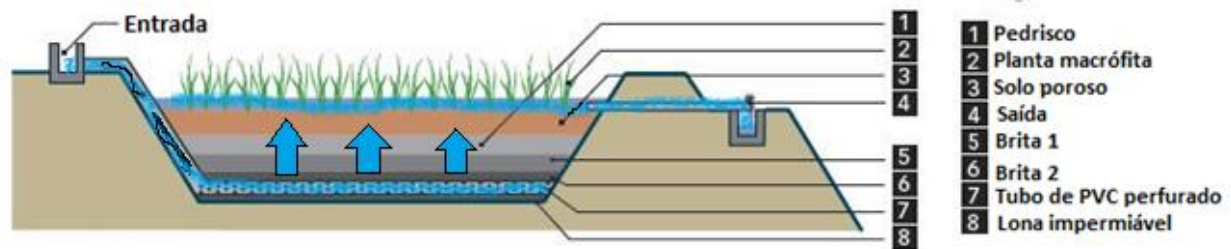


Fig. 30- Fito-ETAR de escoamento subsuperficial e fluxo vertical ascendente.  
 (Adaptado de Mazzone, 2011).

## II.4 - Uso sustentável dos recursos hídricos

A água é um recurso indispensável a todas as atividades humanas e sem ela não há vida. Segundo Peixinho (2010), *os problemas relacionados com a água, um dos recursos ambientais mais importantes, não estão dissociados das relações históricas entre o homem e o meio ambiente e das suas atividades produtivas, das quais tem resultado uma grave crise ambiental no nosso planeta* (p.3). De facto, a água, além de ser um bem essencial à vida, é também um fator condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social.

Além disso, como referimos anteriormente, a água encontra-se amplamente distribuída e, por isso, a sua poluição ou mau uso trará problemas para o ecossistema onde se encontra e a médio/ longo prazo para o meio ambiente. Torna-se assim evidente que esta deve ser gerida de forma sustentável. Segundo o documento escrito pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (CMAD) (1988), intitulado como *Our Common Future*, mais conhecido como o relatório de *Brundtland*, entende-se por gestão sustentável dos recursos hídricos a sua utilização pela humanidade, de tal forma que esta seja capaz de fazer frente às suas necessidades atuais, sem comprometer um acesso de qualidade dos mesmos às gerações futuras, para que estas possam fazer o mesmo.

Assim, esta é uma temática que tem preocupado as entidades governamentais há bastante tempo e a prova disso é a criação da Carta Europeia da Água (1968), a qual refere um conjunto de 12 normas, dentro dos quais se destaca o seguinte: *os recursos hídricos não são*

*inesgotáveis e, por isso, é necessário preservá-los, controlá-los e, se possível, aumentá-los.* Tal é possível com projetos como o Plano Nacional de Uso Eficiente da Água (PNUEA), que tem como principal objetivo promover uma gestão sustentável da água em Portugal, especialmente nos setores urbano, agrícola e industrial, contribuindo para minimizar os riscos de escassez hídrica e para melhorar as condições ambientais nos meios hídricos, sem pôr em causa as necessidades vitais e a qualidade de vida das populações, bem como o desenvolvimento socioeconómico do país.

O PNUEA, criado pelo Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, em parceria com a Agência Portuguesa do Ambiente, no ano 2012, estabelece um conjunto de medidas que podem ser tomadas nos setores da indústria, da agricultura e no setor doméstico / urbano. Na indústria, por exemplo, propõe aspirar os locais de trabalho em vez de os lavar e reutilizar a água usada na refrigeração de máquinas para aquecimento do local, evitando assim a poluição térmica da água. Na agricultura sugere a utilização de sistemas de rega adaptados ao tipo de cultura. Nas nossas casas sugere a colocação de autoclismos de menor consumo, o fecho das torneiras durante a lavagem dos dentes ou o aproveitamento da água para a lavagem de passeios e do automóvel. Todas estas atitudes servem para salvaguardar um património comum, cujo valor deve ser reconhecido por todos.

### III - Contextualização Educacional do Estudo

Ao longo dos anos a educação foi sofrendo evolução no sentido de ir de encontro a novas formas de pensar, sobre a capacidade cognitiva do aluno e, do seu papel em sala de aula, bem como, do que é a ciência e, de que maneira deve ser ensinada. Tal evolução encontra-se refletida em quatro metodologias principais: o ensino por transmissão (EPT), o ensino por descoberta (EPD), o ensino por mudança concetual (EMC) e o ensino por pesquisa (EPP).

Sabe-se que antes e, no início do século XX, predominava nas escolas o ensino por transmissão, que se acredita ser ainda praticado por muitos professores atualmente. Como o próprio nome indica, neste tipo de metodologia o professor transmite as suas ideias ou os conteúdos a abordar aos seus alunos dando assim *a lição*. Por sua vez, os seus discentes vão armazenando-os na sua mente de forma sequencial tendo de os reproduzir tal como aprenderam, sendo por isso o erro visto como algo negativo neste tipo de metodologia. Percebe-se que o conhecimento é visto como um instrumento a ser adquirido pelo aluno, e que não são valorizadas as suas dificuldades de aprendizagem, pois *basta ouvir com atenção* para aprender (Cachapuz, 1999, p.3). No sentido de evitar o erro nos seus alunos, o professor

ensina os conteúdos de forma semelhante àquilo que este pretende que os seus alunos adquiram. Desta forma acaba por se tornar um ensino bastante repetitivo e pouco motivador, onde se valoriza a capacidade de memorização, e o aluno é avaliado apenas de forma sumativa (Cachapuz, 1999). No EPT a ciência é vista como uma representação exata da realidade e como um corpo de conhecimentos fechado, imutável e que cresce por acumulação. Desta forma o professor limita-se a referir determinada teoria científica ou conceitos de forma a justificar determinado fenómeno, mas nunca de que forma ou porque é que surgiram. O trabalho experimental efetuado em sala de aula, vem confirmar tal facto, pois limita-se a ser de carácter confirmatório onde se pretende obter registos rigorosos daquilo que se vê (Lucas & Vasconcelos, 2005; Cachapuz, 1999).

Posteriormente, a partir dos anos 50, surge a preocupação de se associar ao ensino o método científico, surgindo assim o ensino por descoberta. Este tipo de metodologia acenta na ideia de que a ciência é caracterizada pelo método científico indutivo. Assim o único conhecimento científico possível é aquele suportado por um certo número de observações, da qual se fazem inferências e se parte para a generalização. Tal como no EPT, no EPD o erro durante o ensino-aprendizagem é algo a evitar, pelo que o método científico tem de ser seguido rigorosamente, de modo a obter-se sempre o resultado esperado (Lucas & Vasconcelos, 2005; Morais, Neto & Ferreira, 2014). Nesta metodologia de ensino acredita-se que o aluno seja capaz de aprender sozinho através da observação de trabalhos experimentais. Tal contacto com essas experiências vai permitir ao aluno descobrir novos factos, e ser capaz de os interpretar, e formar novas ideias, das mais simples às mais complexas. Deste modo o professor limita-se a efetuar as experiências em sala de aula tecendo generalizações e os seus alunos aprendem o conhecimento científico, sendo posteriormente avaliados pela capacidade de repetir o processo científico (Morais, Neto & Ferreira, 2014). Contudo, tanto nesta metodologia de ensino, como no EPT, nem sempre os alunos aprendiam o suposto pois as suas dificuldades cognitivas e conceções alternativas, não eram consideradas. Para fazer face a este problema surgiu então o EMC que promove não só a alteração de determinado conceito mas uma alteração na estrutura concetual do aluno. Ou seja, o discente é capaz de modificar os seus conceitos, analisando a sua ideia antiga dos mesmos e a que é confrontado no presente. Além disso irá organizar os conceitos de forma a que consiga facilmente copular outros. Ao contrário das metodologias de ensino anteriores, os alunos não aprendem diretamente das ideias do professor, pois estes não são desprovidos de conhecimento. Adicionalmente ocorre também diálogo entre o docente e os alunos e destes últimos com os seus pares, permitindo o confronto de ideias entre todos, podendo levar à construção de conhecimento. O erro passa a ser valorizado, pois é através dele que se percebe as dificuldades do aluno e se consegue ajudá-lo a ultrapassá-las (Cachapuz, 1999). No EMC a

ciência é tida como uma interpretação possível do Mundo Natural mediante modelos teóricos suscetíveis de serem alterados por outros. Deste modo para cada observação feita existe uma teoria ou ideia previamente estabelecida aos olhos de quem observa. Nesta metodologia de ensino aprender ciências passa pela reconstrução de conhecimentos por parte do aluno, partindo das suas ideias próprias e ensinar ciências passa por mediar esse processo. Neste tipo de ensino valoriza-se uma avaliação formativa mas também se recorre à sumativa (Lucas & Vasconcelos, 2005).

O EPP apresenta algumas semelhanças com o EMC no sentido de valorizar o erro e as conceções dos alunos. No entanto, trata-se de uma metodologia mais recente onde se valoriza não só a ciência mas a sua história no contexto sócio-cultural, ou seja, existe uma preocupação em se saber como é que esta evoluiu e qual a influência da sociedade e cultura nessa mesma evolução. Nesta metodologia de ensino o aluno é incentivado, pelo professor, a efetuar uma pesquisa sobre os conceitos e, através da mesma construir o seu próprio conhecimento. O EPP caracteriza-se pela existência de uma dinâmica de grupo onde ocorre a reflexão e discussão de ideias, promovendo não só a construção de conhecimento mas também o aumento da capacidade de argumentação dos alunos (Lucas & Vasconcelos, 2005).

A escolha do EMC deveu-se a uma não identificação da professora estagiária com as metodologias de ensino que antecederam a esta, pois considera que o aluno deve ter um papel ativo em sala de aula e este não é desprovido de conhecimento. Apesar de admitir que o EPP é bastante promissor, considerou que a turma com quem efetuou o estudo não conseguiria trabalhar em dinâmica de grupo devido ao seu comportamento e, por não ser capaz de efetuar a pesquisa de forma autónoma.

### III.1 - Ensino por Mudança Concetual

Durante as décadas de 60 a 80, vários investigadores da área da educação e psicologia educacional, dos quais se destacam Novak e Ausubel, começaram a desenvolver alternativas a uma aprendizagem memorística, caracterizada pela aquisição de conhecimentos através de procedimentos mecânicos (Ontoria *et al.*, 1994). Nessa fase deu-se especial atenção às conceções alternativas dos alunos, ou seja, percebeu-se que os discentes possuem teorias pessoais implícitas e que tal conhecimento prévio é um fator muito relevante para a aprendizagem das teorias científicas. Por outras palavras, o conhecimento prévio é um fator isolado que influencia bastante a aprendizagem (Ausubel, Novak & Hanesian, 1980).

Assim, surgiu o modelo de ensino por mudança concetual, que passa pela alteração de conceções na estrutura cognitiva do sujeito que aprende, mas que se pretende que esta seja de forma significativa (Moreira & Greca, 2003). Para tal, Ausubel, Novak e Hanesian (1980)

propuseram o modelo da aprendizagem significativa, em que defendem que esta deve promover um desenvolvimento/enriquecimento conceitual, ou seja, uma evolução conceitual. De modo a que isso aconteça, os novos conhecimentos incorporados na estrutura cognitiva do aluno têm de ser integrados de forma não arbitrária, substantiva e não literal. Ou seja, o discente adquire o conhecimento, o material potencialmente significativo, obedecendo a regras. Isto é, tem de relacionar os novos saberes com conhecimentos prévios relevantes para determinado tipo de conceito e não com qualquer outra parte da estrutura cognitiva deste. O conhecimento prévio acaba por servir de âncora, de subsunçor, para orientar e organizar a incorporação, compreensão e fixação dos novos conhecimentos.

Para que a aprendizagem seja claramente significativa e permaneça na componente cognitiva do aluno, as ideias, conceitos, significados prévios têm de estar claros, adequados e disponíveis para serem utilizados a qualquer momento, de modo a servirem de apoio aos novos conhecimentos (Caballero, Moreira & Rodríguez, 1997). Além disso, a construção de novos saberes deve ser de forma substantiva, isto é, aquilo que se incorpora na estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento, das novas ideias, não as palavras precisas usadas para expressá-las, daí dizer-se que a aquisição não é literal (Caballero, Moreira & Rodríguez, 1997). Por outras palavras, a mesma ideia ou conceito podem ser explicados de diversas formas, estando igualmente corretas, não devendo o aluno se vincular apenas a uma delas. Caso contrário, não será capaz de construir novos conhecimentos e evoluir cognitivamente, pois utiliza sempre o mesmo referencial ou subsunçor. Ou seja, o aluno não conseguirá incorporar e correlacionar diferentes formatos para um mesmo conceito previamente adquirido.

Assim, o aluno tem de realizar um esforço deliberado para ligar os novos conhecimentos a conceitos de nível superior, mais inclusivos, na estrutura cognitiva, estabelecendo para isso um compromisso crítico e reflexivo sobre os novos conhecimentos. Isto é, deve ser capaz de estabelecer ligações de semelhança e, consoante as diferenças, conseguir reestruturar os novos conceitos com a aprendizagem prévia.

A aprendizagem encontra-se relacionada ainda com as experiências e acontecimentos prévios vivenciados por cada pessoa, pois estes irão influenciar a realidade da mesma e a forma como capta os novos conhecimentos, interpreta e correlaciona com os conhecimentos prévios e a maneira de compreender os mesmos (Novak & Gowin, 1984; Ontoria *et al.*, 1994; Ausubel, Novak & Hanesian, 1980).

É importante referir que as conceções prévias não desaparecem, não são apagadas da estrutura cognitiva do aluno, apenas passam a ser parte integrante de um novo subsunçor mais elaborado, rico e diferenciado (Moreira & Greca, 2003).

O professor que recorre a esta metodologia de ensino tem de estar assim consciente que o aluno possui um fundo cognitivo e se os novos conceitos a lecionar são ou não familiares para este. Para tal, deve fornecer ao aluno alguns exemplos desses conceitos a abordar e outros completamente aleatórios e, mediante a resposta do discente, analisar aquilo que de facto o aluno sabe ou não sobre o assunto. É importante que o docente, que tem o papel de organizador de ideias, estruture a sua aula de forma hierárquica, ou seja, deve iniciar a aula sobre determinado tema recorrendo ao conceito mais geral possível, ir decompondo-o em conceitos inclusivos e, de seguida, comparar as diferenças e semelhanças entre eles, para que ocorra uma conciliação integradora (Ribeiro & Ribeiro, 1990).

Considere-se o seguinte exemplo: pretende-se referir o que é uma ETAR, contudo, antes disso, deve-se mencionar o que é o tratamento das águas residuais. Posteriormente, deve-se estudar isoladamente os diferentes tipos de tratamento, nomeadamente ETAR e Fito-ETAR, promovendo assim uma consolidação vertical, ou seja, o aluno fica consciente de que uma ETAR está inserida nos tipos de tratamento de água residual. De seguida, devem-se formular, juntamente com o aluno, as diferenças e as semelhanças entre as ETAR e as Fito-ETAR, promovendo uma consolidação integradora. Ou seja, o aluno vai construir o conhecimento sobre as ETAR e Fito-ETAR ligando-o ao conceito geral “Tratamento de águas residuais” e ser capaz de as distinguir.

Percebe-se, assim, que o professor surge como a fonte principal de recurso de informação. No entanto, este interage com os seus alunos questionando-os e solicitando-lhes exemplos e comparações sobre os assuntos abordados, dando-lhes de certa forma alguma autonomia.

### III.2 - Estratégias e Recursos de ensino

Como referido anteriormente, o ensino por mudança concetual valoriza as conceções prévias dos alunos, para posteriormente serem melhoradas com o auxílio do professor. Deste modo, optou-se por aplicar um teste de diagnóstico aos alunos para assim ser possível estruturar a aula no sentido de reformular essas conceções, caso fosse necessário. Além disso, durante a intervenção educativa recorreu-se a mapas concetuais, pois segundo Novak e Gowin (1984) *os mapas concetuais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de ideias chave em que eles se devem focar para uma tarefa de aprendizagem específica* (p.31) e significativa. Ou seja, tal como defende Ausubel, o professor deve reconhecer conceitos ou ideias base para qualquer tema e partir destes para promover a construção de conhecimentos por parte do aluno, isto é, ao trabalhá-los de forma eficaz, permite que se crie uma base firme que irá permitir uma aprendizagem posterior (Ontoria *et al.*, 1994). Tomando o exemplo das frases: o cão cresce; o cão é um animal; o cão tem glândulas

mamárias; o cão é um animal mamífero; gradualmente vão sendo adicionados novos conceitos, sempre vinculados ao anterior, o que vai aumentando a precisão do significado do conceito de cão (neste caso). Tal situação pode ser aplicada em qualquer temática que se pretenda lecionar.

Através da utilização deste tipo de recursos, os alunos vão aprendendo de forma progressiva e mais significativa, uma vez que, numa fase inicial, constroem o conhecimento com o auxílio do professor e, posteriormente, incrementam-no com outros conceitos, aumentando a capacidade de relacionar um conceito (anteriormente isolado) a outros conceitos.

Os mapas concetuais, ou mapas de conceitos, são esquemas que indicam relações entre conceitos, ou palavras representativas dos mesmos. Num mapa de conceitos essas relações encontram-se representadas por linhas, sendo uma característica dos mesmos. No entanto, dada essa condição, são muitas vezes confundidos com outros tipos de esquemas, diagramas, ou sistemas de organização de informação (Moreira, 2010). Posto isto, importa referir as características que os distinguem.

Os mapas de conceitos são constituídos por três elementos fundamentais: o conceito, a preposição e as palavras de enlace ou ligação. O conceito diz respeito ao termo utilizado para designar determinado acontecimento/fenómeno ou objeto, a preposição trata-se de dois ou mais termos concetuais unidos por palavras que negam ou afirmam algo entre os conceitos. Por fim, as palavras de enlace servem para unir conceitos. O mapa concetual apresenta ainda hierarquização, ou seja, os conceitos encontram-se dispostos por ordem de importância, onde os conceitos que englobam mais informação encontram-se em níveis superiores (por exemplo: o conceito chave) na representação gráfica do mapa. (Novak & Gowin, 1984; Ontoria *et al.*, 1994; Moreira, 2010). Tais características encontram-se evidenciadas na figura 31.

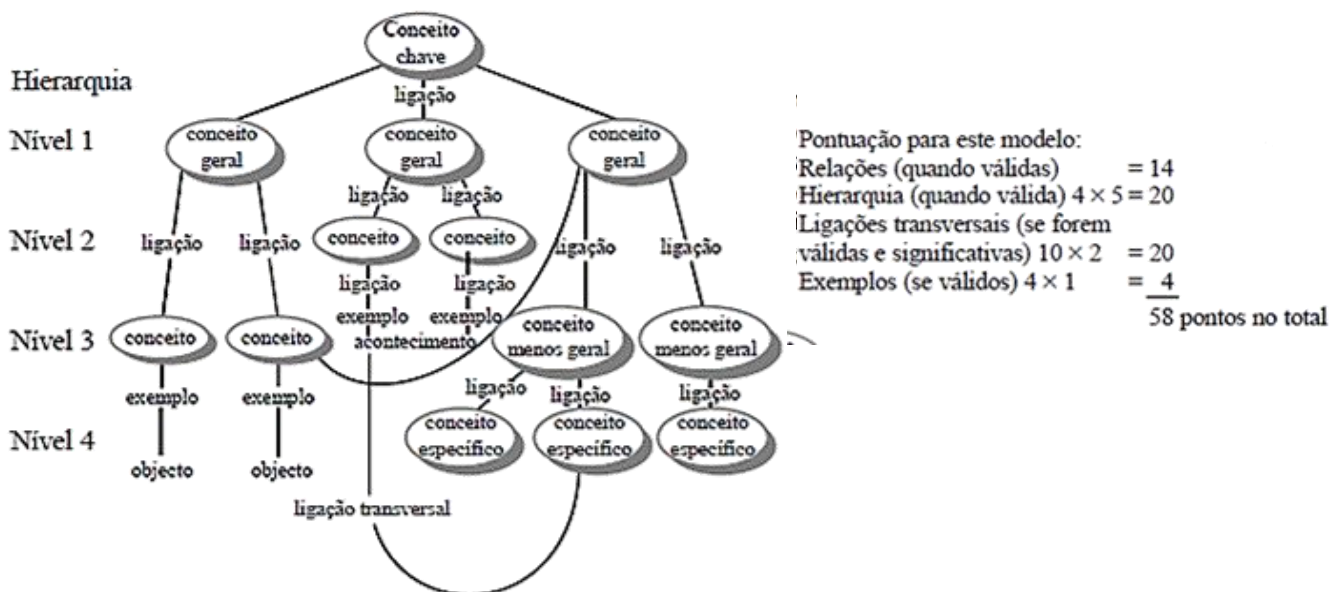


Fig. 31- Modelo de pontuação de um mapa de conceitos.  
 (Adaptado de Novak & Gowin, 1984, p.53).

Deve-se construir um mapa conceitual de referência para que se possa comparar com os efetuados pelos alunos. Assim, adicionalmente à construção de mapa conceitual torna-se necessário saber como pontuá-lo. Segundo Novak e Gowin (1984), e tal como demonstra a figura 31, atribui-se: 1 ponto por cada proposição válida e significativa que apareça; 5 pontos por cada nível hierárquico válido; 2 pontos por cada relação cruzada válida e 10 pontos por uma que seja válida e significativa; e, por fim, 1 ponto por acontecimentos ou objetos concretos que sejam exemplos válidos.

Para além dos mapas conceituais foram necessários outros materiais tais como:

- Dois ficheiros *powerpoint*, um primeiro relativo à exploração do significado de água residual, bem como duas possíveis formas de tratamento já referidas no enquadramento teórico do estudo, as ETAR's e Fito-ETAR's. Este continha também dois recursos em formato audiovisual que explicavam o funcionamento e a aplicabilidade das Fito-ETAR's. O segundo era relativo à gestão sustentável dos recursos hídricos, em concreto sobre medidas como a CEA e o PNUEA. Ambos os ficheiros foram projetados a toda a turma, através de um computador e projetor e, continham imagens bastante apelativas e pouca informação, distanciando-se assim dos ficheiros utilizados em contexto de ensino por transmissão caracterizados por possuir bastante texto para os alunos passarem para o caderno;
- Manual escolar, apenas para os alunos visualizarem outras formas de representar esquematicamente as etapas de uma ETAR;
- Cartolina e marcadores para os alunos realizarem um cartaz ilustrativo com diversas maneiras de promover a gestão sustentável dos recursos hídricos.

No final da intervenção educativa, aplicou-se um teste de avaliação sumativo para verificar os conhecimentos efetivos dos alunos, após a mesma.

### III.3 - Intervenção educativa

A intervenção educativa decorreu durante quatro aulas de cinquenta minutos. Na primeira aula aplicou-se um teste diagnóstico (apêndice 1) correspondente ao pré-teste da investigação, com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre as temáticas a abordar.

A segunda aula realizou-se com o auxílio de um *powerpoint* com alguma informação, imagens e vídeos e, iniciou-se recordando a quantidade de água doce existente no planeta,

alertando os alunos para a necessidade de se efetuar o seu tratamento. De seguida, foi explicado aos alunos que essa água poluída adquire o nome de água residual. Antes de serem lecionados os conceitos e funcionamentos das ETAR's e Fito-ETAR's, os alunos foram questionados se conheciam alguma forma de tratar essas águas. Tal momento permitiu o levantamento de outras questões que permitiram um confronto de ideias entre os elementos da turma. Após uma abordagem sobre as ETAR's os alunos foram novamente questionados sobre o destino das lamas primárias e secundárias, levando novamente a um confronto de ideias. Seguidamente foram lecionadas as Fito-ETAR's com o auxílio de dois vídeos intitulados *1 minuto com Cristina Calheiros - Fito-Etar's e sistema de tratamento de água para propriedades rurais*. Durante a intervenção foi ainda referido de forma breve a melhor solução (ETAR, Fito-ETAR, outros) para cada tipo de poluição aquática. Por fim, foi dado aos alunos um conjunto de palavras e pedido que as relacionassem através da construção de um mapa de conceitos, posteriormente retificado e corrigido pela professora estagiária.

No início da terceira aula os discentes foram questionados sobre o seu conhecimento relativamente a medidas que promovem uma boa gestão dos recursos hídricos nomeadamente ações que permitam uma diminuição dos danos causados pelo homem nos mesmos e uma redução do seu consumo. Após um breve diálogo com os alunos sobre o assunto foi-lhes dado a conhecer com o apoio do *powerpoint* uma medida europeia e uma medida nacional, respetivamente a CEA e o PNUEA, bem como ações que podem ser tomadas nos diferentes setores (agrícola, industrial e urbano), baseadas nessas mesmas medidas. Tal como se verificou na segunda aula os alunos realizaram um mapa de conceitos com termos, fornecidos pela professora, sobre os conteúdos abordados na aula. Posteriormente e ainda dentro do tempo letivo, foi pedido aos alunos que colaborassem em trabalho de pares na execução de um cartaz, que foi posteriormente afixado na Escola, como iniciativa de sensibilização da comunidade escolar para um uso sustentável da água.

Por fim, na quarta aula, de maneira a avaliar os conhecimentos construídos pelos alunos, foi aplicada uma ficha de avaliação sumativa correspondente ao pós-teste da investigação. O pós-teste é exatamente igual ao pré-teste pois só dessa forma é que é possível averiguar se após a intervenção educativa os resultados dos alunos melhoraram e se foram significativos, algo que será descrito no capítulo V.1.

Para o teste diagnóstico / teste de avaliação sumativo, foram definidos critérios de avaliação, foi realizada uma proposta de correção e foi ainda definido o nível cognitivo de cada uma das questões.

Note-se ainda que o pré e o pós-teste só foram aplicados após a respetiva validação e avaliação de fidelidade, que será explicada mais à frente no capítulo IV.3.1.

## IV - Metodologia de investigação

Segundo Coutinho (2011), uma investigação envolve sempre um problema e, que o mesmo é definido previamente quando se recorre a uma metodologia de cariz quantitativo, como é o caso do estudo pré-experimental. Posto isto o problema que serviu de base para a investigação foi avaliar o conhecimento dos alunos sobre a importância da minimização de danos relativos aos recursos hídricos antes da lecionação da temática sobre a gestão sustentável dos mesmos, apoiada na teoria da aprendizagem significativa.

Quando se recorre a um método quantitativo, após a formulação de um problema são definidas hipóteses, que serão verificadas ou rejeitadas após a recolha de dados, posteriormente submetidos a análise estatística (Carmo & Ferreira, 1998). Sendo assim formulou-se uma hipótese nula (H0) e uma direcionada (H1):

- Hipótese nula (H0) - A lecionação da temática segundo o processo de mudança concetual não promove a alteração na aprendizagem dos alunos;
- Hipótese direcionada (H1) - A lecionação da temática segundo o processo de mudança concetual promove significativamente a alteração na aprendizagem dos alunos.

No que se refere à hipótese de investigação, a variável dependente corresponde à aprendizagem significativa dos alunos participantes e a variável independente corresponde à planificação e construção de recursos e materiais didáticos segundo a metodologia de ensino por mudança concetual.

### IV.1 - Estudo pré-experimental

A investigação foi definida segundo o plano de estudo pré-experimental e antes de se referir o que é um estudo pré-experimental, torna-se relevante explicar o que é um estudo (método) experimental.

Segundo Gil (2008), *o método experimental consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto* (p. 16). Ou seja, trata-se de um estudo que pretende estabelecer e averiguar relações de causa-efeito e é orientado no sentido de aceitar ou rejeitar hipóteses relativas a essas relações. Neste tipo de estudo o investigador manipula pelo menos uma variável independente, controla outras relevantes, que poderão influenciar o estudo (por exemplo, o fator tempo), e observa o efeito numa ou mais variáveis dependentes. Ou seja, por variável independente pode-se entender como a aplicação de um novo (diferente) método de ensino numa turma e, posteriormente, verificar se os resultados académicos dos alunos (variável dependente) melhoraram ou não. A

medição da variável dependente pode ser medida através de um teste. No entanto, o estudo experimental puro recorre a pelo menos dois grupos, um experimental, ao qual será aplicado aquilo que se pretende medir, e o de controlo, que não sofrerá qualquer alteração ou será administrada uma metodologia diferente (Carmo & Ferreira, 1998).

Como apenas se efetuou o estudo com uma turma disponibilizada no âmbito da PES, contextualizada na IPP, isto é, com um único grupo (não aleatório) que foi estudado uma vez, depois da aplicação do processo de mudança concetual presumivelmente capaz de causar algum tipo de mudança, segundo Gil (2008), o estudo passa a ser designado de pré-experimental. Num estudo pré-experimental com apenas um grupo (não aleatório) existe um pré-teste antes da intervenção educativa e, um pós-teste depois da mesma. Posteriormente, ambos são estudados (Coutinho, 2011).

## IV.2 - Caracterização da amostra

A amostra do presente estudo trata-se de um grupo de alunos do sexo masculino e sexo feminino, com idades de 12 e 13 anos, de uma das turmas do 8º ano de escolaridade de uma Escola Pública do distrito do Porto onde se realizou a IPP. Tal turma foi atribuída pela Escola ao núcleo de estágio.

Trata-se de um tipo de amostragem não probabilística, uma vez que não é uma amostra aleatória e representativa de todos os alunos do 8º ano de escolaridade.

Através de uma amostragem não probabilística não se podem tecer generalizações à população à qual pertence o grupo disponível para o estudo, contudo, a investigação permitiu obter informações valiosas sobre o mesmo e assim determinar as singularidades da amostra.

O grupo estudado pode ser igualmente considerado uma amostragem por conveniência, uma vez que os elementos que o constituem são alunos de uma das turmas com os quais o núcleo de estágio trabalhou durante o ano letivo.

## IV.3 - Técnicas e instrumentos de recolha e análise de dados

Todo o plano de investigação implica uma recolha de dados originais. Esses dados podem ser obtidos através de vários procedimentos (entrevista, inquérito, testes), sendo que na presente investigação foram utilizados testes (Carmo & Ferreira, 1998; Coutinho, 2011).

### IV.3.1 - Testagem

Como já referido anteriormente, o ensino por mudança conceitual foi a metodologia de ensino escolhida para a intervenção educativa. Como tal, pretendeu-se averiguar a sua influência na aprendizagem dos alunos. Tal situação revela-se mais facilmente através dos resultados obtidos pelos discentes, nas fichas de avaliação diagnóstica e sumativa. Torna-se então claro que essa variação pode ser medida através da aplicação de um teste e, por isso, recorreu-se à técnica da testagem. Assim, e segundo Carmo e Ferreira (1998), foi aplicado aos discentes obrigatoriamente o mesmo teste. Este foi efetuado pelos alunos antes da intervenção educativa, funcionando, simultaneamente, como teste diagnóstico, servindo para averiguar as conceções prévias dos alunos, e como pré-teste da investigação. O mesmo foi novamente realizado pelos discentes após a intervenção, atuando assim como pós-teste da investigação e como teste sumativo, permitindo verificar as suas novas aprendizagens.

O teste foi cotado de 0 a 100%, uma vez que é a escala utilizada no Ensino Básico, e além disso aquela com que os alunos se encontram mais familiarizados.

Como se pretendia medir as aptidões cognitivas dos alunos, a construção do pré e pós-teste passou, numa fase inicial, pela operacionalização dos objetivos, seguida de uma cuidadosa escolha do tipo de questões a incluir. Na elaboração do teste tentou-se que este fosse composto por questões de nível cognitivo diferente, de modo a se tornar mais heterogéneo. Assim, este foi composto por questões de nível cognitivo inferior mas maioritariamente superior, como se pode verificar no apêndice 1. Este continha uma questão de resposta aberta e curta, um exercício de verdadeiro e falso e um de ligação, mas também questões de compreensão e que induzissem os alunos à reflexão e à articulação de conteúdos. É importante referir que o teste continha elementos que se encontram inseridos numa metodologia de ensino por mudança conceitual, nomeadamente um exercício com um mapa de conceitos e a elaboração de um desenho, uma outra forma de verificar as conceções dos alunos.

Para que determinado instrumento possa ser aplicado é necessário saber que este vai de encontro àquilo que se pretende medir, por outras palavras, tem de ser fiel e igualmente válido. Segundo Carmo e Ferreira (1998), a fidelidade encontra-se relacionada com a necessidade de garantir que diferentes codificadores cheguem a resultados idênticos, isto é, determinado instrumento é considerado fiel quando diferentes pessoas que o utilizam chegam aos mesmos resultados. Quanto à validade de um instrumento, este é válido quando diz respeito àquilo que o investigador pretende medir, quando o conteúdo se encontra relacionado com o problema em causa, por outras palavras, sempre que as perguntas do teste estabelecem relação com os objetivos fixados que se pretendem atingir. Neste caso, o

conteúdo das questões está orientado para os seguintes descritores estabelecidas pelo Ministério da Educação e Ciência, para este ano de escolaridade: (i) construir um plano de ação que vise diminuir o consumo de água na escola e em casa, com base na Carta Europeia da Água; (ii) propor medidas de redução de riscos e de minimização de danos relativos à contaminação da água procedente da ação humana; (iii) propor medidas que visem diminuir os impactes da exploração e da transformação dos recursos naturais; (iv) referir medidas que estão a ser tomadas em Portugal para promover a sustentabilidade dos recursos naturais.

Assim, a fidelidade do instrumento utilizado neste estudo, foi garantida por um grupo de três elementos com formação na área das Ciências Naturais - Biologia e Geologia, que responderam ao teste individualmente e em momentos diferentes. Após a comparação das respostas desses elementos entre si, com os critérios de avaliação e proposta de correção efetuados para cada questão do pré / pós-teste, definidos anteriormente, verificou-se que não existiam discrepâncias acentuadas, ficando assim assegurada a fidelidade do teste. Desse grupo faziam parte duas pessoas que constituíam o núcleo de estágio, bem como um terceiro indivíduo, docente do mesmo ano de escolaridade, de uma outra escola.

Relativamente à validade, esta foi garantida simultaneamente pelos elementos do grupo acima descrito e pela orientadora científica e pela orientadora do Estágio da IPP, que verificaram o conteúdo das questões.

## V - Resultados e investigação

No final da aplicação da intervenção educativa efetuou-se uma análise estatística dos resultados obtidos, tanto no pré-teste como no pós-teste, e procedeu-se a uma comparação dos mesmos, no sentido de averiguar se ocorreu ou não uma aprendizagem significativa nos alunos. Para tal recorreu-se ao programa de análise estatística, o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 22. Tais resultados, e discussão dos mesmos, serão descritos ao longo deste capítulo.

### V.1 - Análise dos resultados

Antes de se efetuar qualquer análise estatística, os testes (pré e pós-teste) foram corrigidos com base nos critérios e na proposta de correção, previamente realizada, e as cotações obtidas em cada questão foram somadas e colocadas numa tabela. Em seguida, os dados foram introduzidos no SPSS. Primeiramente, efetuou-se uma estatística descritiva onde o programa determinou o máximo, o mínimo, a média e o desvio-padrão, tanto para os

resultados do pré-teste como para os resultados do pós-teste. Essa análise encontra-se demonstrada na tabela 1.

Tabela 1-Estatísticas descritivas relativas ao pré e pós-teste.

	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Pré-Teste	20	12,00	58,00	35,8	14,91
Pós-Teste	20	60,00	93,00	76,5	10,86

Realizando uma análise mais criteriosa, verifica-se que a média obtida no pós-teste é superior à média obtida no pré-teste, isto é, houve uma subida da média do pré-teste para o pós-teste. Registando-se esta diferença de médias tornou-se necessário averiguar se a mesma era significativa, ou seja, verificar se as classificações obtidas pelos alunos no pós-teste derivaram da intervenção educativa realizada e não do acaso. Assim, os dados do pré e pós-teste foram submetidos a um teste estatístico denominado Teste de Wilcoxon.

O Teste de Wilcoxon é um teste não-paramétrico, ou seja, é de distribuição livre, não incorporando as suposições restritivas, características dos testes paramétricos, sendo, por isso, o tipo de teste ideal para esta investigação, uma vez que se desconhece a distribuição da variável em estudo. Além disso, a variável em análise é ordinal e as duas amostras (pré e pós-teste) são pequenas e dependentes, ou seja, cada observação da primeira amostra (pré-teste) encontra-se vinculada com uma observação da segunda amostra (pós-teste), encontrando-se assim emparelhadas.

Em suma, o objetivo principal deste teste é comparar as classificações de cada sujeito / aluno, no sentido de verificar se existem diferenças significativas entre os resultados do pré e do pós-teste. Isto é, valoriza e dá importância a cada indivíduo, aumentando assim a sua fidelidade.

Após a elaboração do teste, obteve-se um valor de  $z=-3,922$ , para um valor de  $p<0,0001$ . Como o nível de significância previamente estabelecido foi  $p<0,01$ , aceita-se a hipótese direcionada ( $H_1$ ) com um intervalo de confiança de 99%.

## V.2 - Discussão dos resultados

Uma vez feita a análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a lecionação da temática segundo o processo de mudança conceptual promoveu uma subida de média significativa do pré para o pós-teste revelando uma melhoria na aprendizagem dos alunos envolvidos no estudo. Contudo, é importante ressaltar que esta metodologia não é a única capaz de tal melhoria, pois outro método pode igualmente ter impacto positivo. Apenas se pretende referir que uma intervenção educativa recorrendo à mudança concetual é uma

alternativa a uma metodologia de ensino transmissiva (Ensino por Transmissão) onde o aluno apresenta uma atitude passiva em sala de aula e, a utilização do manual escolar se resume à sua leitura. E que através do EMC o aluno é capaz de construir o seu conhecimento de forma mais autónoma devido à sua interação com o professor e os restantes elementos da turma.

## VI - Conclusões gerais

Uma vez terminada a intervenção educativa, recolha de dados e análise dos mesmos, foi possível tirar diversas conclusões que serão descritas nos subcapítulos seguintes.

### VI.1 - Limitações do estudo

Ao longo de toda a preparação e implementação da intervenção educativa foram surgindo variadas dificuldades.

Numa fase inicial, pretendia-se abordar junto dos alunos os diferentes tipos de poluição da água. No entanto, não foi possível, já que era necessário abordar os conteúdos seguindo a ordem das metas curriculares. As mesmas colocam todos os tipos de poluição (aquática, atmosférica, entre outros) no mesmo objetivo geral e as medidas que minimizam os impactos negativos das mesmas, em objetivos gerais seguintes. Tal situação fez com que se optasse por dar maior ênfase aos tipos de tratamento dos recursos hídricos e gestão sustentável dos mesmos, caso contrário, a aplicação do pré-teste, seguido de intervenção educativa, e pós-teste seria inviável. Contudo, efetuou-se uma pequena revisão dos tipos de poluição da água, por se considerar relevante associá-los com o tipo de tratamento possível.

Colmatado o ponto anterior, surgiram alguns entraves durante a pesquisa de informação, nomeadamente ao nível de alguns termos que foram surgindo. De facto, alguns conceitos encontravam-se vinculados a áreas como química e ciências e tecnologias do ambiente, dificultando um pouco a sua compreensão. Por se considerar que alguns desses termos eram bastante elaborados para serem referenciados nos materiais a aplicar durante a intervenção educativa e no próprio relatório, optou-se por não os incluir nos mesmos. Contudo, outros termos eram relevantes, obrigando a um esforço acrescido na exposição dos mesmos, de modo a que todos os intervenientes que contactassem com estes os entendessem de forma clara.

Relativamente à fase de implementação da intervenção educativa surgiram algumas limitações ao estudo.

Apesar dos alunos já terem contactado com os mapas conceituais, não eram capazes de os elaborar sozinhos, pelo que algumas partes do pouco tempo de aula (ao todo cerca vinte e cinco minutos) foram destinadas à explicação do modo de realização de um mapa de conceitos e posterior supervisão da produção dos mesmos. Verificou-se uma melhoria na elaboração do segundo mapa de conceitos em relação ao primeiro, pois os alunos efetuaram ligações válidas e algumas significativas, contudo, ainda revelaram algumas dificuldades, sendo necessárias mais aulas semelhantes.

Um outro fator determinante foi a necessidade do constante controlo da indisciplina dos alunos. Alguns alunos chegaram atrasados às aulas, obrigando a uma repetição de tudo o que fora referido anteriormente e, por vezes, efetuavam participações que destabilizavam a turma.

Todos estes pontos, associados à curta duração das aulas (cerca de cinquenta minutos cada), fizeram com que os momentos de discussão e exploração dos temas tivessem ficado um pouco aquém das expectativas.

## VI.2 - Conclusões do estudo

Terminada a investigação, conclui-se que os objetivos conceituais, educacionais e de desenvolvimento profissional previamente definidos foram concretizados. De facto no presente relatório são descritos os tipos de danos/ poluição dos recursos hídricos que embora não lecionados foram estudados pela professora investigadora. A mesma investigou o papel da biologia na recuperação ambiental dos recursos hídricos. Relativamente aos objetivos educacionais, a discente recorreu à metodologia de ensino por mudança conceitual para abordar, nas suas aulas, duas das infraestruturas responsáveis pela descontaminação dos recursos hídricos, as ETAR's e Fito-ETAR's, bem como, medidas para uma utilização sustentável dos mesmos. Durante a leção das aulas a professora demonstrou aos alunos que os seres vivos como, por exemplo, bactérias e macrófitas, têm um papel determinante na depuração da água. Dada a importância da água a mesma conseguiu consciencializar e sensibilizar os alunos para as repercussões que as suas atitudes, e dos restantes habitantes do planeta, podem ter nos recursos hídricos. Os discentes entenderam que se todos considerarmos que as nossas infrações para com os recursos hídricos são pequenas, futuramente elas acabarão por se tornar em problemas de larga escala, com efeitos mais ou menos devastadores. Assim, estes perceberam porque se fala em gestão sustentável dos recursos hídricos e a razão pela qual devemos preservá-los. Conclui-se que a aquisição de conhecimentos e saberes por parte dos alunos, sobre esta temática, permite que os mesmos transponham esses ensinamentos para a vida quotidiana, e que desenvolvam comportamentos

e atitudes pró-ativas enquanto cidadãos conscientes, responsáveis, informados e participativos nas comunidades em que vivem. Isto é, através das suas atitudes estarão a contribuir para uma preservação do meio ambiente e, conseqüentemente, a consciencializar outros a tomar a mesma posição.

Apesar de o tempo ter sido pouco para a lecionação dos temas relativos à descontaminação e gestão sustentável dos recursos hídricos, a análise estatística dos resultados do pré-teste (teste diagnóstico) e pós-teste (teste de avaliação) revelou que a mudança concetual promove uma aprendizagem significativa dos conteúdos. De facto, durante a intervenção educativa os alunos responderam positivamente a este tipo de metodologia, pois revelaram-se empenhados e motivados na realização das atividades propostas e queriam avidamente conhecer mais sobre o assunto. Tal facto se deveu à partilha de curiosidades e debate entre os alunos com opiniões diferentes, que se estabeleceu durante as aulas.

No fim da presente investigação cumpriu-se o objetivo de realizar uma análise sobre os eventuais contributos deste tipo de estudo para o desenvolvimento profissional. Tal análise encontra-se descrita no subcapítulo VI.3.

### VI.3 - Contributos para o desenvolvimento profissional

Ao longo da elaboração e aplicação do projeto científico-educacional foram sendo desenvolvidas várias capacidades importantes para a atividade docente.

No momento de preparação das aulas de intervenção educativa foi sendo melhorada a capacidade de recolha de informação com rigor científico e, simultaneamente, um aumento do espírito crítico em relação às pesquisas efetuadas.

Durante a pesquisa efetuada para o enquadramento teórico do presente relatório constatou-se que, em qualquer situação, a Biologia e a Geologia não são áreas dissociadas, mas que se complementam, sendo importante demonstrá-lo aos alunos.

Simultaneamente, verificou-se uma melhoria na capacidade de elaboração dos materiais, nomeadamente dos *PowerPoint*. De facto, considera-se que este tipo de recurso não pode ser um mero depósito de informação, pois, para além de a apresentar, este deve seguir uma sequência lógica e de acordo com o que se pretende realizar com os alunos durante a aula. No presente caso, pretendeu-se promover o questionamento por parte dos discentes e, para tal, foram sendo colocadas, de forma estratégica, imagens e questões nos *PowerPoint*'s.

O trabalho direto com os discentes permitiu uma melhoria na capacidade de os questionar, aproveitando todas as ideias e dúvidas formuladas pelos mesmos, assim como o desenvolvimento de estratégias para promover e mediar o debate de ideias com os alunos e entre os alunos.

Durante a preparação e aplicação do projeto / intervenção educativa percebeu-se que, futuramente, uma nova aplicação da metodologia de ensino por mudança concetual por parte da professora investigadora pode ser uma forma de motivar os seus alunos. De facto, os discentes revelaram uma maior atenção e participação durante os tempos letivos por sentirem que as suas opiniões e dúvidas eram valorizadas. Além disso, a professora sentiu uma maior proximidade com os seus alunos, uma vez que durante as aulas se proporcionou uma maior interação entre ambos, sendo igualmente potenciador do sucesso escolar.

## VII - Referências

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana.
- Ax, P. (1995). *Multicellular Animals. A New Approach to the Phylogenetic Order in Nature*. New York: Springer.
- Bird, A. F., Bird, J. (1991). *The Structure of Nematodes*. San Diego: Academic Press.
- Barbosa, J. A. (2008). *Valorização de Lamas Provenientes do Tratamento de Águas Residuais* (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Barroso, A. F. S. (2012). *Avaliação do desempenho de uma ETAR de lamas ativadas através do estudo das comunidades microbiológicas do licor misto* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Porto, Porto.
- Bastian, B., Chowning, J., Colianni, G., Crisler, C., Davenport, T., Detenbeck, N., ..., Zabawa, C. (2000). *Guiding Principles for Constructed Treatment Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat*. Retirado de <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands> a 20/4/2016.
- Bates, M. (2014). *Amazing Animals That Walk on Water*. Retirado de <http://voices.nationalgeographic.com/2014/06/19/walk-water-animals-science-weird-environment-world/> a 11/04/2016.
- Beddow, V., Cruden, A. (2015). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. Retirado de <http://www.iwawaterwiki.org/xwiki/bin/view/Articles/> a 12/4/2016.
- Berger, G. (2009). A Investigação em Educação: Modelos socioepistemológicos e inserção institucional. *Educação, Sociedade & Culturas*, 28, 175-192.
- Caballero, M. C., Moreira, M. A., Rodríguez, M. L. (1997). Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. In *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Burgos, España, (pp. 19-44).
- Cachapuz, A. F. (1999). Epistemologia e Ensino das Ciências no Pós Mudança Conceptual: Análise de um percurso de pesquisa. In *Atlas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Valinhos, São Paulo, Brasil, (pp. 1-10).
- Canu, I. G., Laurent, O., Pires, N., Laurier, D., Dublineau, I. (2011). Health Effects of Naturally Radioactive Water Ingestion: The Need for Enhanced Studies. *Environmental Health Perspectives*, 119 (12), 1676-1680.
- Carmo, H., Ferreira, M. M. (1998). *Metodologia da investigação, Guia para auto-aprendizagem*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Chang, A. E., Ganz, P. A., Hayes, D. F., Kinsella, T., Pass, H. I., Schiller, J. H., Stone, R. M., Strecher, V. (2007). *Oncology: An Evidence-Based Approach*. New York: Springer Science & Business Media.
- Clitheroe, F., Collett, H., Singleton, N. (2010). *X-Kit- Life Sciences*. Cape Town: Pearson Maskew Miller Longman.
- CMAD. (1998). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Coutinho, C. P. (2011). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática*. Coimbra: Edições Almedina, S.A..
- Delgado, Z., Canha, P., Trinca, C. B. (2014). *À descoberta da vida*. Lisboa: Texto Editora.
- Dezotti, M. (2008). *Processos e Técnicas para o Controlo Ambiental de Efluentes Líquidos*. Rio de Janeiro: E-Papers.

- Dielle, E. F. (2014). *Estudo da Nova Norma Brasileira de Projeto de Estação de Tratamento de Esgotos – NBR 12.209/2011* (Dissertação final de curso). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- Durnil, G. K. (1995). *The Making of a Conservative Environmentalist*. Indianapolis: Indiana University Press.
- EPA. (1997). *Waste Water Treatment Manuals- Primary, Secondary and Tertiary Treatment*. Wexford: Environmental Protection Agency.
- Fogaça, J. (s.d.). *Densidade da água e do gelo*. Retirado de <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/densidade-agua-gelo.htm> a 30/11/2015.
- Forster, C. (2003). *Wastewater Treatment And Technology*. London: Thomas Telford Publishing.
- Fulgencio, P. C. (2007). *Glossário - Vade Mecum*. Rio de Janeiro: Mauad Editora.
- GAO. (1994). *Toxic Substances Control Act: Legislative Changes Could Make the Act More Effective*. Washington: General Accounting Office.
- Gavinhos, S. (2013). *Resíduos*. Retirado de <http://pt.slideshare.net/sandragavinhos/residuos8ano-21456456> a 12/12/2015.
- Gerlach, J. (2011). *Crustacea, Platyhelminthes, Nematoda, Nemertea, Annelida, Rotifera and Tardigrada of the Seychelles islands*. Manchester: Siri Scientific Press.
- Gil, A., C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. São Paulo: Editora Atlas.
- Governo dos Açores. (2014). *A agropecuária e a eutrofização da Lagoa das Furnas*. Retirado de <http://www.azores.gov.pt/Gra/FurnasLandLab/conteudos/livres/Eutrofiza%C3%A7%C3%A3o+e+assoreamento+da+lagoa .htm> a 18/12/2015.
- Grady, C. P. L., Daigger, G. T., Love, N. G., Filipe, C. D. M. (2011). *Biological Wastewater Treatment* (3th ed.). New York: CRC Press.
- Granato, T. M., Gomes, P. H., Rodrigues, P. L., Silva, N. D., Esteves, B. S., Olivares, F. L., Intorne, L. C. (2014). Bactérias associadas às macrófitas aquáticas fitorremediadoras *pistia stratiotes* e *eichhornia crassipes*. Em *II simpósio de recursos hídricos do Rio Paraíba do Sul, São José dos Campos – São Paulo, Brasil, 21-23 maio 2014*. Retirado de <http://www.redevale.ita.br/iisrhps/jaguari.asp> 14/03/2016.
- Gray, N. F. (2004). *Biology of Wastewater Treatment* (2th ed.). Irlanda: Imperial College Press.
- Hayes, P. R. (1995). *Food Microbiology and hygiene* (2th ed.). London: Chapman & Hall.
- Hipólito, J. R., Vaz, A. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: IST Press.
- Hiscock, K. M. (2009). *Hydrogeology: Principles and Practice*. Retirado de [https://books.google.pt/books?id=bv\\_htCV69z8C&hl=pt-PT&source=gbp\\_navlinks\\_s](https://books.google.pt/books?id=bv_htCV69z8C&hl=pt-PT&source=gbp_navlinks_s). a 5/1/2016.
- INETI. (2007). *As Aventuras e Desventuras de uma Pequena Gota de Água*. Retirado de [http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/guiao\\_gota\\_agua/texto](http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/guiao_gota_agua/texto) a 10/12/2015.
- Jackson, T. (2006). *The Elements- Radioactive Elements*. New York: Marshall Cavendish.
- Jarmuth. (2014). *Vazamento de esgoto na elevatória da avenida Niemeyer polui o mar de São Conrado (RJ)*. Retirado de <http://sosriosdobrasil.blogspot.pt/2014/01/vazamento-de-egoto-na-elevatoria-da.html> a 17/12/15.
- Joseph, B. (2009). *Environmental studies*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company.
- Jung, A. V., Pierre, L. C., Roig, B., Thomas, O., Baurès, E., Thomas, M. F. (2014). Microbial Contamination Detection in Water Resources: Interest of Current Optical Methods, Trends and Needs in the Context of Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 4292-4310.

- Karpagan, M. (2007). *Environmental Economics*. New Delhi: Sterling Publishers.
- Kadlec, R. H., Knight, R. L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R. (2006). *Constructed wetlands for pollution control- processes, performance, design and operation*. London: IWA Publishing.
- Kadlec, R. H., Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands*. Retirado de [https://books.google.pt/books?id=hPDqfNRMH6wC&dq=Bastian+e+Hammer,+1993&hl=pt-PT&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pt/books?id=hPDqfNRMH6wC&dq=Bastian+e+Hammer,+1993&hl=pt-PT&source=gbs_navlinks_s) a 15/03/2016.
- Khan, S., Ahmad, I., Shah, M. T., Rehman, S., Khaliq, A. (2009). Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Environmental Management*, 90, 3451–3457.
- Lactema (s.d.). *Informação técnica- Produtos Biológicos para ETAR's*. Retirado de <http://www.latecma.com/docs/Informa%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20ETARs%20Lat%20Enzim%20-%20X.pdf> a 27/12/2015.
- Lee, W. E., Ojovan, M. I., Jantzen, C. M. (2013). *Radioactive Waste Management and Contaminated Site Clean-Up*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- LENA Ambiente. (2012). *Lena Ambiente - Sistema de Tratamento de Águas Residuais* [Vídeo]. Retirado de <https://www.youtube.com/watch?v=yMrRXj1IKk4> a 26/12/2015.
- Lencastre, A., Franco, F. M. (2003). *Lições de Hidrologia*. Caparica: Fundação Armando Lencastre.
- Lucas, S., Vasconcelos, C. (2005). Perspectivas de ensino no âmbito das práticas lectivas: Um estudo com professores do 7º ano de escolaridade. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), pp.55-77.
- Maltby, E., Barker, T. (2009). *The Wetlands Handbook* (Vol. 2). Oxford: John Wiley & Sons.
- Mara, D. (2004). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. New York: Earthcan.
- Martinez, I., M., (1993). Depuração de águas com plantas emergentes. *Guia Agro-pecuário* pp. 55-69.
- Marya, C. M. (2011). *A Textbook of Public Health Dentistry*. New Delhi: Jaypee Brothers Publishing.
- Mazzonetto, C. (2011). *Tratamento natural de esgoto*. Retirado de <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/tratamento-natural-de-esgoto-municipios-brasileiros-fazem-experimentos-no-256157-1.aspx> a 25/12/2015.
- Mendes, A. L. M. (2010). *Fito-ETAR uma Eco-tecnologia Aplicada ao Tratamento de Águas Residuais: Análise do Comportamento Hidráulico*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Monteiro, A. J. (2004). *Eutrofização*. Instituto Superior Técnico. Retirado de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452010761/Eutrofiza.pdf> a 15/12/2015.
- Moore, R. D., Richards, G., Story, A. (2008). *Electrical Conductivity as an Indicator of Water Chemistry and Hydrologic Process*. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 2 (11), 25-29.
- Morais, C. S., Neto, J. E. S., Ferreira, H. S. (2014). Perspectivas de Ensino das Ciências: O Modelo por Investigação no Sertão Pernambucano. *Experiências em Ensino de Ciências*, 9 (1), 90-100.
- Moreira, M. A., Greca, I. M. (2003). Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. *Ciência e Educação*, 9 (2), 301-315.

- Moreira, M. A. (2010). *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. São Paulo: Centauro Editora.
- Moreira, C. (2012). *ETAR-Wikiciências*. Retirado de [wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/ETAR](http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/ETAR) a 29/12/2015.
- Motarjemi, Y., Moy, G., Todd, E. (2014). *Encyclopedia of food safety*. San Diego: Academic Press.
- Moura, C. J. C. (2013). *Avaliação do efeito da evapotranspiração no rendimento de um leito de macrófitas de escoamento subsuperficial horizontal*. (Dissertação de Mestrado). Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Moura, I. N. C. (2012). *Opções de tratamento de águas residuais por sistemas clássicos de lamas activadas numa perspectiva de minimização de recursos aplicados* (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- National Small Flows Clearinghouse. (1997). Lagoon Systems. *Pipeline*, 8 (2), 1-8.
- Natural Resources Management and Environment Department. (2003). *Review of World Water Resources by Country*. Retirado de <http://www.fao.org/docrep/005/y4473e/y4473e00.htm#Contents> a 12/2/2016.
- Nebel, B. J., Wright, R. T. (1993). *Environmental Science: The Way the World Works* (4th ed.). New Jersey: Prentice Hall Professional.
- Neves, S. (2011). *Águas Subterrâneas*. Retirado de [http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/geologia/11\\_aguas\\_subterraneas\\_d.htm](http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/geologia/11_aguas_subterraneas_d.htm) a 11/12/2015.
- Nicolau, A., Lima, N., Mota, M., Madoni, P. (1997). Os Protozoários como Indicadores de Qualidade Biológica das Lamas Activadas. *Boletim de Biotecnologia*, 56, 14-19.
- Novak, J. D., Gowin, D. B. (1984). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Editora.
- Oliveira, J. M. (2008). *Estudo da Influência do Material de Enchimento na Remoção de Matéria Orgânica, Azoto e Sólidos em Leitos de Macrófitas do Tipo ESSH*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Ongley, E. D. (1996). *Control of water pollution from agriculture*. Rome: FAO.
- Ontoria, A., Ballesteros, A., Cuevas, C., Giraldo, L., Gómez, J. P., Martín, I., Molina, A., ..., Vélez, U. (1994). *Mapas Conceptuais- Uma Técnica Para Aprender*. Rio Tinto: ASA.
- Perrone, E. (2013). *Zoologia 4- Embriologia-Protozoários- Zoologia*. Espírito Santo: Clube de Autores.
- Peixinho, F. C. (2010). Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos. In *atlas do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. Retirado de <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22943/15080> a 27/12/2015.
- Pizzy, N. G. (2010). *Water Treatment- Principles and practices of water supply operations series* (4th ed.). Denver: American Water Works Association.
- Procópio, S. O., Carmo, M. L., Pires, F. R., Filho, A. C., Braz, G. B. P., Silva, W. F. P., Barroso, A. L.,..., Braz, A. J. (2008). Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira: Ciência do solo*, 32, 2517-2524.
- Quinteiro, A. C. M. (2012). *Análise da eficiência relativa de remoção dos leitos percoladores da ETAR do Choupal* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Rastogi, S. C. (2001). *Essentials of Animal Physiology* (3th ed.). New Delhi: New Age International Publishers.

- Ribeiro, A. C., Ribeiro, L. C. (1990). *Planificação e Avaliação do Ensino- Aprendizagem*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Rogers, K. (2011). *Bacteria and Viruses*. New York: Britannica Educational Publishing.
- Salati, E. (2009). *Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas*. Retirado de <http://www.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/files/2011/12/sistema-wetlands.pdf> a 27/03/2016.
- Saraiva, I. (2001). Fito - ETAR: Construir jardins para tratar água. *AEP Ambiente*, 51, 12-15.
- Seviour, R. J., Nielsen, P. H. (2010). *Microbial Ecology of Activated Sludge*. London: IWA Publishing.
- Silva, J. C. (s.d.). *Saneamento Básico e a Poluição Hídrica*. Retirado de <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/saneamento-basico-poluicao-hidrica.htm> a 17/12/2015.
- Silva, L. P. (2015). *Hidrologia- Engenharia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Simtejo. (2010). *O funcionamento de uma ETAR* [Video]. Retirado de <https://www.youtube.com/watch?v=A8qPEh8XNNk> a 26/12/2015.
- Shakhashiri. (2011). *Chemical of the week-Water*. General Chemistry. Retirado de <http://www.scifun.org/> a 12/11/2015.
- Sharp, K. A. (2001). *Water: Structure and Properties*. *ELS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester*. doi: 10.1038/npg.els.0003116.
- Soares, M. M. S. (2012). *Avaliação do desempenho de leitos de macrófitas face à aplicação de cargas orgânicas crescentes*. (Dissertação de Mestrado). Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Spellman, F. R. (2014). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plants Operations* (3th ed.). New York: CRC Press.
- Spellman, F. R., Stoudt, M. L. (2013). *The Handbook of Environmental Health*. Lanham: The Scarecrow Press.
- Sperling, M. V. (2007). *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. London: IWA Publishing.
- Taneco, B. (2012). HIDRODEPUR: da conceção à realidade. *Indústria e Ambiente*, 77, 18-20.
- USGS. (2016). *O Ciclo da Água (The Water Cycle, Portuguese)*. Retirado de <http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html> a 4/01/2016.
- USGS. (2015). *Water Properties: Facts and Figures About Water*. Retirado de <http://water.usgs.gov/edu/water-facts.html> a 12/12/2015
- Vasconcellos, M. C., Pagliuso, D., Sotomaior, V. S. (2012). Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. *Estudo da Biologia: Ambiente e Diversidade*, 34 (83), 261-267.
- Vengosh, A. (2003). Salinization and Saline Environments. In *B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry* (pp.333-365). Oxford: Pergamon.
- Vymazel, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2, 530-549.
- Wang, L. K., Chen, J. P., Hung, Y., Shammass, N. K. (2009). *Heavy Metals In The Environment*. New York: CRC Press.

## Decretos Lei / Normas Europeias e Nacionais

- Carta Europeia da Água. (1968). Retirado de [http://www.apdconsumo.pt/CARTA\\_EUROPEIA\\_AGUA.pdf](http://www.apdconsumo.pt/CARTA_EUROPEIA_AGUA.pdf) a 29/12/2015
- Decreto Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Retirado de [http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/fil\\_legisla/Dec-Lei\\_236\\_1998.pdf](http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/fil_legisla/Dec-Lei_236_1998.pdf) a 15/04/2016
- Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. Retirado de [http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/98BE85B2-2E6E-4634-B5D3-6ED2ED120B09/431763/DL306\\_2007Aguadestinadaaconsumohumano.pdf](http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/98BE85B2-2E6E-4634-B5D3-6ED2ED120B09/431763/DL306_2007Aguadestinadaaconsumohumano.pdf) a 21/04/2016
- Programa Nacional para Uso Eficiente da Água. (2012). Retirado de [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/consulta\\_publica/2012/pnuea/implementacao-pnuea\\_2012-2020\\_junho.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/consulta_publica/2012/pnuea/implementacao-pnuea_2012-2020_junho.pdf) a 2/2/2016

## Apêndice 1 - Pré e Pós-teste

Teste Diagnóstico Ciências Naturais-8ºano

Nome: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

### Grupo I

Duração: 50 minutos

1- A figura 1 representa uma ETAR. (4 pontos)

1.1- Indica o que significa a sigla ETAR.

Estação de tratamento de águas residuais



Figura 1- ETAR

Tanques de tratamento

1.2- Classifica as afirmações seguintes como verdadeiras (V) ou falsas (F). (2 pontos para cada uma)

V\_ Numa ETAR as águas passam por 4 fases de tratamento.

V\_ Nos tanques de tratamento biológico são utilizadas diferentes espécies de algas.

F\_ As ETAR's estão preparadas para receber pequenas quantidades de resíduos.

V\_ Após a 2ª e 3ª fases do tratamento resultam as lamas primárias e secundárias.

F\_ As lamas são depositadas novamente na água.

F\_ No tratamento preliminar os resíduos passam por um processo de decantação.

2- A seguinte sequência representa alguns dos processos que ocorrem numa ETAR e os esquemas (A a E) da figura 2 ilustram esses processos.

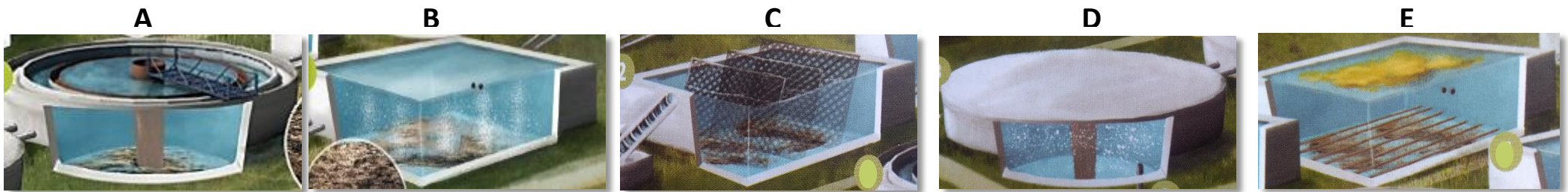
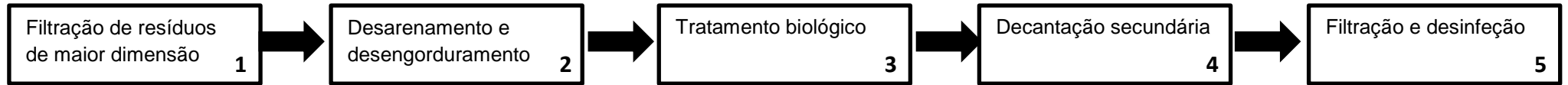


Figura 2- Esquemas ilustrativos de alguns processos de uma ETAR.

2.1- Estabelece a correspondência entre cada uma das letras da figura 2 e o algarismo (1 a 5) do respetivo processo. (2 pontos para cada correspondência)

1 C 2 E 3 B 4 A 5 D

**3- Lê, atentamente, a seguinte informação.**

**“As Fito-ETAR´s caracterizam-se pela sua simplicidade e integração paisagista. Trata-se de um bom exemplo de uma tecnologia “limpa”, ao ser capaz de desempenhar as suas funções com impactes ambientais mínimos.”**

Adaptado de Saraiva, I. (2001). Fito - ETAR: Construir jardins para tratar água. *AEPAmbiente*, 51, 12-15.

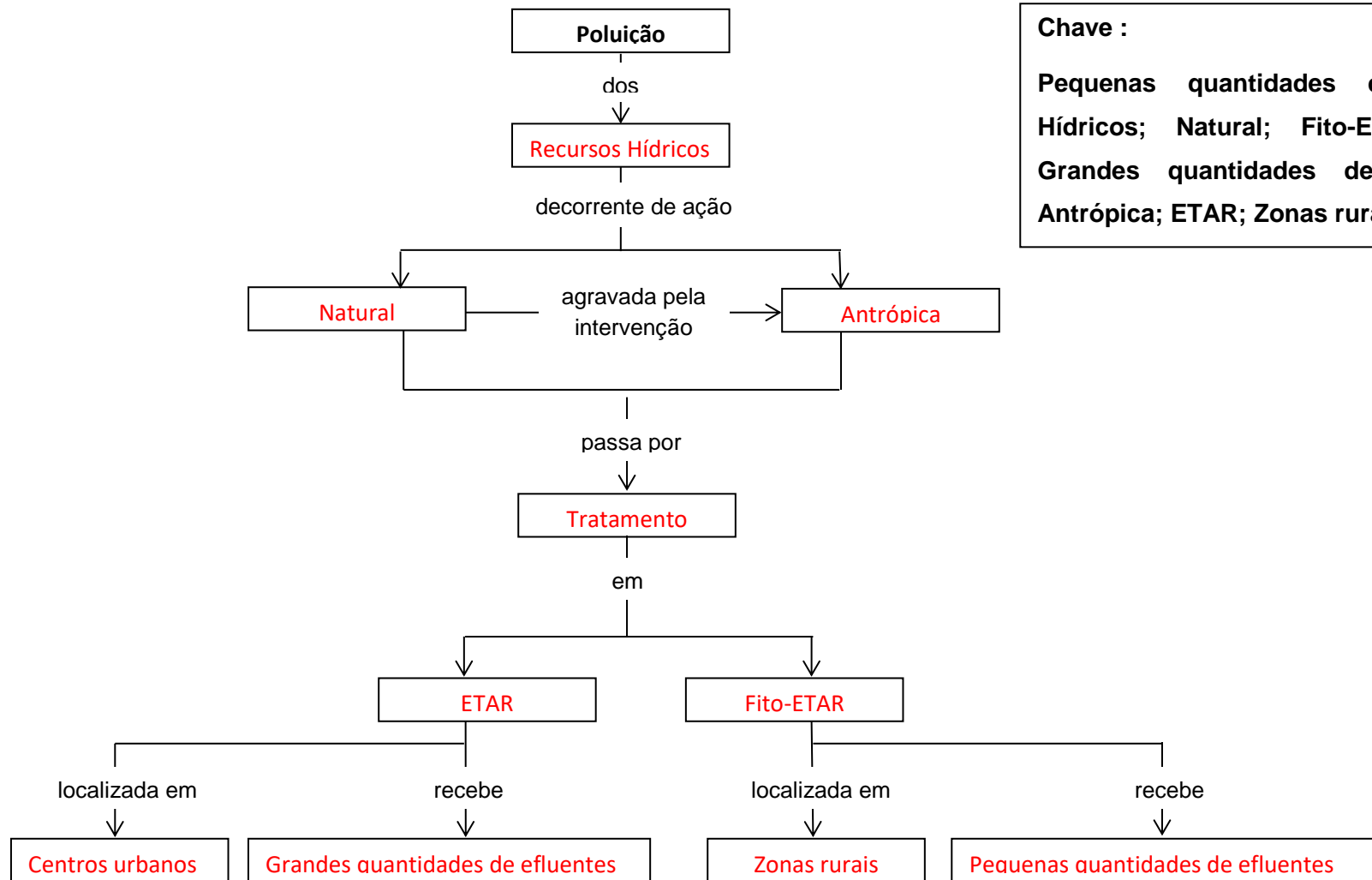
**3.1- Comenta a afirmação, referindo em que consiste uma Fito-ETAR. (15 pontos)**

Exemplo de resposta: Uma Fito-ETAR é uma estação de tratamento de águas residuais, que recorre à técnica de fitorremediação. Tal técnica consiste na utilização de plantas, como por exemplo, os caniços e os juncos, que apresentam grande capacidade para processar nutrientes e outras substâncias. Têm um efeito depurador para a extração do(s) composto(s) poluente(s). Este processo constitui uma boa solução quando é utilizado fora dos aglomerados urbanos, uma vez que a quantidade de afluentes é menor e não exige rapidez no tratamento. A utilização de plantas não causa um impacto visual e ambiental negativo, pois acaba por se disfarçar na natureza e, por isso, esta é considerada uma técnica limpa.

Níveis de desempenho	
15 pontos	O aluno refere o que é uma Fito-ETAR, de forma clara, e utiliza a informação fornecida para fundamentar a sua resposta.
12 pontos	O aluno refere que uma Fito-ETAR recorre à fitorremediação ou a plantas, dá exemplos e explica em que consiste, mas não incorpora a informação fornecida na sua resposta.
7 pontos	O aluno refere apenas que uma Fito-ETAR recorre a plantas ou à fitorremediação para o tratamento de águas residuais, dando ou não exemplos, mas não explicita em que consiste, incorporando ou não a informação fornecida na sua resposta.
0 pontos	O aluno não responde ou não responde ao pretendido.

## Grupo II

1.1- Completa o mapa de conceitos utilizando os termos da chave fornecida. (5 pontos x 5 níveis=25 pontos)



**Chave :**  
 Pequenas quantidades de efluentes; Recursos Hídricos; Natural; Fito-ETAR; Centros urbanos; Grandes quantidades de efluentes; Tratamento; Antrópica; ETAR; Zonas rurais.

### Grupo III

1- A Carta Europeia da Água é um documento que foi escrito, no ano de 1968, em Estrasburgo, pelos governos e instituições europeias. Esta surgiu com o intuito de tentar evitar os danos associados à sobre-exploração e contaminação da água e é constituída por doze princípios básicos. Dentro deles estão: “ Quando a água, após ser utilizada, volta ao meio natural, não deve comprometer as utilizações que dela serão feitas posteriormente”; “Os Recursos de águas doces não são inesgotáveis. É indispensável preservá-los, administrá-los e se possível aumentá-los.”

Baseando-te nos princípios fornecidos, redige um pequeno texto, onde menciones: **(14 pontos)**

1.1- uma medida para a minimização dos danos nos recursos hídricos

1.1-1. no setor agrícola;

1.2- uma medida para a redução do consumo da água

1.2-1. no setor industrial.

Exemplo de resposta: No caso da indústria, pode-se reutilizar a água proveniente dos sistemas de refrigeração de máquinas, para aquecer as instalações, evitando assim que esta seja devolvida ao meio ambiente em condições de temperatura elevada, não pondo em causa as utilizações que dela serão feitas posteriormente. Relativamente ao setor agrícola, para a redução de danos, a redução do uso de pesticidas e fertilizantes é uma medida a ser considerada já que é necessário preservar os recursos de água doce, pois estes não são inesgotáveis.

Níveis de desempenho	
14 pontos	O aluno apresenta duas medidas, de forma coerente e completa.
7 pontos	O aluno apresenta apenas uma medida.
0 pontos	O aluno não responde ou dá outra resposta.

**2- Através de um desenho, ilustra medidas que representem uma “boa gestão” dos recursos hídricos, por parte de cada cidadão. Deves legendar as tuas representações para que estas sejam perceptíveis. (20 pontos)**

O aluno deve desenhar situações tais como: lavagem dos dentes com a torneira fechada; colocar o lixo num recipiente e não na sanita; tomar duche; rega moderada de jardins e com água proveniente das chuvas; controle de fugas de água e reparação das mesmas; utilização da máquina de lavar roupa/loiça, quando estiver cheia.

Níveis de desempenho	
20 pontos	O aluno representa três ou mais exemplos, de forma clara e legendada.
15 pontos	O aluno representa apenas um a dois exemplos, com legendas.
10 pontos	O aluno representa alguns exemplos, sem legendas ou um exemplo de forma clara e com legendas.
0 pontos	O aluno não responde ou as suas ilustrações não são perceptíveis.

### Nível cognitivo das questões

Grupo I	1.1	Questão de ordem inferior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão reprodutiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
	1.2	Questão de ordem inferior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão reprodutiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
	2.1	Questão de ordem inferior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão reprodutiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
	3.1	Questão de ordem superior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão produtiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
Grupo II	1.1	Questão de ordem superior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão produtiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
Grupo III	1.1	Questão de ordem superior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão produtiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
	1.2	Questão de ordem superior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão produtiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).
	2	Questão de ordem superior segundo Hofstein <i>et al.</i> , 2004, ou questão produtiva segundo Tort, 2005 (citado em Carvalho & Dourado, 2009).

Carvalho, C. J., Dourado, L. (2009). A formulação de questões a partir de cenários problemáticos: Um estudo com alunos de ciência naturais de 3º ciclo do ensino básico português. In *Actas do X Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia, Braga, Portugal, 2009* (pp. 2615-2628). Braga: CIEd, Universidade do Minho.