



# **Universidade da Beira Interior**

Departamento de Química

## **O alumínio na água de consumo humano**

**Catarina Isabel Terenas Pinto Cleto**

Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para obtenção do grau de Mestre em Química Industrial / 2º Ciclo de Estudos

Covilhã, 2008



# **Universidade da Beira Interior**

Departamento de Química

## **O alumínio na água de consumo humano**

**Catarina Isabel Terenas Pinto Cleto**

Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para obtenção do grau de Mestre em Química Industrial / 2º Ciclo de Estudos

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Ferra**

Covilhã, 2008

*“Toda a nossa ciência, comparada  
com a realidade, é primitiva e  
infantil – e, no entanto, é a coisa  
mais preciosa que temos”*

Albert Einstein

# Agradecimentos

Ao apresentar este trabalho, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente, contribuíram e incentivaram a sua concretização.

- À Professora Doutora Isabel Ferra pela disponibilidade e boa vontade que demonstrou, ao longo do último ano, em me ajudar na realização deste trabalho.

- Ao Engenheiro Miguel Borges, Técnico da *Águas do Zêzere e Côa, SA*, pelo apoio, disponibilidade e boa disposição que demonstrou, pelos meios que disponibilizou para que este trabalho fosse realizado e também por todos os conhecimentos que ao longo dos últimos meses me transmitiu.

- À Engenheira Vera, estagiária na empresa *Águas do Zêzere e Côa, SA*, pela disponibilidade e ajuda na realização da parte experimental deste trabalho.

- Aos restantes funcionários da *Águas do Zêzere e Côa, SA* que me têm vindo a acompanhar e a apoiar.

- À família e amigos pelo apoio, dedicação e paciência durante esta longa jornada, e por tudo o que fizeram para que fosse possível a realização deste trabalho.

## Resumo

A concentração de alumínio presente numa determinada água destinada ao consumo humano é, normalmente, controlada através da monitorização de diversos parâmetros, nas diferentes fases do processo de tratamento. Uma estação de tratamento de águas (ETA) consiste basicamente num processo químico e físico, composto por diversas fases, sendo as principais: a pré-oxidação, a coagulação/floculação, a decantação, a filtração e a desinfecção. Deste modo, este trabalho tem como principal objectivo o estudo da variação de concentração de alumínio nas diferentes fases do tratamento de uma água para consumo humano, perante a variação de alguns parâmetros importantes na monitorização e avaliação da qualidade dessa mesma água, tais como: pH, turbidez, dióxido de cloro, cloro livre, condutividade e alcalinidade. O estudo foi realizado durante os meses de Outubro de 2007 a Maio de 2008, incidindo numa primeira fase, na variação de cada parâmetro, nas diferentes fases do tratamento e ao longo do tempo. Posteriormente, a variação estudada para cada parâmetro foi relacionada com a concentração de alumínio na água decantada, filtrada e tratada. Com este estudo concluiu-se que a presença de alumínio está relacionada com a turvação dessa mesma água bem como com os valores de alcalinidade. Assim, quanto maior for a turvação maior será a concentração de alumínio numa água, bem como, no que respeita a alcalinidade, variando directamente com a concentração de alumínio.

# Índice Geral

## Capítulo I

### 1. Introdução

1.1. A água e a vida	1
1.2. Alumínio na água de consumo	2
1.3. Objectivo e estrutura do trabalho	4

## Capítulo II

### 2. Fundamento teórico

2.1. Fontes de água para consumo	5
2.2. Caracterização da água	6
2.2.1. Propriedades organolépticas	8
2.2.2. Propriedades físicas	9
2.2.3. Propriedades químicas	11
2.2.4. Propriedades bacteriológicas	13
2.3. Tecnologias de Tratamento de Água	14
2.3.1. Descrição geral	14
2.3.2. Pré-oxidação	17
2.3.3. Coagulação/floculação	18
2.3.4. Decantação	21
2.3.5. Filtração	23
2.3.6. Desinfecção	24

<b>2.4. Descrição do processo de tratamento da ETA da Capinha</b>	27
<b>2.4.1. Pré-oxidação e coagulação/floculação</b>	27
<b>2.4.2. Decantação</b>	28
<b>2.4.3. Filtração</b>	29
<b>2.4.4. Desinfecção final</b>	30
<b>2.4.5. Desidratação de lamas</b>	30
<b>2.5. Presença do alumínio nas águas de consumo</b>	33
<b>2.5.1. Propriedades físicas e químicas do alumínio</b>	33
<b>2.5.2. Fontes da exposição ambiental e humana</b>	35
<b>2.5.3. Efeito da exposição no ser humano</b>	36
<b>2.5.4. Transporte e comportamento do alumínio na água</b>	37

## **Capítulo III**

### **3. Método e análises**

<b>3.1. Descrição do local de trabalho</b>	40
<b>3.1.1. Empresa Águas do Zêzere e Côa, S.A.</b>	40
<b>3.1.2. Estação de tratamento de água da Capinha</b>	41
<b>3.2. Caracterização da água tratada na ETA da Capinha</b>	41
<b>3.2.1. Amostragem</b>	41
<b>3.2.2. Controlo analítico</b>	42
<b>3.2.2.1. Medição de pH, temperatura e condutividade</b>	42
<b>3.2.2.2. Medição da turvação</b>	43
<b>3.2.2.3. Medição do dióxido de cloro, alcalinidade e alumínio</b>	43

## **Capítulo IV**

### **4. Resultados e discussão**

<b>4.1. Caracterização da água em estudo</b>	44
<b>4.1.1. Temperatura</b>	44
<b>4.1.2. pH</b>	45
<b>4.1.3. Turvação</b>	46
<b>4.1.4. Dióxido de cloro</b>	47
<b>4.1.5. Alcalinidade</b>	48
<b>4.1.6. Condutividade</b>	49
<b>4.1.7. Alumínio</b>	50
<b>4.2. Variação do alumínio em função dos vários parâmetros</b>	51
<b>4.2.1. Alumínio e pH</b>	51
<b>4.2.2. Alumínio e turvação</b>	52
<b>4.2.3. Alumínio e dióxido de cloro</b>	53
<b>4.2.4. Alumínio e alcalinidade</b>	54
<b>4.2.5. Alumínio e condutividade</b>	55

## **Capítulo V**

<b>5. Conclusões e trabalho futuro</b>	56
--	----

<b>Bibliografia</b>	58
---------------------	----

**Anexo 1**

**Anexo 2**

**Anexo 3**

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1</b> – Principais elementos químicos do Universo e da Terra (em %) [8].	6
<b>Tabela 2.2</b> – Apresentação dos diversos sabores que uma água em geral pode apresentar [7].	9
<b>Tabela 2.3</b> – Principais propriedades do alumínio [12].	29

# Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A1.	15
<b>Figura 2.2</b> – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A2.	15
<b>Figura 2.3</b> – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A3.	15
<b>Figura 2.4</b> – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A3, com ferro e manganês.	16
<b>Figura 2.5</b> – Esquema de uma ETA para águas subterrâneas.	16
<b>Figura 2.6</b> – Exemplo de uma câmara de mistura, processo de floculação – ETA da Capinha.	19
<b>Figura 2.7</b> – Exemplo de um decantador horizontal de fluxo laminar - ETA da Capinha.	22
<b>Figura 2.8</b> – Exemplo de filtros abertos de areia, de fluxo vertical e lavagem automática – ETA da Capinha.	24
<b>Figura 2.9</b> – Representação esquemática do processo de pré-oxidação e de coagulação/floculação, da ETA da Capinha.	28
<b>Figura 2.10</b> – Representação esquemática do processo de decantação da ETA da Capinha.	29
<b>Figura 2.11</b> – Representação esquemática do processo de filtração da ETA da Capinha.	29
<b>Figura 2.12</b> – Representação esquemática do processo de desinfecção final da ETA da Capinha.	30
<b>Figura 2.13</b> – Representação esquemática do processo de espessamento de lamas da ETA da Capinha.	31
<b>Figura 2.14</b> – Representação esquemática do processo de desidratação de lamas da ETA da Capinha.	32

<b>Figura 3.1</b> – Esquema representativo utilizado na recolha das amostras.	42
<b>Figura 3.2</b> – Medidor de pH, temperatura e condutividade utilizado no controlo analítico.	43
<b>Figura 3.3</b> – Turbidímetro utilizado no controlo analítico.	43
<b>Figura 3.4</b> – Colorímetro utilizado para a medição do dióxido de cloro, alcalinidade e alumínio, no controlo analítico.	43
<b>Figura 4.1</b> – Valores de temperatura da água captada (bruta), ao longo dos meses em estudo.	44
<b>Figura 4.2</b> – Valores de pH da água nas diferentes fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.	45
<b>Figura 4.3</b> – Valores de turvação da água nas diferentes fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.	46
<b>Figura 4.4</b> – Valores de dióxido de cloro da água em algumas das fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.	47
<b>Figura 4.5</b> – Valores de alcalinidade da água antes e no final do tratamento, ao longo dos meses em estudo.	48
<b>Figura 4.6</b> – Valores de condutividade da água nas diferentes fases de tratamento e ao longo dos meses em estudo.	49
<b>Figura 4.7</b> – Valores de alumínio da água nas diferentes fases de tratamento e ao longo dos meses em estudo.	50
<b>Figura 4.8</b> – Valores de alumínio e pH na água <b>a)</b> decantada, <b>b)</b> filtrada e <b>c)</b> tratada, ao longo do tempo.	51
<b>Figura 4.9</b> – Valores de alumínio e turvação na água <b>a)</b> decantada, <b>b)</b> filtrada e <b>c)</b> tratada, ao longo do tempo.	52

<b>Figura 4.10</b> – Valores de alumínio e dióxido de cloro na água <b>a)</b> decantada e <b>b)</b> filtrada, respectivamente.	53
<b>Figura 4.11</b> – Valores de alumínio e alcalinidade na água tratada, ao longo do tempo.	54
<b>Figura 4.12</b> – Valores de alumínio e condutividade na água <b>a)</b> decantada, <b>b)</b> filtrada e <b>c)</b> tratada, respectivamente.	55



# Capítulo I

## 1. Introdução

### 1.1. A água e a vida

Na natureza a água está em permanente movimento cíclico – ciclo natural da água ou ciclo hidrológico. Por acção do calor solar, a água da superfície terrestre evapora-se; na atmosfera condensa-se formando nuvens; regressa à Terra sob a forma de chuva, neve ou granizo escoando-se para os rios e mares e, por infiltração no terreno, vai constituir reservas subterrâneas. O ciclo hidrológico é factor determinante na quantidade de água disponível para utilização pelo Homem [1].

A água da Terra, que corresponde a aproximadamente 70 % da superfície do planeta (no estado sólido, líquido e gasoso) oscila entre 1300 a 1400 milhões de quilómetros cúbicos. Esta abundância é apenas aparente já que, apenas 1% desta água está directamente disponível para ser utilizada. Os oceanos e os mares retêm cerca de 97% do total de água, mais de 1300 milhões de quilómetros cúbicos, enquanto que a água doce apenas constitui 3%, cerca de 125 000 quilómetros cúbicos. A água doce encontra-se sob a forma de gelo nos glaciares e calotes polares, sob a forma líquida nos aquíferos profundos, nos rios, nos lagos e no solo, e sob a forma de vapor na atmosfera.

Para os seres vivos, os quais contêm cerca de 0,00005% do total da água doce, a água é um dos compostos vitais para a sobrevivência. Cada homem bebe, em média, 2 a 3 litros de água por dia, representando cerca de 65% do seu peso [2].

Hoje em dia, todas as actividades dependem da água. Em Portugal a actividade responsável pelo maior consumo de água é a agricultura, com 74,5 %. A produção de energia também é responsável por um consumo significativo de água, cerca de 14 %, sendo os restantes utilizados a nível urbano (7 %), na indústria (4 %) e no turismo [3].

A qualidade da água para consumo humano é um indicador incontornável para a avaliação do nível de desenvolvimento de um país e do bem-estar da sua população. Em



Portugal tem-se verificado uma evolução positiva, embora lenta, quer quanto à qualidade da água distribuída, quer quanto à realização do número de análises obrigatórias para o seu controlo [3].

A qualidade da água representa a adequação da água para um determinado fim. No âmbito do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (Anexo 1), são considerados os seguintes tipos de utilização de água: águas para consumo humano, águas balneares, águas de rega e águas para suporte da vida aquífera. Para cada tipo de utilização é estabelecido um conjunto de parâmetros de referência que permite verificar a adequabilidade da água para o respectivo fim. Caso as características da água não satisfaçam os padrões de qualidade é necessário proceder-se ao seu tratamento [3].

A necessidade de processos correctivos na água é determinada através de análises à água em diversos períodos do ano. As tecnologias de tratamento a utilizar podem ser diversas, incluindo tratamentos físicos, químicos ou biológicos, consoante as necessidades. O tratamento a adoptar deve conter os processos imprescindíveis à qualidade desejada e ao custo mínimo.

## **1.2. Alumínio na água de consumo**

O alumínio é o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no solo, na água e no ar, sendo redistribuído ou movido, através de actividades naturais ou humanas. Dada a sua alta reactividade, o alumínio não se encontra sob a forma de metal livre no ambiente, aparecendo sempre no estado de oxidação III. Conhece-se um único isótopo estável e 16 instáveis, dos quais o mais persistente tem uma semi-vida de  $7,1 \times 10^5$  anos [4].

Nas águas superficiais e nas águas subterrâneas, as concentrações de alumínio variam substancialmente, de acordo com factores físico-químicos e geológicos. Além de se encontrar nas águas superficiais e subterrâneas, o alumínio é um dos elementos presentes na chuva ácida, que contamina rios, lagos, peixes, aves e, no fim da cadeia alimentar, os seres humanos. Para além da contribuição das chuvas ácidas, as concentrações de alumínio nas águas de superfície podem ser aumentadas, directa ou



indirectamente, pela actividade humana com descargas industriais e municipais, com o arrastamento de terra contendo alumínio e com a presença de complexos de alumínio que a matéria orgânica pode formar [2].

No tratamento das águas naturais, destinadas à produção de água para consumo humano, o alumínio é utilizado por vezes na forma de sulfato, para provocar a coagulação/floculação das substâncias presentes na água bruta, sob a forma de suspensões coloidais. Estas substâncias em suspensão têm, em geral, uma carga eléctrica negativa. Em presença de iões alumínio positivamente carregados, formam-se complexos, por atracção electrostática. Originam-se assim partículas complexas, cuja dimensão e peso próprio vão conduzir à sua decantação. A adição de compostos à base de alumínio, como o sulfato de alumínio, o policloreto de alumínio, entre outros, que são utilizados como agentes coagulantes no tratamento de águas para consumo, é também responsável pelo aumento da concentração de alumínio na água [2].

Para a determinação do alumínio, são indicados como métodos de referência pela legislação portuguesa, a espectrometria atómica e espectrometria de absorção molecular, sendo o valor máximo admissível 0,2 mg/L [5].

A presença de alumínio em excesso, em relação às normas adoptadas para a água de consumo, conduz à degradação da sua qualidade, provocando turvação e depósito nas canalizações.

No que diz respeito à ingestão de alumínio pelo ser humano, no caso de este ser um indivíduo saudável, o alumínio é eliminado sem qualquer problema, enquanto que para indivíduos com insuficiência renal ou de elevada exposição a este metal, pode levar, entre outros problemas, a distúrbios orgânicos [4].



### **1.3. Objectivo e estrutura do trabalho**

O principal objectivo deste trabalho centra-se no estudo da variação de concentração de alumínio nas diferentes fases do tratamento de uma água para consumo humano, perante a variação de alguns parâmetros importantes na monitorização e avaliação da qualidade dessa mesma água, como: pH, turbidez, dióxido de cloro, cloro livre, condutividade e alcalinidade.

O presente trabalho é constituído por 5 capítulos e 3 anexos.

No capítulo I é feita uma breve introdução fazendo referência ao objectivo do trabalho.

Os fundamentos teóricos são apresentados no capítulo II, onde são abrangidas as várias tecnologias de tratamento de águas para consumo humano e as diversas propriedades que caracterizam a qualidade da água para consumo humano. É também neste capítulo que se faz uma breve descrição do alumínio como metal insolúvel e solúvel, bem como a sua relação com o ser humano.

A apresentação de todos os métodos e materiais de análise utilizados no decorrer da realização deste trabalho é feita no capítulo III.

No capítulo IV é feita a apresentação e respectiva discussão dos resultados obtidos, sendo as conclusões apresentadas no último capítulo, capítulo V.

Em anexo é apresentado o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (Anexo 1). No anexo 2 são discriminados todos os passos do procedimento experimental para a realização do controlo analítico e, por último, no anexo 3 são apresentados todos os dados que deram origem aos gráficos apresentados no capítulo 4.



# Capítulo II

## 2. Fundamento Teórico

### 2.1. Fontes de água para consumo

A água apresenta-se na natureza sob várias formas e com características bastante diversas. Por razões de ordem técnica e económica, as fontes mais utilizadas para o abastecimento público são constituídas pelas águas doces superficiais e subterrâneas [6].

**Águas subterrâneas** resultam da infiltração da água que provém da precipitação e da alimentação directa dos rios e lagos. Todas as águas naturais possuem, em graus distintos, um conjunto de sais em solução. No entanto, as águas subterrâneas possuem, em geral, teores mais elevados do que as águas superficiais, por estarem intimamente expostas aos materiais solúveis presentes no solo e nas rochas. A quantidade e o tipo de sais presentes nas águas subterrâneas depende do meio percolador, do tipo e da velocidade do fluxo subterrâneo, da fonte de recarga do aquífero e do clima da região.

Assim, em áreas com alto índice pluviométrico a recarga constante dos aquíferos permite uma maior renovação das águas subterrâneas, com a consequente diluição dos sais em solução. Pelo contrário, em climas áridos a pequena precipitação leva a uma salinização na superfície do solo através da evaporação da água que sobe por capilaridade. Na altura das chuvas mais intensas os sais mais solúveis são transportados para as partes mais profundas do aquífero aumentando a sua salinidade [7].

As principais características das águas subterrâneas são [6]:

- Pouca turvação, devido ao processo de filtração natural que a água sofre no solo.
- Baixa contaminação bacteriana, pois os tempos de retenção no solo, a filtração natural e a ausência de matéria orgânica não favorecem o crescimento de microrganismos.
- Temperatura constante.
- Baixo índice de cor.
- Elevada dureza, devido ao facto de estarem em contacto com formações rochosas.



Os sais que se encontram dissolvidos nestas águas dependem dos estratos subterrâneos que as linhas de água atravessam. Na tabela seguinte são apresentados os principais elementos químicos presentes na Terra e no Universo, ou seja, os elementos que mais facilmente se podem encontrar na composição química das águas subterrâneas.

**Tabela 2.1** – Principais elementos químicos do Universo e da Terra (em %) [8].

<b>Universo</b>	<b>Terra</b>	<b>Crosta Terrestre</b>	<b>Oceanos</b>	<b>Atmosfera</b>	<b>Biosfera</b>
<b>H</b> – 77	<b>Fe</b> – 35	<b>O</b> – 46,6	<b>O</b> – 85,8	<b>N</b> – 75,5	<b>O</b> – 53
<b>He</b> – 21	<b>O</b> – 29	<b>Si</b> – 29,5	<b>H</b> – 11	<b>O</b> – 23,2	<b>C</b> – 39
<b>O</b> – 0,8	<b>Si</b> – 14	<b>Al</b> – 8,2	<b>Cl</b> – 1,94	<b>Ar</b> – 1,3	<b>H</b> – 8,2
<b>C</b> – 0,3	<b>Mg</b> – 14	<b>Fe</b> – 5,0	<b>Na</b> – 1,05	<b>C</b> – $9,3 \times 10^{-3}$	<b>N</b> – 0,5
<b>Ne</b> – 0,2	<b>S</b> – 2,9	<b>Ca</b> – 3,6	<b>Mg</b> – 0,13	<b>Ne</b> – $1,3 \times 10^{-3}$	<b>Ca</b> – 0,4
<b>Fe</b> – 0,1	<b>Ni</b> – 2,4	<b>Na</b> – 2,8	<b>S</b> – 0,09	<b>Kr</b> – $0,45 \times 10^{-3}$	<b>K</b> – 0,2
<b>Si</b> – 0,07	<b>Ca</b> – 2,1	<b>K</b> – 2,6	<b>Ca</b> – 0,041	<b>He</b> – $72 \times 10^{-6}$	<b>Si</b> – 0,1
<b>N</b> – 0,06	<b>Al</b> – 1,8	<b>Mg</b> – 2,1	<b>K</b> – 0,039	<b>Xe</b> – $40 \times 10^{-6}$	<b>P</b> – 0,1
<b>Mg</b> – 0,06	<b>Na</b> – 0,3	<b>Ti</b> – 0,57	<b>Br</b> – 0,007	<b>H</b> – $23 \times 10^{-6}$	<b>Mg</b> – 0,1
<b>S</b> – 0,04	<b>P</b> – 0,2	<b>H</b> – 0,22	<b>C</b> – 0,003	<b>S</b> – $70 \times 10^{-9}$	<b>S</b> – 0,07

A contaminação das águas subterrâneas é, de um modo geral, uma situação persistente, pelo que a recuperação da qualidade destas águas é bastante lenta e difícil. Assim, a protecção das águas subterrâneas constitui um objectivo da maior importância, no que diz respeito a um desenvolvimento equilibrado e duradouro. Um instrumento preventivo para assegurar a protecção das águas subterrâneas é a instituição de perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público [9].

Os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público visam, assim: prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas subterrâneas por infiltração de águas pluviais lixivantes e de águas excedentes de rega e de lavagens; potenciar os processos naturais de diluição e de autodepuração das águas subterrâneas; prevenir, reduzir e controlar as descargas acidentais de poluentes; proporcionar a criação de sistemas de aviso e alerta para a protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem nas captações de águas subterrâneas, em situações de poluição acidental dessas águas. A delimitação dos perímetros de protecção é



realizada recorrendo a métodos hidrogeológicos apropriados que têm em conta os caudais de exploração, as condições da captação e as características do sistema aquífero explorado [9].

**Águas superficiais** encontram-se em maior percentagem nos rios, lagos ou albufeiras. O ciclo da água, ao ser um sistema aberto, implica que a qualidade desta esteja relacionada com o meio que a envolve. O contacto com a atmosfera promove a dissolução de alguns gases, enquanto que o curso normal pelo solo arrasta e dissolve vários componentes. Assim, a composição química das águas superficiais depende do tipo de terreno através do qual a água escorre e também da atmosfera que a rodeia (muito ou pouco poluída) [6].

As principais características das águas superficiais são [6]:

- Contaminação bacteriana elevada, devido a descargas de efluentes domésticos e industriais ou ao escoamento de águas utilizadas na agricultura.
- Índice de cor elevado, pois a velocidade de escoamento é pequena o que favorece o desenvolvimento de algas e o depósito de matéria orgânica responsável por atribuir cor às águas.
- Turvação elevada.

## **2.2. Caracterização de uma água**

A água utilizada para consumo humano deve ser de boa qualidade e não ser susceptível de causar danos à saúde pública devendo ser esteticamente aceitável, ou seja, não apresentar cor, odor ou sabor. Contudo, os relacionamentos entre o teor dos elementos e substâncias químicas, e a saúde do homem e dos animais podem ser dificultados por questões relativas à mobilidade e à dispersão destes elementos e substâncias, governadas pelos princípios da geoquímica e da dinâmica das águas superficiais e subterrâneas. Factores como o pH, tipo e abundância de argilo-minerais, teor de matéria orgânica, hidróxidos de ferro, manganês e alumínio, reactividade química, gradientes hidráulicos, porosidade e permeabilidade necessitam ser considerados nestes tipos de estudo [7, 10].



Assim, para garantir com rigor a qualidade de uma água, é fundamental recorrer a análises cuidadosas de diversos parâmetros e em diversas épocas sazonais. Os parâmetros mais utilizados na caracterização de uma água são apresentados de seguida.

### **2.2.1. Propriedades organolépticas**

São propriedades que podem levantar alguma subjectividade na sua análise devido ao facto de serem avaliadas mediante os sentidos. São os principais factores que condicionam a aceitabilidade da água pelo consumidor. Fazem parte deste grupo de parâmetros: a cor, o cheiro, o sabor e o aspecto [7, 10].

A **cor** de uma água é consequência de substâncias dissolvidas, dependendo fortemente da origem da água. A água superficial pode apresentar cor amarela clara a castanha, se as substâncias dissolvidas forem, por exemplo ferro, manganês ou ácidos húmicos, enquanto que a água pura é incolor.

Aquando da determinação da cor de uma água, há que ter em conta também o valor de pH da mesma, pois a intensidade da cor aumenta com o pH. Da mesma forma, a cor também é influenciada por matérias sólidas em suspensão (turvação), que devem ser eliminadas antes da determinação da cor. No entanto, para águas relativamente límpidas, esta determinação pode ser realizada sem ter em conta o parâmetro turvação. Assim, a cor da água pode ser aparente, devido à matéria suspensa, ou real, devido a extractos vegetais ou orgânicos, ou a iões metálicos naturais dissolvidos [7, 10].

O **cheiro** e o **sabor** de uma água dependem dos sais e gases dissolvidos nela. Estes são dois parâmetros de difícil análise, pois levantam bastante susceptibilidade. O limiar de percepção de cheiro nem sempre é o mesmo para todos os humanos, o que não se traduz numa análise muito rigorosa. Quanto ao sabor, apesar de não ser possível quantificar, a tabela seguinte mostra uma forma de qualificar a água consoante os sais nela dissolvidos.



**Tabela 2.2** – Apresentação dos diversos sabores que uma água em geral pode apresentar [7].

<b>Sais Dissolvidos</b>	<b>Sabor</b>
Cloreto de sódio (NaCl)	Salgado
Sulfato de Sódio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de Sódio (NaHCO <sub>3</sub> )	Ligeiramente salgado a doce
Carbonato de Sódio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	Amargo e salgado
Cloreto de Cálcio (CaCl <sub>2</sub> )	Fortemente amargo
Sulfato de Cálcio (CaSO <sub>4</sub> )	Ligeiramente amargo
Sulfato de Magnésio (MgSO <sub>4</sub> )	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de Magnésio (MgCl <sub>2</sub> )	Amargo e doce
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Adstringente, picante

O **aspecto** consiste na apreciação visual, sem que haja uma quantificação da mesma. Neste caso, observa-se se é límpida ou turva, se apresenta alguma tonalidade ou é incolor.

### **2.2.2. Propriedades físicas**

As propriedades físicas são avaliadas recorrendo a procedimentos específicos e consistem na determinação de diversos parâmetros, tais como: a temperatura, o pH, a turvação e a condutividade eléctrica [10].

A **temperatura** é um parâmetro bastante importante, pois determina a velocidade das reacções químicas, contribui para o aparecimento de microrganismos e intensifica as características organolépticas. No entanto, as águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, a sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Nestes casos, e a grande profundidade, a temperatura da água é influenciada pelo grau geométrico local (em média 1 °C a cada 30 m). Em regiões vulcânicas águas aquecidas podem vir à superfície dando origem às fontes termais. As excepções são os aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura da água altera consoante a temperatura atmosférica havendo assim uma amplitude térmica maior [7, 10].



O **pH** diz respeito à concentração de iões  $H^+$  presentes na água. Em águas puras o valor de pH é neutro, ou seja, a concentração de iões  $H^+$  e  $OH^-$  na água é igual, sendo o valor de pH 7. Este é um parâmetro que depende muito do percurso da água, ou seja, depende muito das características geológicas dos solos que a água captada atravessa. Nas diversas fases de tratamento de uma água para consumo humano, os principais factores que determinam o pH da água são o dióxido de carbono dissolvido e a alcalinidade [7, 10].

A **turvação** mede a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água. A turvação é medida através de um turbidímetro, comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe, de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento maior será a turvação, sendo os valores de turvação expressos em Unidade Nefelométrica de Turvação (UNT). Assim, a turvação depende da quantidade de matéria em suspensão, nomeadamente substâncias inorgânicas e orgânicas. Esta característica é um factor muito importante na água de consumo, pois quando esta apresenta alguma turvação, para além de poder ser prejudicial à saúde, pode levar à sua rejeição pela parte do consumidor [7, 10].

A **condutividade eléctrica** mede a capacidade da água para conduzir corrente eléctrica representando a concentração total de substâncias ionizadas, isto porque, existe uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade eléctrica. A sua determinação só faz sentido em águas para consumo humano, permitindo avaliar o teor de sólidos dissolvidos na água analisada, uma vez que, a maior parte dos sólidos deverá estar ionizada. Assim, quanto mais elevado for o valor da condutividade eléctrica maior será a quantidade de iões presentes na água. Como a condutividade aumenta com a temperatura, usa-se 25°C como temperatura padrão, sendo necessário fazer a correcção da medida em função da temperatura se o equipamento utilizado para a determinação da condutividade, condutivímetro, não o fizer automaticamente [7, 10].



### **2.2.3. Propriedades químicas**

Para a caracterização química de uma água, recorre-se a ensaios experimentais que, através de procedimentos, permitem identificar quantitativamente diversos parâmetros, como: a acidez, a alcalinidade, a dureza, o cloro residual, o oxigénio dissolvido, a oxidabilidade, o ferro, o manganês, entre outros [10].

A **acidez** mede a capacidade da neutralização de uma base e é devida, principalmente, à presença de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A acidez total representa a soma da acidez devido ao  $\text{CO}_2$  e acidez mineral. A nível do consumo humano, este parâmetro não oferece quaisquer problemas, sendo até bom para problemas renais. No entanto em determinadas concentrações provoca um sabor desagradável na água, que pode levar à sua rejeição por parte do consumidor [10].

A **alcalinidade** mede a capacidade de neutralização de um ácido. Por outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes numa água e que actuam como tampão. Assim, numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará qualquer alteração no valor de pH, pois os iões presentes neutralizam o ácido. Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente à presença de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). A nível da saúde pública não oferece qualquer risco, embora uma água alcalina tenha sabor desagradável, e por isso terá que ser tratada para ser consumida [7, 10].

A **dureza** representa a concentração de iões bivalentes presentes na água. Contribuem essencialmente para a dureza da água, os iões: cálcio, magnésio, estrôncio, ferro e manganês. A dureza pode ser: total (mede a totalidade dos iões bivalentes), cálcica (mede o teor em cálcio) e magnésiana (mede o teor em magnésio). Este parâmetro pode ter alguma importância a nível do uso doméstico, pois águas duras não fazem espuma com a adição de detergentes. No entanto, não oferece riscos no que diz respeito à saúde pública. A nível industrial a dureza da água tem um papel relevante, pois pode levar a incrustações [7, 10]. Considera-se uma água muito dura, aquela que tem dureza acima de 300 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , água dura entre 150 e 300 mg/l  $\text{CaCO}_3$  e água moderadamente dura



entre 75 e 150 mg/l CaCO<sub>3</sub>. A água macia apresenta valores inferiores a 75 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

A utilização do **cloro residual** numa água tem como objectivo prevenir a entrada e proliferação de microrganismos na água de abastecimento público. No entanto, da acção do cloro sobre a matéria orgânica presente na água bruta, que é sobretudo constituída por materiais húmicos não biodegradáveis, resulta a produção de compostos laterais, como por exemplo aldeídos e ácidos carboxílicos, tornando-se um problema grave, pois muitos deles são cancerígenos [11].

O **oxigénio dissolvido (OD)** diminui com temperatura e aumento da salinidade, sendo o oxigénio, por si só, pouco solúvel na água. As necessidades de oxigénio dependem fortemente da época sazonal, sendo mais evidente no verão, bem como da altitude, sendo mais evidente em locais mais altos [10].

Este parâmetro é muito importante nas reacções biológicas. A sua determinação permite controlar a poluição dos recursos de água, controlar a taxa de arejamento, no caso das estações de tratamento de águas residuais (ETAR), e controlar a corrosão do ferro e aço nas estações de tratamento de águas (ETA).

O **ferro (Fe)**, é um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. Este elemento provém de minerais escuros portadores de Fe, como por exemplo magnetita, biotita e pirita. Em virtude de afinidades geoquímicas, o ferro é quase sempre acompanhado pelo manganês. O ferro no estado ferroso (Fe<sup>2+</sup>) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe<sup>2+</sup> passa a Fe<sup>3+</sup> dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e precipita, tingindo fortemente a água. Desta forma, águas com alto teor em ferro, ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contacto com o oxigénio do ar ficam com uma cor amarelada, o que lhes confere uma aparência nada agradável. Apesar do organismo humano necessitar de até 19 mg de ferro por dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público não ultrapasse os 0,3 mg/L [7].



No que diz respeito ao **manganês (Mn)**, este ocorre em teores abaixo de 0,2 mg/L, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros [7].

Uma forma de evitar os inconvenientes da precipitação de sais de ferro ou de manganês, é usar substâncias complexantes, à base de fosfato, que encapsulam as moléculas dos sais de Fe e Mn, formando compostos estáveis, não oxidáveis nem mesmo através de forte cloração, mantendo-os desta forma permanentemente em solução. O inconveniente deste processo é que ele não elimina o ferro e o manganês presentes na água, e ainda adiciona mais produto químico (fosfatos) à mesma. Estas substâncias complexantes são também usadas para evitar a precipitação de sais de cálcio e magnésio em águas duras, evitando as indesejáveis incrustações, e diminuindo o consumo de sabão [7].

#### **2.2.4. Propriedades bacteriológicas**

Os **coliformes** são um grupo de bactérias que normalmente vive no intestino dos animais, embora alguns tipos de coliformes possam ser encontrados também no solo, em vegetais ou outros animais (peixes, entre outros). A sua presença indica que a água em análise, possivelmente, esteve em contacto com algum tipo de dejecto animal (incluindo dejectos humanos). Por esse motivo, aliado a outras vantagens como o baixo custo e relativa simplicidade do método de análise, adoptou-se os coliformes como um parâmetro internacional de avaliação da potabilidade da água [12].

A presença de bactérias coliformes numa água não significa necessariamente que essa água não pode ser consumida, pois elas em si não são patogénicas. O que acontece, é que, se elas estão presentes, deve-se contar com a hipótese de estarem presentes também bactérias ou vírus patogénicos (causadores de doenças como gastroenterites, hepatite, febre e cólera). Por esse motivo, uma água só é considerada segura se o exame bacteriológico indicar ausência de qualquer tipo de coliformes [12].

Já no caso específico dos **coliformes fecais**, subgrupo dos coliformes, a sua presença na água indica que essa água, com toda a certeza, esteve em contacto com dejectos animais, o que aumenta a probabilidade de estarem presentes bactérias ou vírus



patogênicos. Assim, a presença de coliformes fecais na água, representa um risco maior para a saúde do que a presença de coliformes sem identificação (coliformes totais), pois nestes podem ou não estar presentes os coliformes fecais [12].

## **2.3. Tecnologias de Tratamento de Água**

### **2.3.1. Descrição geral**

Uma estação de tratamento de água (ETA) é descrita como uma sequência de operações que consistem em melhorar as características físicas, químicas e bacteriológicas da água.

A água captada nas fontes disponíveis na natureza, superficiais ou subterrâneas, com destino ao abastecimento público, deve ser submetida a tratamento. Na maioria dos casos, o tratamento serve para garantir as normas de qualidade estabelecidas, cumprindo os objectivos quer a nível higiénico, com remoção ou redução de bactérias, substâncias venenosas, mineralização excessiva, teor excessivo de matéria orgânica, algas e outros microrganismos patogênicos; quer a nível estético e económico, com remoção ou redução de dureza, cor, turbidez, odor, sabor, ferro e manganês [6, 13].

As várias etapas de tratamento a que se submete a água são determinadas tendo em conta as características da água, e são constituídas por processos físicos, químicos e biológicos.

As águas superficiais, sendo principalmente provenientes de rios ou albufeiras, caracterizam-se por apresentarem variações qualitativas, consoante a época do ano e o estado de poluição da respectiva bacia hidrográfica.

Para as águas de boa qualidade, águas do tipo A1, apenas é proposto por questões de segurança, um tratamento físico por filtração rápida ou lenta e desinfecção final, como mostra a figura 2.1 [6, 14].

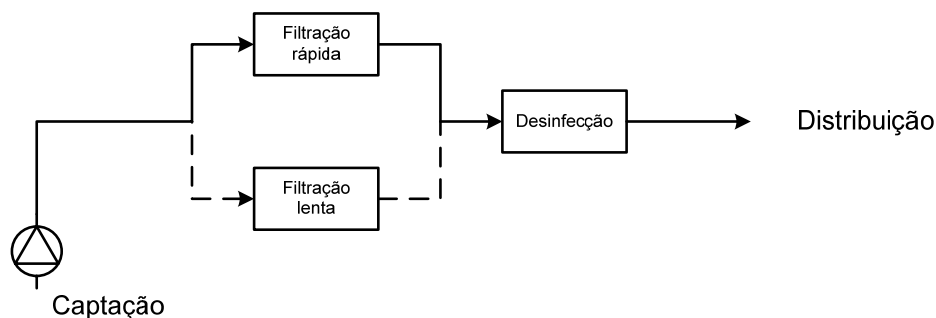


Figura 2.1 – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A1.

Por sua vez, as águas que apresentam um nível de poluição significativo, águas do tipo A2, necessitam não só de um tratamento físico, como também de um tratamento químico (figura 2.2) [6, 14].

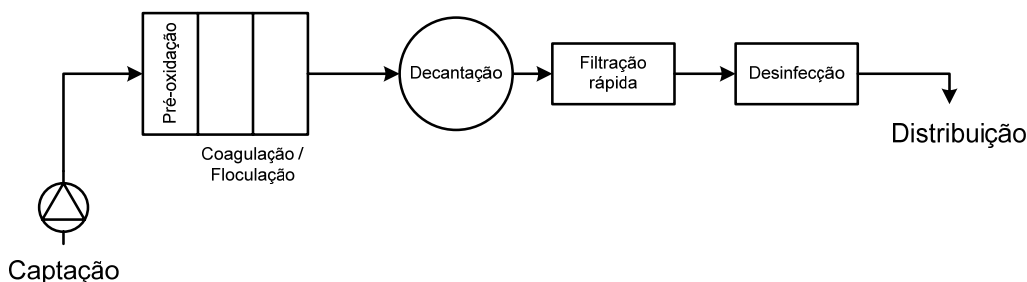


Figura 2.2 – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A2.

As águas consideradas muito poluídas, águas do tipo A3, têm para além do tratamento físico-químico, um tratamento de afinação. Assim, para além das operações unitárias consideradas no tipo de águas anterior, é utilizado carvão activado para a remoção de compostos orgânicos responsáveis pelo sabor e pelo cheiro (figura 2.3) [6, 14].

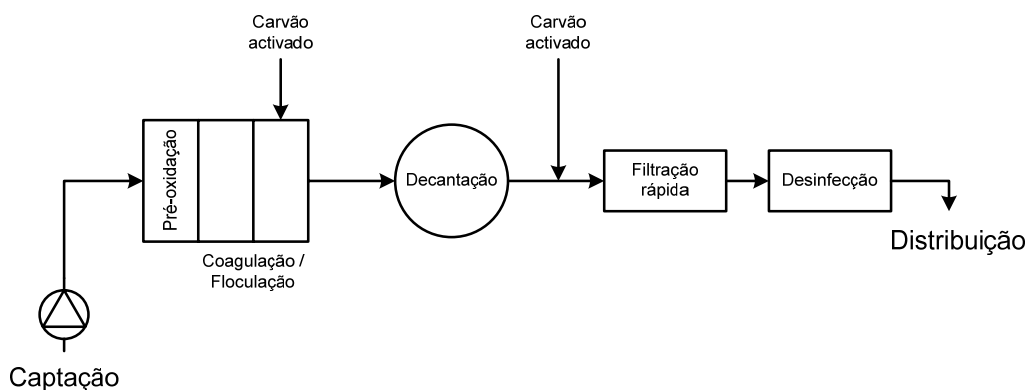


Figura 2.3 – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A3.



Neste tipo de águas superficiais, para além de teores elevados de matéria orgânica, estas podem conter também ferro e manganês. Neste caso pode-se optar por um esquema de pré-oxidação e arejamento, após o qual se procede à floculação / coagulação (figura 2.4) [6].

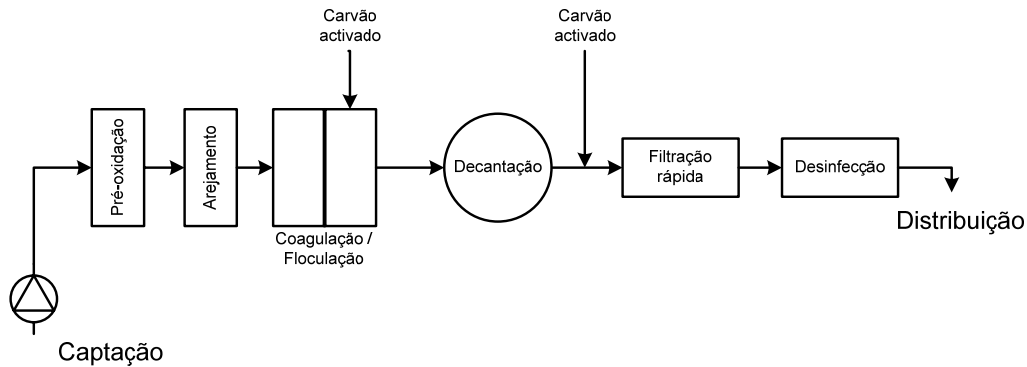


Figura 2.4 – Esquema de uma ETA para águas superficiais do tipo A3, com ferro e manganês.

As águas subterrâneas, uma vez que se encontram protegidas pela formação geológica que atravessam, apresentam geralmente uma qualidade superior relativamente às águas superficiais, sendo em muitos casos, apenas necessária uma desinfecção. As águas subterrâneas podem igualmente possuir quantidades elevadas de ferro e manganês o qual obriga a uma pré-oxidação seguida de arejamento (figura 2.5) [6].

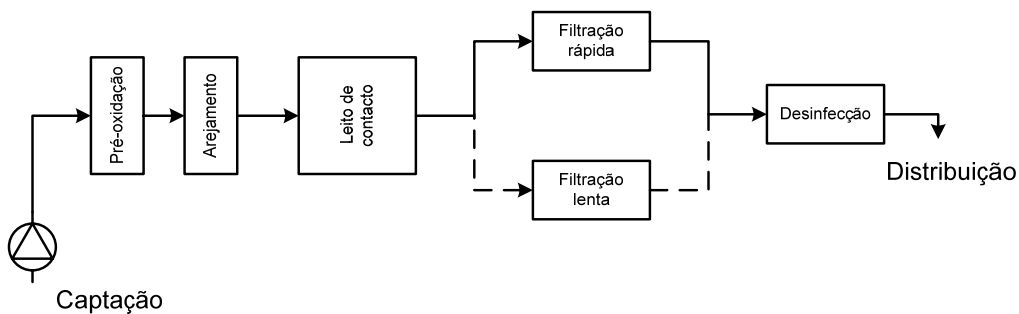


Figura 2.5 – Esquema de uma ETA para águas subterrâneas.



### **2.3.2. Pré-oxidação**

A pré-oxidação é uma prática utilizada em muitos sistemas de tratamento de água, e pode ser entendida como uma operação unitária que consiste em adicionar à água um oxidante, antes de ela ser submetida a qualquer processo físico ou químico de tratamento.

A pré-oxidação pode ser feita com um ou mais objectivos, entre os quais: oxidação de metais, oxidação de matéria orgânica, desinfecção preliminar, decréscimo do consumo de coagulante, redução da cor, remoção de compostos que causam sabor e odor, redução do consumo de compostos derivados do cloro, remoção de microalgas e destruição de toxinas [15].

Os agentes oxidantes e desinfectantes normalmente utilizados na pré-oxidação são: o cloro, o dióxido de cloro, o ozono, radiação ultravioleta, entre outros, que perante uma elevada concentração de matéria orgânica, podem criar subprodutos tóxicos, cancerígenos ou mutagénicos e que em elevadas concentrações e longos períodos de exposição podem causar danos à saúde pública [16].

Assim a pré-oxidação, como primeiro órgão de tratamento, tem como finalidades gerais [10]:

- Favorecer a etapa seguinte.
- Eliminar microrganismos.
- Remover cor e turvação.
- Facilitar a biodegradabilidade.
- Reduzir toxicidade.
- Melhorar o desempenho de floculantes inorgânicos.
- Melhorar a coagulação e sedimentação.
- Remover possíveis interferências na precipitação.
- Reduzir a concentração de cálcio, magnésio, ferro, manganês e metais pesados.



### **2.3.3. Coagulação/floculação**

Os processos de coagulação e floculação são utilizados com o objectivo de separar sólidos suspensos da água, quando estes não possuem uma velocidade de sedimentação suficiente para que de uma forma natural se depositem (nomeadamente partículas com diâmetro inferior a 1  $\mu\text{m}$ ) [6, 17, 18].

A coagulação é um processo que tem por objectivo a desestabilização das partículas em suspensão, ou seja, a remoção das forças que as separam. Assim, coagulação é o processo de neutralização das cargas negativas das partículas, o que possibilita que as mesmas se aproximem umas das outras, promovendo a sua aglomeração, formando, com isso, partículas maiores, que, por sua vez, apresentam maior velocidade de sedimentação.

No tratamento de águas para consumo, o processo de coagulação começa no instante em que se adiciona o coagulante à água e dura apenas uma fracção de segundo, iniciando-se na câmara de mistura rápida. A finalidade desta câmara é criar condições para que, em poucos segundos, o coagulante seja uniformemente distribuído por toda a massa de água. Assim, o processo de coagulação consiste, basicamente, numa série de reacções físicas e químicas entre o coagulante e a superfície das partículas [6, 17, 18].

No entanto, os colóides podem apresentar dois tipos de comportamento: hidrofóbico ou hidrofílico com o meio aquoso. Os hidrofóbicos não reagem com a água, como é o caso da maioria das argilas. Pelo contrário, os hidrofílicos reagem com a água como é o caso dos compostos orgânicos. Pode-se dizer que quanto maior for a quantidade de colóides hidrofílicos maior vai ser a quantidade necessária de agente coagulante adicionado, para que o processo seja eficiente. Para o estudo deste tipo de partículas e sua desestabilização foram criadas algumas teorias, das quais se salientam [6, 17, 18]:

- Compressão da dupla camada.
- Redução do potencial superficial.
- Arrastamento das partículas num precipitado.
- Formação de pontes inter-partículas.



Numa segunda fase, os flocos formados pela aglomeração de vários colóides, no processo de coagulação, podem não ser suficientemente grandes para se depositarem à velocidade desejada. Assim a floculação tem por objectivo aumentar a probabilidade de contactos entre as partículas de modo a permitir que estas se aglomerem umas às outras, formando flocos com dimensões suficientemente grandes para depositarem facilmente (figura 2.6) [6, 17, 18].



**Figura 2.6** – Exemplo de uma câmara de mistura, processo de floculação – ETA da Capinha

Assim, os principais objectivos do processo de coagulação/floculação são [6]:

- Remoção de turvação orgânica ou inorgânica que não pode sedimentar rapidamente.
- Remoção da cor verdadeira e aparente.
- Eliminação de bactérias, vírus e organismos patogénicos susceptíveis de serem separados por coagulação.
- Destrução de algas.
- Eliminação de substâncias produtoras de cheiro e sabor.

Para que o processo de coagulação/floculação seja um processo optimizado, é necessário controlar um vasto conjunto de variáveis que, em muitos casos, se encontram relacionadas entre si. Entre essas variáveis, as mais importantes são: o pH, os sais dissolvidos, a temperatura, o coagulante utilizado, as condições de mistura, a turvação e a cor da água. Uma aproximação teórica da inter-relação destes factores permite prever quais as concentrações óptimas de coagulante para cada caso [6, 17, 18].



O **pH** é a variável mais importante a ter em consideração no processo de coagulação. Para cada tipo de água, existe uma zona de pH para a qual a coagulação é ótima, e que é função do coagulante utilizado, da sua concentração e da composição da água a tratar. Para sais de alumínio e ferro, por exemplo, a gama de valores de pH ótimo é entre 5,5 e 7,8. Assim para algumas águas é necessário, antes do processo de coagulação/floculação, corrigir o pH com a ajuda de reagentes ácidos ou básicos, consoante o pH da água bruta [6, 17, 18].

A concentração de **sais dissolvidos** também exerce influência no processo de coagulação. A quantidade de sais dissolvidos numa água pode alterar a gama ótima de pH, alterar o tempo de floculação, bem como alterar a quantidade de coagulante necessário fazendo com que a quantidade residual de coagulante na água seja variável [6, 17, 18].

Existe, hoje em dia, pouca informação sobre a influência da **temperatura** da água no processo de coagulação. Contudo, algumas experiências realizadas revelam que, à medida que a temperatura se aproxima de 0 °C, os flocos decantam com maior dificuldade e tendem a passar para a operação seguinte, filtração. Uma diminuição da temperatura da água faz com que a sua viscosidade aumente, o qual justifica a maior dificuldade de decantação. É assim necessário adaptar as condições de coagulação às condições ambientais [6, 17, 18].

Também a escolha do **tipo de coagulante** influencia as características da coagulação. Por exemplo, existem coagulantes cuja gama ótima de pH é mais alargada do que outros, bem como para o mesmo valor de pH existem coagulantes mais solúveis do que outros, para um conjunto diverso de tipos de água [6, 17, 18].

Os sais de alumínio são os coagulantes químicos mais usualmente utilizados no processo de tratamento de águas, apresentando maior eficiência quando o pH da suspensão estiver entre 5,0 e 8,0. A maior desvantagem desses sais refere-se ao fato de que as lamas produzidas no processo de tratamento tornam-se um problema ambiental bastante importante, uma vez que o alumínio é um elemento tóxico para plantas e microrganismos [19].



Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sob ampla faixa de pH. Na coagulação, a formação de flocos, com este coagulante, é mais rápida, devido ao elevado peso molecular deste elemento, comparado ao do alumínio. Por conseguinte, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente [19].

O **tipo de mistura** e o **tempo** para cada uma delas também têm influência na coagulação das partículas. A primeira fase, coagulação, requer uma mistura rápida e de curta duração, de modo a promover a dispersão do coagulante pelo volume total da água. A segunda parte, floculação, a mistura é lenta e de longa duração, para favorecer o contacto entre as partículas dos flocos responsáveis pela turvação e pela cor [6, 17, 18].

A **turvação** das águas de superfície é em grande parte devida à presença de material inorgânico de pequenas dimensões com diâmetros que variam entre 0,2 e 0,5  $\mu\text{m}$ . Quando a turvação é muito elevada, a quantidade de coagulante necessária é bastante pequena, pois a probabilidade de colisão entre partículas é muito elevada. Com uma formação de flocos mais facilitada, o processo de coagulação/floculação também se torna mais fácil e menos dispendioso.

No que diz respeito à **cor** das águas de superfície, esta é, em geral, devida à decomposição de matéria orgânica presente com diâmetros superiores a 3,5 nm. As partículas responsáveis pela atribuição de cor à água possuem, na sua maioria, cargas negativas à superfície, estando a sua intensidade dependente do grau de ionização e do pH da água. [6, 17, 18].

#### **2.3.4. Decantação**

A decantação ou sedimentação, usada em todas as estações de tratamento de águas de consumo e águas residuais, tem por objectivo a utilização da força gravítica para separar partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Estas partículas são, em geral, flocos que se formam em processos



de tratamento anteriores, como por exemplo no processo de coagulação/floculação [6, 18, 20].

A sedimentação de partículas floculentas é usualmente chamada decantação e as unidades onde se realiza este processo designam-se por tanques de decantação ou simplesmente decantadores. Os decantadores mais utilizados são decantadores horizontal (figura 2.7), por apresentarem eficiências elevadas e baixa sensibilidade a condições de sobrecarga [6, 18, 20].



**Figura 2.7** – Exemplo de um decantador horizontal de fluxo laminar – ETA da Capinha.

As partículas acumulam-se no fundo do tanque, ao mesmo tempo que a água decantada se dirige à unidade de filtração pela parte superior do tanque. As lamas que ficam depositadas no fundo do decantador são periodicamente removidas, para que a acumulação destas não perturbe o normal funcionamento do órgão [6, 18, 20].

A eficiência dos decantadores é tanto maior quanto mais as condições de funcionamento se aproximarem daquelas que caracterizam o decantador projectado. Em outras palavras, o decantador é tanto mais eficiente quanto mais o tempo de escoamento,  $T$ , se aproximar do tempo de retenção,  $Tr$ . A eficiência é caracterizada pelo factor de deslocamento,  $f$ , expresso em percentagem, ou seja:

$$f = \frac{T}{Tr} \quad (\%) \quad (2.1)$$

onde o valor de  $f$  não deve ser inferior a 40 %.



### **2.3.5. Filtração**

A filtração precedida de esquemas de tratamento prévio permite a remoção de material em suspensão e coloidal que não foi removido, por exemplo, por decantação, permitindo ainda a redução do número de bactérias e microrganismos, de azoto amoniacal que eventualmente ainda esteja presente, bem como a remoção de cor, sabor e cheiro [6, 20, 18].

Os filtros podem ser classificados de acordo com as suas características principais, das quais se pode evidenciar [6, 18, 20]:

- A tecnologia usada: filtros artificiais (areia) ou naturais (aquíferos).
- O tipo de construção: filtros abertos ou gravíticos ou filtros de pressão.
- O número de camadas filtrantes: filtros simples, duplos ou multi-camadas.
- As condições de filtração: filtração superficial ou filtração em profundidade.
- A direcção de escoamento: filtros de escoamento descendente, ascendente ou horizontal.
- A velocidade de filtração: filtros lentos com velocidades de 0,1 a 0,5 m/h ou rápidos com velocidades de 5 a 7 m/h ou 15 a 20 m/h.
- A espessura do meio filtrante: os filtros rápidos podem variar a sua espessura de 0,6 a 3 m dependendo do tipo de tratamento prévio ou que se irá realizar posteriormente. Os filtros lentos têm uma espessura entre 0,6 e 1,0 m.
- O tipo de processo: filtros com actividade biológica verificada em filtros lentos ou rápidos com ozonização (remoção de  $\text{NH}_4$ ) ou sem actividade biológica nos filtros rápidos.
- O material filtrante: material inerte como areia, brita, antracite e plásticos ou não inerte, como carvão activado quer granulado quer em pó.

Na figura seguinte é apresentado um exemplo de um filtro aberto, de fluxo vertical e com lavagem automática.



**Figura 2.8** – Exemplo de filtros abertos de areia, de fluxo vertical e lavagem automática – ETA da Capinha.

É de salientar que, à medida que a água passa pelo meio filtrante, os flocos vão-se depositando sobre ele, aumentando a perda de carga, o que provoca a colmatação da camada superficial. Assim, os filtros devem ser lavados em contra-corrente, de forma contínua ou intermitente, com água tratada de modo a promover a descolmatação do meio filtrante e mantendo a eficiência do processo [6, 18, 20].

### **2.3.6. Desinfecção**

A desinfecção das águas de consumo, iniciada há largas dezenas de anos em muitos países, permitiu que as doenças classicamente associadas à água fossem controladas. Contudo, um número residual de doenças transmissíveis pela água continua a preocupar os agentes de saúde. Estão neste grupo os vírus, certas bactérias (*Campylobacter*, *Yersinia*, *Mycobacteria*) e os protozoários [6].

A desinfecção é um tratamento que permite destruir ou eliminar os microrganismos susceptíveis de transmitir doenças, não incluindo necessariamente a esterilização, ou seja, a eliminação de todos os organismos vivos no meio hídrico. Este processo pode ser realizado através da aplicação de métodos físicos, como o calor, a luz solar ou a radiação (ultra sons, raios gama, ultravioleta); ou métodos químicos, como por exemplo, iões metálicos (cobre, prata e platina), ácidos, bases, cloro ou ozono [6].

A desinfecção pode ser também dividida em natural e artificial. A primeira refere-se à morte progressiva das bactérias produzidas por agentes naturais tais como a luz solar, a sedimentação, a filtração nas camadas arenosas do solo, ou a estabilização da matéria



orgânica diminuindo a reserva de alimento para os microrganismos. No que diz respeito à desinfecção artificial, esta pode realizar-se mediante agentes físicos ou químicos. Os agentes físicos mais importantes são o calor e os raios ultravioletas. Os agentes químicos mais importantes são os halogéneos (cloro, bromo e iodo) a prata ionizada e o ozono [6, 20].

A efectividade de um processo de desinfecção, realizado por qualquer método, mede-se pela percentagem de organismos mortos dentro de um intervalo de tempo, a uma dada temperatura e pH. A taxa de destruição dos microrganismos por acção de um desinfectante é função de um conjunto de variáveis, das quais podemos destacar: concentração e tipo de desinfectante, tempo de contacto, concentração e tipo de microrganismos, temperatura e pH da água [6, 20].

A escolha do **tipo de desinfectante** é bastante importante, pois tem implicações a nível da saúde pública, na aceitação da água pelo consumidor final e no custo final da distribuição. Da gama de agentes desinfectantes passíveis de utilização nos processos de desinfecção, só alguns são utilizados com frequência, dada a necessidade de obediência a alguns critérios. Os desinfectantes deverão possuir as seguintes características para que possam ser utilizados com eficiência nos processos de tratamento de águas de consumo [6, 20]:

- Não ser tóxico para o homem ou para os animais.
- Ser tóxico para os microrganismos.
- Ser solúvel e formar uma solução homogénea na água.
- Ser eficaz às temperaturas normais da água (de 0 a 25 °C).
- Ser estável, fornecendo concentrações residuais durante largos períodos de tempo.
- Não ser agressivos a metais nem prejudicar outras actividades.
- Ser fácil de manipular.
- Ter um doseamento fácil de controlar.

O desinfectante mais utilizado, quer na forma gasosa quer na forma de sais de hipoclorito, é o cloro, pois é um dos desinfectantes que melhor obedece a estes critérios e que tem sido largamente utilizado (figura 2.10). As razões desta preferência por parte



dos distribuidores de água baseiam-se, essencialmente, no baixo custo, na sua eficiência e facilidade de utilização. O cloro é bastante eficaz no controlo dos aspectos organolépticos da água, na remoção de ferro, manganésio e sulfureto de hidrogénio, bem como na desinfeção de reservatórios e tubagens de distribuição. É também bastante eficiente na manutenção da qualidade microbiológica da água através da inibição do crescimento bacteriano e da formação de biofilmes ao longo das tubagens de distribuição, impedindo deste modo recontaminação devida ao crescimento de bactérias que escaparam ao tratamento, bem como de contaminações externas. A ausência de cloro residual ou a sua diminuição brusca, num determinado ponto do sistema de distribuição da água, é um sinal de alerta para uma eventual contaminação [6].

Apesar de os compostos de cloro serem os mais utilizados, estes nos últimos anos têm vindo a ser substituídos por outros compostos, dada a formação de produtos indesejáveis quando o cloro reage com a matéria orgânica presente. Estes produtos derivados da reacção do cloro com a matéria orgânica, podem levar à formação de compostos organoclorados (trihalometanos), que são substâncias caracterizadas pelo seu potencial cancerígeno; ou de clorofenóis, responsáveis por cheiros e sabores desagradáveis.

No que diz respeito à influência da **relação concentração/tempo**, pode-se afirmar que, uma alta concentração necessitará menos tempo para matar 100% dos organismos que uma concentração fraca. Dependendo das características do desinfectante o seu poder bactericida diminuirá mais ou menos rapidamente à medida que a concentração vai diminuindo.

A actividade dos desinfectantes químicos depende também do **pH** da água. Geralmente cada desinfectante apresenta uma gama de pH no qual apresenta actividade máxima. Fora dessa gama, a eficiência do desinfectante decresce, considerando a mesma dose, o mesmo tempo de contacto e a mesma temperatura.



## **2.4. Descrição do processo de tratamento da ETA da Capinha**

A ETA da Capinha pode tratar, em boas condições, um caudal de 250 m<sup>3</sup>/h, ou seja, 6.000 m<sup>3</sup>/dia, a funcionar 24 h/dia. No entanto, em condições de ponta, tem-se verificado que a ETA funciona em condições aceitáveis para caudais superiores, de até 280 m<sup>3</sup>/dia.

### **2.4.1. Pré-oxidação e coagulação/floculação**

A água bruta, proveniente da albufeira da Capinha, é conduzida até uma câmara de contacto, onde se dá início ao processo de tratamento (figura 2.9).

À entrada da câmara é adicionada uma solução saturada de dióxido de cloro. O dióxido de cloro é produzido a partir de dois compostos, o ácido clorídrico e o clorito de sódio, que ao serem alimentados a um reactor formam o dióxido de cloro (equação 2.2).



Em seguida, ainda na câmara de contacto, é introduzido o dióxido de carbono e o leite de cal, preparado em cubas à parte. Por fim, à saída é adicionado o coagulante policlorosulfato de alumínio.

Após a adição do floculante, a água é conduzida para uma câmara de chicanas, onde se processa a floculação, e para melhorar a eficiência de tratamento, à saída das chicanas adiciona-se carvão activado para que o sabor e o cheiro sejam totalmente removidos.

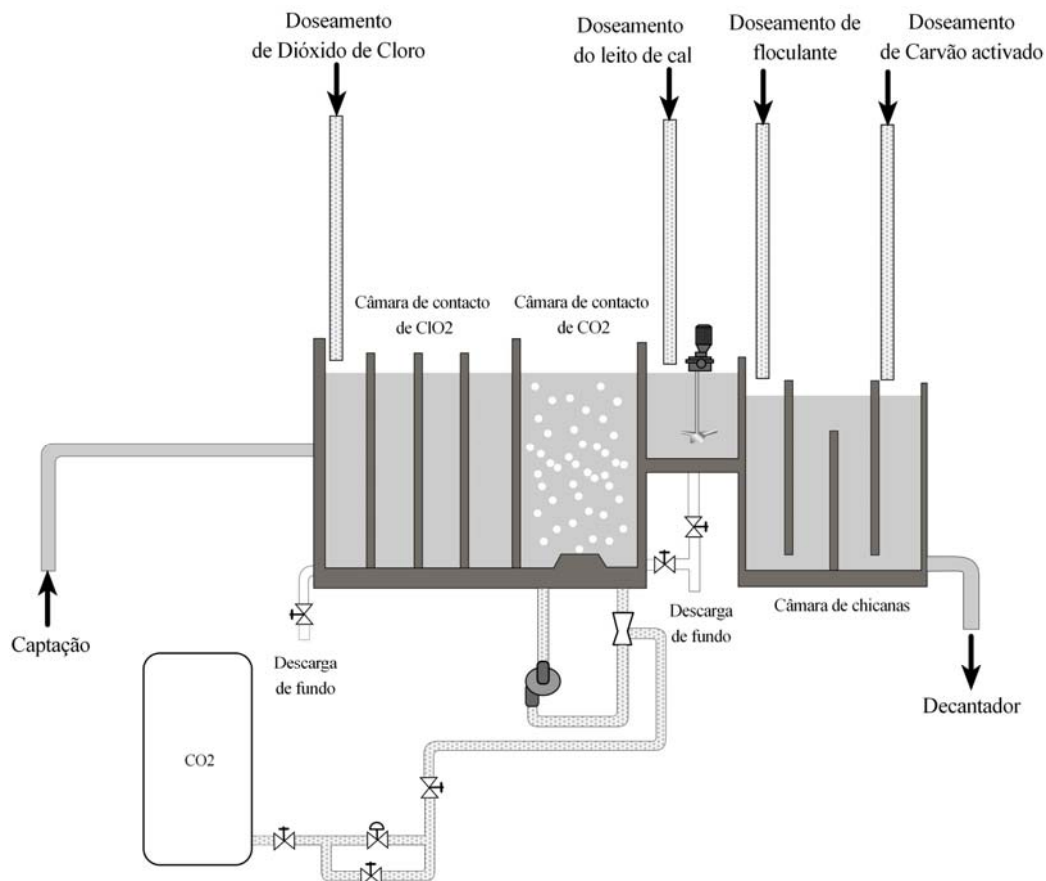


Figura 2.9 – Representação esquemática do processo de pré-oxidação e de coagulação/floculação, da ETA da Capinha.

## 2.4.2. Decantação

No final da pré-oxidação a água é conduzida para 4 decantadores, para que se proceda à separação da matéria orgânica floculada da água tratada (figura 2.10).

O decantador existente na ETA da Capinha é horizontal de fluxo laminar, tem 4 condutas de retirada de lamas na parte inferior do decantador, saindo a água tratada na parte superior. Assim, enquanto que a água decantada é encaminhada para a fase seguinte de tratamento, filtração, as lamas são encaminhadas para uma estação elevatória de lamas.

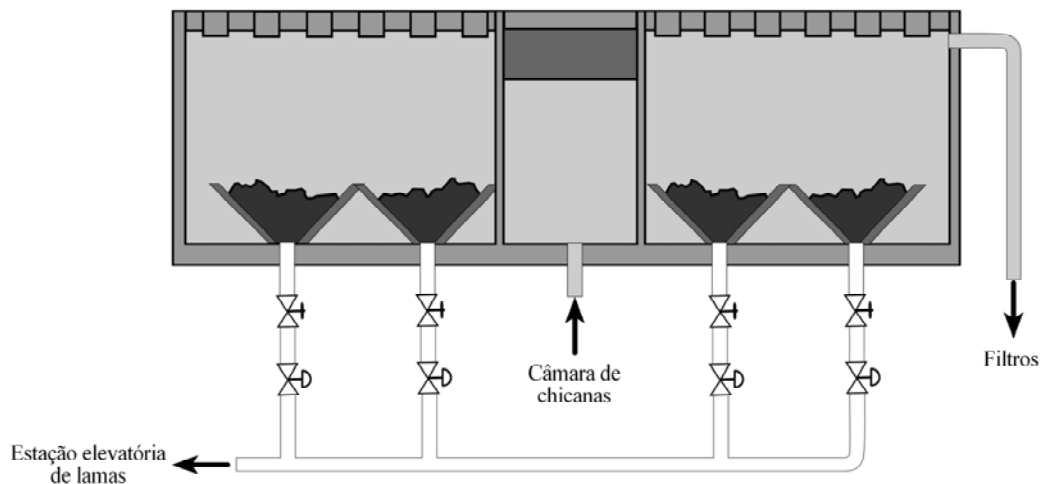


Figura 2.10 – Representação esquemática do processo de decantação da ETA da Capinha.

### 2.4.3. Filtração

À saída dos decantadores a água é encaminhada para 4 filtros abertos de areia, de fluxo vertical. Os filtros são dotados de lavagem automática em contra corrente, que por sua vez pode ser efectuada com água de serviço ou com ar comprimido. Quando um filtro entra em lavagem, toda a água que daí provém é encaminhada para uma estação elevatória de lamas. A figura seguinte representa o funcionamento de um filtro presente na ETA da Capinha.

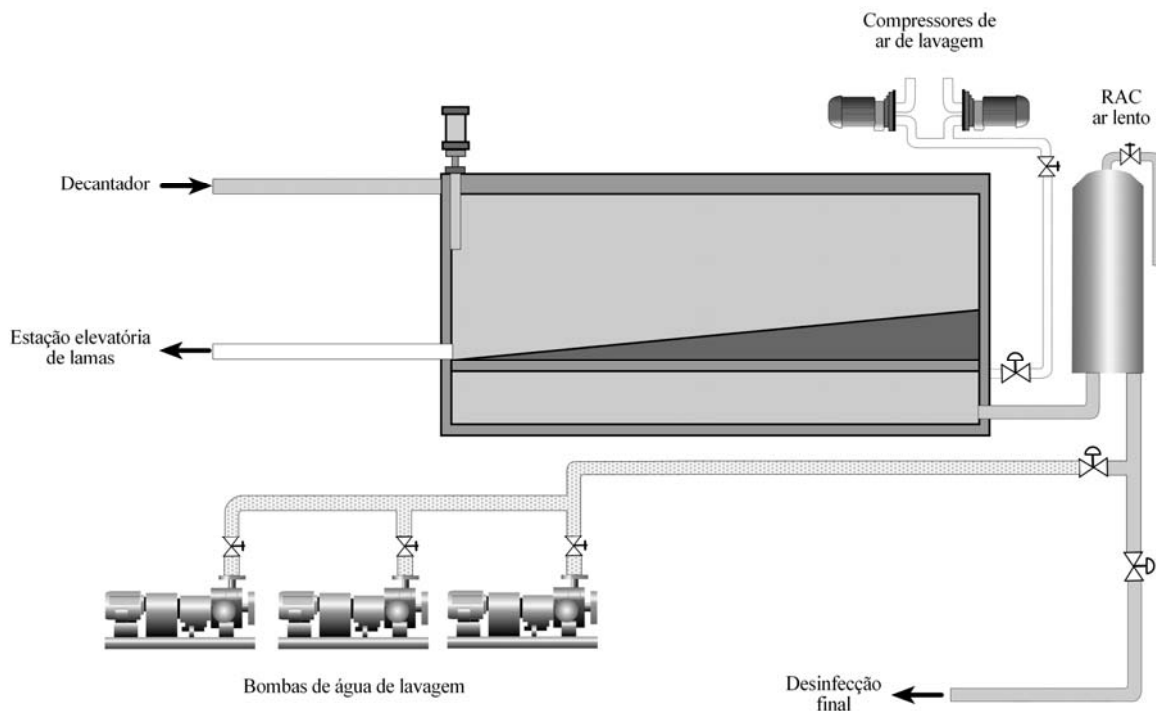


Figura 2.11 – Representação esquemática do processo de filtração da ETA da Capinha.



## 2.4.4. Desinfecção final

Após a saída dos filtros é adicionado hipoclorito de sódio (figura 2.12). Esta adição serve para garantir o nível de desinfecção necessária e imposta por lei, até ao consumidor final.

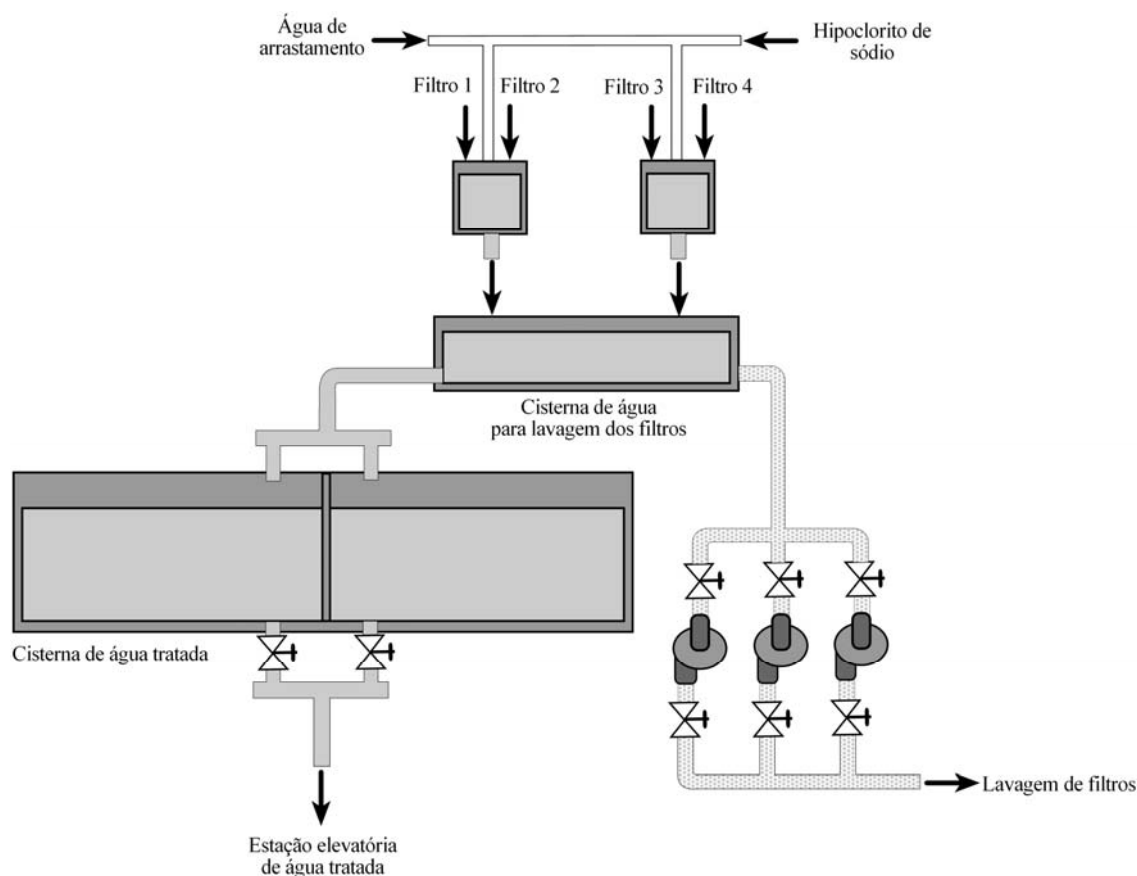
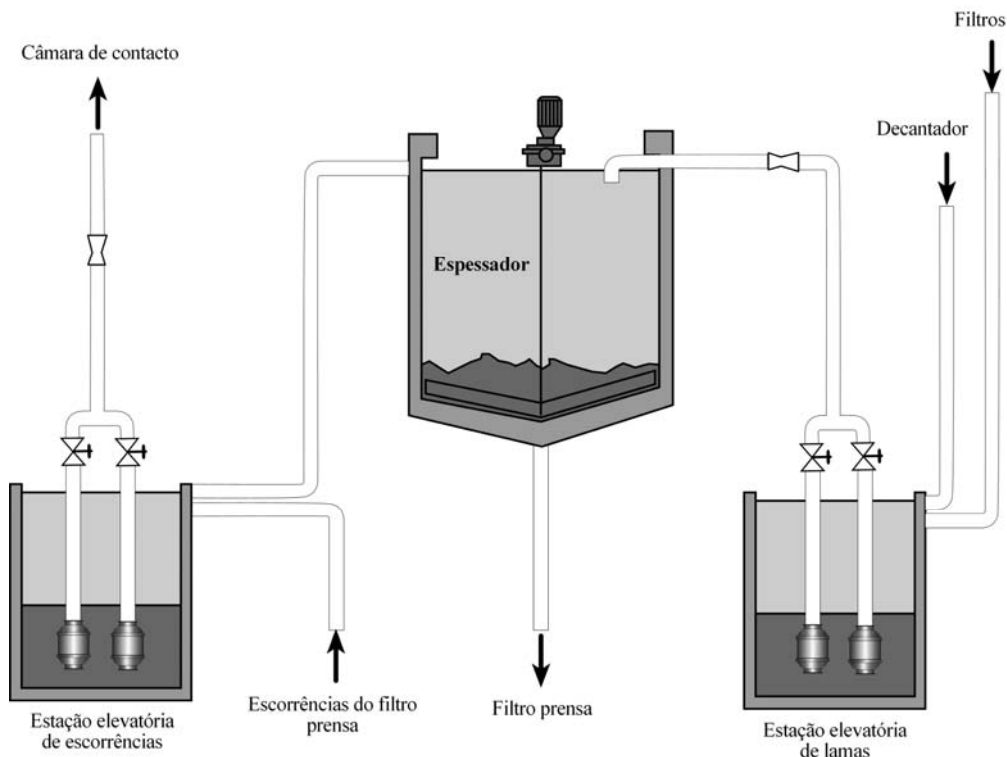


Figura 2.12 – Representação esquemática do processo de desinfecção final da ETA da Capinha

## 2.4.5. Desidratação de lamas

Como já referido anteriormente, as lamas provenientes do decantador e da água de lavagem dos filtros, são encaminhadas para uma estação elevatória de lamas. Desta estação elevatória as lamas são elevadas para um espessador (figura 2.13).

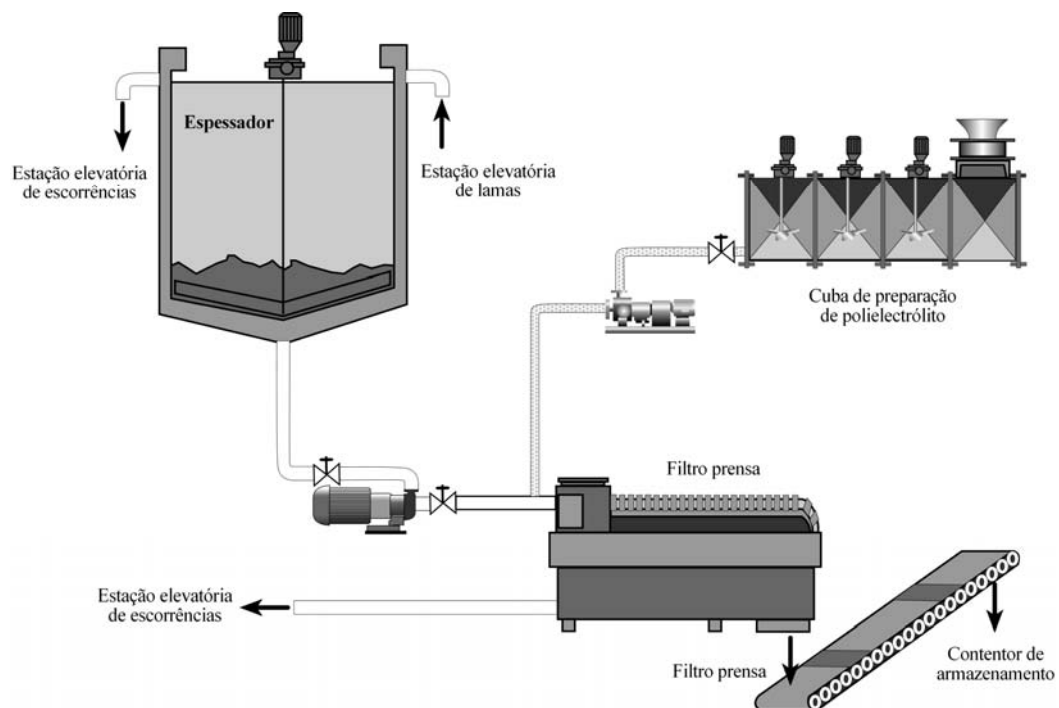
No espessamento das lamas, as escorrências são encaminhadas para uma estação elevatória e elevadas até à câmara de contacto, passando novamente por todo o processo de tratamento. No caso das lamas espessadas, estas são encaminhadas para um processo mecânico de desidratação.



**Figura 2.13** – Representação esquemática do processo de espessamento de lamas da ETA da Capinha.

O equipamento utilizado na desidratação de lamas é o filtro prensa (figura 2.14). Para que a eficiência do processo de desidratação seja o desejado, antes da entrada das lamas no filtro prensa, é adicionado um polielectrólito que, sendo totalmente hidrofóbico, faz com que os flocos (lamas) se agrupem mais, aumentando a eficácia do processo. Após desidratação, as lamas são armazenadas num contentor, tendo como destino final a incineração.

As escorrências provenientes do processo de desidratação são encaminhadas para uma estação elevatória e elevadas até à câmara de contacto, passando novamente por todo o processo de tratamento.



**Figura 2.14** – Representação esquemática do processo de desidratação de lamas da ETA da Capinha.



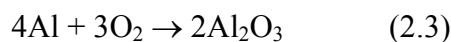
## **2.5. Presença do alumínio nas águas de consumo**

### **2.5.1. Propriedades físicas e químicas do alumínio**

Apesar de ser um dos metais mais abundantes da crosta terrestre (principalmente sob a forma de silicatos), constituindo cerca de 8 % do seu peso total, o alumínio só foi descoberto em 1825 por Hans Christian Oersted, embora seja dado a Friedrich Wöhler o reconhecimento do isolamento do alumínio em 1827. Várias décadas ainda passariam antes de serem desenvolvidos processos que permitissem a sua obtenção, a nível industrial, num estado razoavelmente puro [12, 21].

Este metal faz parte da composição de um grande número de rochas e pedras preciosas. Entre as primeiras cabe mencionar, graças ao seu interesse mineralógico ou metalúrgico, os feldspatos, as micas, a turmalina, a bauxita e a criolita. Entre as pedras preciosas, aquelas que apresentam um maior teor de alumínio são o coríndon, as safiras e os rubis [21].

O alumínio (Al) é um metal branco, brilhante, leve e, em estado puro, bastante mole e maleável. Apresenta uma estrutura cristalina cúbica de face centrada, característica de todos os elementos metálicos, tem uma densidade de 2,702 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C e funde a 660 °C (tabela 2.4). Possui altos índices de condutividade eléctrica e não se altera em contacto com o ar ou em presença de água, graças à formação de uma fina capa de óxido que o protege de ataques do meio ambiente (equação 2.3) [21, 22].



Apresenta, no entanto, elevada reactividade quando em contacto com outros elementos. Por exemplo, ao combinar-se com halogéneos (cloro, flúor, bromo e iodo) ou com o enxofre, produz imediatamente os respectivos halogenetos e sulfatos de alumínio [12]. A equação 2.4 é um exemplo de uma reacção química entre o alumínio e um halogéneo.





Na tabela seguinte estão representadas algumas propriedades do alumínio.

**Tabela 2.3** – Principais propriedades do alumínio [12].

<b>Propriedades gerais</b>	<i>Nome</i>	Alumínio
	<i>Símbolo</i>	Al
	<i>Número atómico</i>	13
	<i>Classe</i>	Metal
	<i>Série Química</i>	Representativo (família do Boro)
	<i>Densidade</i>	2697 kg/m <sup>3</sup>
	<i>Dureza</i>	2,75
	<i>Cor</i>	Cinza prateado
<b>Propriedades atómicas</b>	<i>Massa atómica</i>	26,9815386(8)
	<i>Raio médio</i>	125 pm
	<i>Raio atómico calculado</i>	118 pm
	<i>Configuração electrónica</i>	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
	<i>Estados de oxidação</i>	3
	<i>Estrutura cristalina</i>	Cúbica centrada nas faces
<b>Propriedades físicas</b>	<i>Estado da matéria</i>	Sólido
	<i>Ponto de fusão</i>	933,473 K (660,323 °C)
	<i>Ponto de ebulição</i>	2792 K (2519°C)
	<i>Entalpia de vaporização</i>	293,4 kJ/mol
	<i>Entalpia de fusão</i>	10,79 kJ/mol
	<i>Pressão de vapor</i>	2,42x10 <sup>-6</sup> Pa a 577 K
	<i>Velocidade do som</i>	5100 m/s a 933 K
<b>Outras informações</b>	<i>Electronegatividade</i>	1,61 (Pauling)
	<i>Calor específico</i>	900 J/Kg.K
	<i>Condutividade eléctrica</i>	37,7x10 <sup>6</sup> /mΩ
	<i>Condutividade térmica</i>	237 W/m.K



### **2.5.2. Fontes da exposição ambiental e humana**

O alumínio ocorre naturalmente no solo, na água e no ar, sendo o seu transporte condicionado por diversos factores, como o fluxo hidrológico, as interações solo-água ou as características geológicas. Sendo o maior constituinte de uma variedade de componentes atmosféricos, particularmente das poeiras do solo e das partículas derivadas da combustão do carbono, o alumínio, nas áreas urbanas, atinge níveis entre 3,7 e 11,6 µg/kg de ar. Os níveis, por vezes elevados, de alumínio no ambiente podem ser causados pela mineração e conseqüente processamento de minérios, ou até mesmo pela sua libertação para o meio ambiente por centrais eléctricas alimentadas a carvão, e por incineradoras [23].

O alumínio é um metal que não pode ser destruído, apenas pode mudar de forma e ligar-se ou separar-se de partículas. Partículas de alumínio libertadas de centrais eléctricas e de outros processos de combustão ligam-se geralmente a partículas muito pequenas, podendo permanecer vários dias na atmosfera. Já o alumínio de solos sedimentares é geralmente encontrado em partículas de maiores dimensões. No entanto, a maior parte do alumínio acaba no solo ou em sedimento, pois aquele que fica na atmosfera é arrastado pela chuva, do ar para o solo, podendo ser um dos constituintes da, denominada chuva ácida [23].

A maioria dos compostos que contêm alumínio não têm grande solubilidade em água, excepto em água ácida ou muito alcalina. No entanto, quando ocorrem chuvas ácidas, para além das partículas presentes na atmosfera serem arrastadas, os compostos de alumínio no solo, podem também, dissolver-se e serem arrastados para lagos e rios, aumentando a concentração de alumínio na água captada (superficial ou subterrânea). Já no processo de tratamento de água, o uso de sulfato de alumínio e de outros compostos de alumínio como agentes coagulantes, podem aumentar também, de uma forma significativa a quantidade de alumínio na água para consumo humano [23].

A exposição humana ao alumínio ocorre através dos alimentos que ingerimos, da água que bebemos, dos medicamentos que tomamos, como os antiácidos e alguns analgésicos, e do ar que respiramos. Outra forma de exposição é o contacto directo da



pele com o solo, água e antitranspirantes. Desta forma, podemos atribuir à exposição humana cinco fontes: o ar, a alimentação, a água de consumo, os medicamentos, os cosméticos e, por fim, a actividade ocupacional [23].

O organismo humano saudável possui barreiras efectivas (tracto gastrointestinal, pulmões e pele) para reduzir a absorção do alumínio ingerido na água, alimentos, ar e medicamentos. No que respeita à alimentação, devido à toxicidade que o alumínio dissolvido representa para muitos organismos aquáticos, incluindo peixes, estes animais morrem antes de o alumínio no seu organismo atingir níveis muito elevados. Assim sendo, os vegetais, frutas, peixe e carne consumidos diariamente, não contêm níveis de alumínio considerados perigosos para os humanos [23].

### **2.5.3. Efeito da exposição no ser humano**

Talvez pela abundância do alumínio na crosta terrestre (na forma de óxido de alumínio,  $Al_2O_3$ ), ele é tido como inofensivo, apesar da exposição a altas concentrações poder causar problemas de saúde, principalmente quando na forma de iões solúveis em água. A toxicidade aguda por alumínio metálico e seus compostos é baixa, variando o  $DL_{50}$  (dose letal) entre, algumas centenas e 1000 mg de alumínio por 1 kg peso corpóreo por dia [23].

A ingestão por muito tempo de alumínio em altas concentrações pode levar a sérios problemas de saúde como: demência, danos ao sistema nervoso central, perda de memória, surdez, fortes tremores, dores musculares, cólicas, fraqueza ou inapetência. Tem-se sugerido que o alumínio possa estar relacionado com a doença de Alzheimer, ainda que esta hipótese não tenha comprovação conclusiva, pois devido à sua acumulação, a concentração de alumínio aumenta com o avanço da idade. No entanto, nenhuma doença é relacionada com uma deficiência de alumínio no organismo [4, 22].

A inspiração de alumínio em pó em fábricas onde este elemento é utilizado no processo de produção pode levar à fibrose pulmonar e a outros danos dos pulmões. Este efeito, conhecido pela doença de Shaver, é complicado pela presença no ar de sílica e óxido de ferro. No caso de doentes insuficientes renais e sujeitos a hemodiálise, para além dos



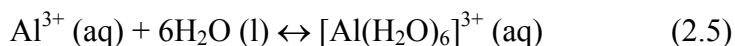
rins, em mau funcionamento, não conseguem eliminar a quantidade de alumínio absorvida diariamente (mesmo que pequena), a possível contaminação da água usada na hemodiálise pode aumentar os problemas de saúde que advêm da acumulação do alumínio [22, 23].

A concentração total de alumínio no corpo humano é aproximadamente 9 ppm. Em alguns órgãos como no baço, rins e pulmões podendo atingir a concentração de 100 ppm, sendo o consumo diário de alumínio, aproximadamente, 5mg, do qual apenas uma pequena porção é absorvida (10µg/dia). Estas quantidades são consideradas inofensivas para os humanos. Para os casos em que a absorção de alumínio é anormalmente alta aconselha-se a toma de silicone, produto que, geralmente, diminui esta absorção. É, no entanto, de difícil remoção do organismo. Apesar do esforço significativo, ainda não se sabe como o alumínio é absorvido no tracto gastrointestinal. Sabe-se, no entanto, que a absorção de algum alumínio pode ocorrer no estômago, mas a maioria da absorção é feita no intestino. A absorção no intestino depende do pH e da presença de ligandos complexantes, particularmente ácidos carboxílicos (como o ácido cítrico, ácido ascórbico e ácido láctico), que são absorvíveis. Todavia, a absorção do alumínio é diminuída pela formação de complexos insolúveis (por exemplo, com fosfato ou silicato) [4, 23].

#### **2.5.4. Comportamento do alumínio na água**

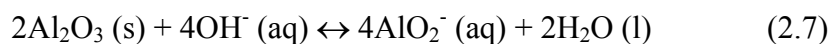
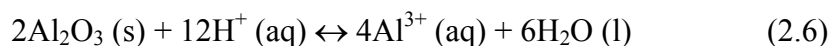
O alumínio, quando em contacto com a água, desenvolve rapidamente uma fina camada de óxido de alumínio, com alguns milímetros de espessura, que impede que o metal reaja com a água. Quando esta camada é corrompida dá-se uma reacção química em que é produzido hidrogénio altamente inflamável [24, 25].

No que respeita a compostos de alumínio, como por exemplo, o cloreto de alumínio, este hidrolisa na água e forma uma névoa quando em contacto com o ar, pois são formadas gotas de ácido clorídrico quando este reage com vapor de água. Iões de alumínio constituintes de outros compostos também são hidrolisados quando em contacto com água. A reacção de hidrólise termina quando a carga catiónica se esgota, formando-se um hidróxido. A reacção de hidrólise é a seguinte [24, 25]:



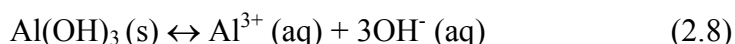
Os compostos de alumínio mais abundantes são o óxido de alumínio e o hidróxido de alumínio, ambos insolúveis em água.

Os óxidos de alumínio podem estar presentes em água tanto na forma alcalina, como na forma ácida, representadas respectivamente, pelas equações seguintes:



A solubilidade de compostos à base de alumínio na água pode ser afectada por diversos factores, de entre os quais: a temperatura e o pH da água, o efeito do ião comum e os equilíbrios de complexação [24].

Num equilíbrio de dissolução em que entrem iões  $\text{OH}^-$ , tal como o equilíbrio de dissolução do hidróxido de alumínio, por exemplo, o **pH** da solução irá afectar a solubilidade do sólido.



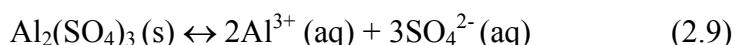
Pelo princípio de Le Chatelier, verifica-se que ao aumentar a concentração de iões  $\text{OH}^-$  (aumentando o pH) na solução, o equilíbrio desloca-se no sentido da formação de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , sólido, reduzindo então, a solubilidade deste. Por outro lado, ao aumentar a concentração de iões  $\text{H}^+$  (diminuindo o pH) vamos reduzir a concentração de iões  $\text{OH}^-$  em solução, pelo que a solubilidade aumenta [24, 25].

No caso de compostos à base de alumínio, pode-se dizer que para valores extremos de pH, estes são solúveis na água, havendo uma gama bastante estreita de valores para os quais o composto é insolúvel, conseguindo assim sair do processo de tratamento, cumprindo o valor paramétrico estabelecido por lei (Anexo 1). Assim, para valores de



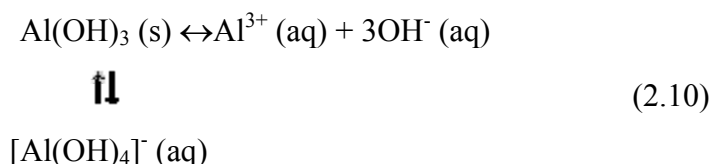
pH inferiores a 4 e superiores a 9, os complexos predominantes são o  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  e o  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , ambos solúveis. Para valores de pH entre 5 e 6, os principais produtos formados por hidrólise são  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , que também são solúveis na água. Já para valores de pH entre 5,2 e 8,8 a espécie predominante é o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que, sendo um composto sólido, precipita. Por conseguinte, as lamas de depuração na purificação da água com um pH entre 6,8 e 7,3, os sais de alumínio, estão presentes como hidróxidos [24, 25].

Fazendo a análise da equação de equilíbrio de dissociação para, por exemplo, o sulfato de alumínio, aplicando o princípio de Le Chatelier, verifica-se que, ao aumentar a concentração de um dos iões, por exemplo o ião sulfato, o equilíbrio deslocar-se-á no sentido de formação de sulfato de alumínio sólido, diminuindo, portanto, a solubilidade deste sal. Este efeito é denominado efeito do ião comum (equação 2.9) [24, 25].



Desta forma, justifica-se o facto de que quando se adiciona sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) a uma solução saturada em  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , aumentando a concentração do ião  $\text{SO}_4^{2-}$ , uma parte do sulfato de alumínio em solução precipitará.

A solubilidade de um determinado composto depende também da sua capacidade para formar iões complexos. Por exemplo, se considerarmos o hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$  em água pura, se houver um excesso de hidróxido, a solubilidade do composto aumenta, pois paralelamente são formados complexos solúveis na água (equação 2.10) [24, 25].



A constante de equilíbrio associada a um equilíbrio de complexação denomina-se constante de formação do complexo, sendo designada por  $K_f$ .



## Capítulo III

### 3. Método e Análises

#### 3.1. Descrição do local de projecto

##### 3.1.1. Empresa Águas do Zêzere e Côa, S.A.

A Águas do Zêzere e Côa, SA (AdZC) é uma sociedade anónima de direito privado e capitais exclusivamente públicos, sendo accionistas a Águas de Portugal, a Associação de Municípios da Cova da Beira e os Municípios utilizadores do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Alto Zêzere e Côa, criado pelo Decreto-Lei nº 121/2000, de 4 de Julho.

Com a assinatura do Contrato de Concessão celebrado entre o Estado Português e a Empresa, foi-lhe atribuída a responsabilidade de construir, gerir e explorar o Sistema Multimunicipal por um período de 30 anos. Em consequência, foram celebrados contratos de fornecimento de água e de recolha de águas residuais com os Municípios.

Integravam este sistema os municípios de: Almeida, Belmonte, Covilhã, Figueira de Castelo Rodrigo, Fundão, Guarda, Manteigas, Mêda, Penamacor, Pinhel e Sabugal. Posteriormente, por Despacho Ministerial nº 18133/2003, publicado no Decreto-Lei nº 219, 2ª Série, de 22 de Setembro de 2003, foi alargada a concessão aos municípios de Celorico da Beira, Fornos de Algodres, Gouveia, Oliveira do Hospital, Seia e Aguiar da Beira, abrangidos pela bacia hidrográfica do Mondego Superior. O Município da Covilhã, previsto inicialmente no Contrato de Concessão como utilizador do Sistema de Tratamento de Águas Residuais em 10 freguesias, foi desafectado da ligação a este Sistema em Novembro de 2004.

Com a conclusão do projecto de alargamento ao Mondego Superior, o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Alto Zêzere e Côa terá capacidade para fornecer um caudal de água máximo de cerca de 36,4 milhões de m<sup>3</sup>/ano, e estará dimensionado para tratar um caudal de efluentes, domésticos e industriais, de 97 500 m<sup>3</sup>/dia, provenientes de cerca de 399 000 Hab.eq..



A AdZC abrange uma área de 6393, 2 km<sup>2</sup> correspondente a cerca de 7% do território nacional num território montanhoso, com uma orografia “complexa” e escassamente povoado. A população residente é inferior a 230 000 habitantes, menos de 2,3% da população portuguesa tendo uma densidade populacional da ordem dos 35 Hab/km<sup>2</sup>, 1/3 da média nacional [8].

### **3.1.2. Estação de Tratamento de Água da Capinha**

A actual Estação de Tratamento de Água (ETA) da Capinha foi construída em 1985, na sequência da construção da barragem da Capinha. A ETA é explorada desde 2001 pela Águas do Zêzere e Côa.

A ETA da Capinha fica situada próximo da povoação do mesmo nome, sendo a principal origem de água a albufeira da Capinha. A albufeira tem uma capacidade de cerca de 500.000 m<sup>3</sup>, tendo a ETA capacidade de produzir 350 m<sup>3</sup>/h de água tratada.

## **3.2. Caracterização da água tratada na ETA da Capinha**

### **3.2.1. Amostragem**

As amostras efectuadas neste trabalho, para que se pudesse caracterizar e monitorizar a qualidade da água em estudo, foram efectuadas sempre que a ETA da Capinha estava a funcionar, várias vezes ao dia e de uma maneira pontual, ou seja, a colheita da amostra foi efectuada num momento bem determinado, sendo as características da água existentes nesse momento as representadas pela amostra.

#### **Caracterização dos pontos de amostragem**

Os pontos de amostragem, onde foi efectuado o controlo analítico, não são os mesmos para todos os parâmetros em estudo. O esquema de pontos de amostragem apresentado na figura seguinte é um resumo de todos os pontos utilizados para recolha de amostras pontuais.

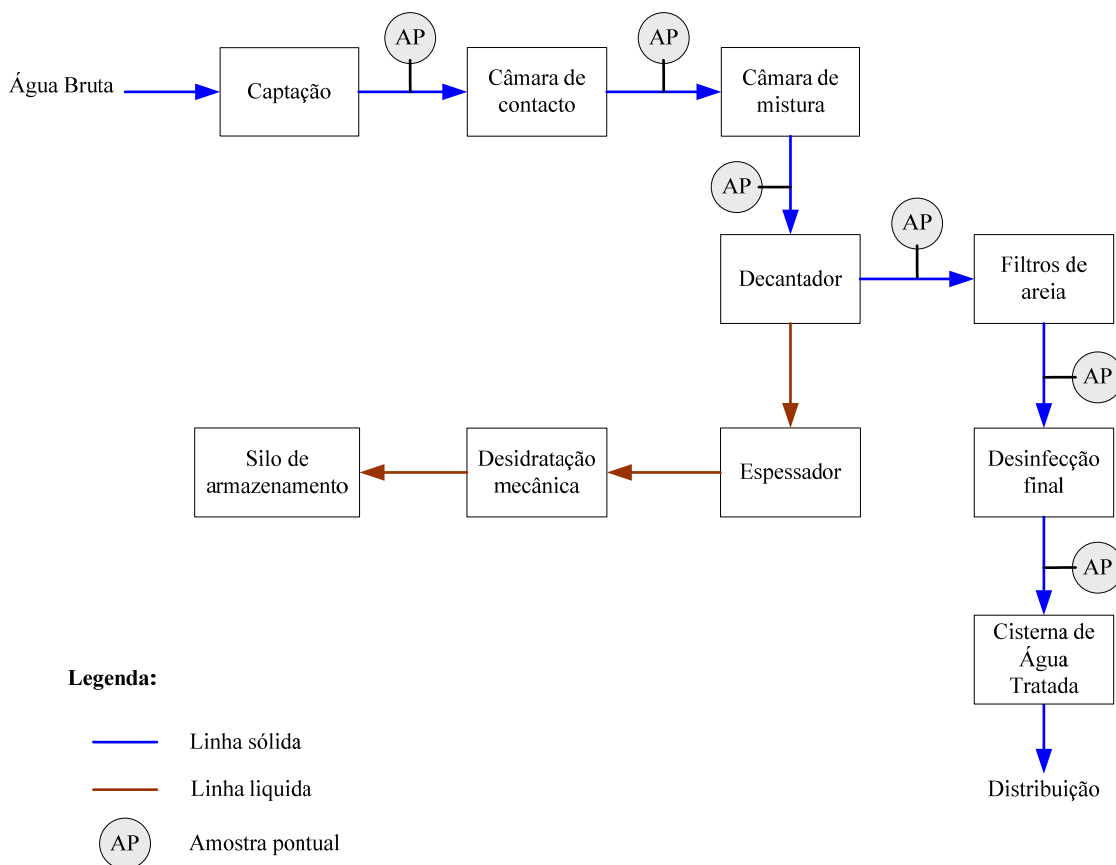


Figura 3.1 – Esquema representativo utilizado na recolha das amostras.

### 3.2.2. Controlo analítico

As análises que foram efectuadas à água em algumas das diferentes fases de tratamento foram as seguintes: pH, temperatura, turvação, dióxido de cloro, alcalinidade, condutividade e alumínio. (Todos os procedimentos experimentais encontram-se descritos no Anexo 2.)

#### 3.2.2.1. Medição de pH, temperatura e condutividade

As medições do pH, da temperatura e da condutividade foram efectuadas com um aparelho multiparamétrico manual *HQ 30d* da *Hach*, como mostra a figura 3.2. O eléctrodo utilizado para a medição de pH e temperatura foi um eléctrodo de vidro, enquanto que para a medição de condutividade foi utilizado um com 4 pólos de grafite.



**Figura 3.2** – Medidor de pH, temperatura e condutividade utilizado no controlo analítico.

### **3.2.2.2. Medição da turvação**

Na determinação deste parâmetro foi utilizado um turbidímetro de marca *Eutech Instruments* e modelo *TN-100* com fonte luminosa de infravermelhos, cujo sensor é uma fotocélula de silício (figura 3.3).



**Figura 3.3** – Turbidímetro utilizado no controlo analítico.

### **3.2.2.3. Medição do dióxido de cloro, alcalinidade e alumínio**

Na determinação destes parâmetros usou-se um colorímetro da *AQUA LYTIC* (figura 3.4). Em análise de água o princípio de detecção fotométrica é aquele no qual, após a adição de um reagente, diferente para cada um dos parâmetros, a absorção ou transmissão de luz monocromática é utilizada para medir a concentração destes.



**Figura 3.4** – Colorímetro utilizado para a medição do dióxido de cloro, alcalinidade e alumínio, no controlo analítico.



## Capítulo IV

### 4. Resultados e Discussão

O estudo efectuado à água tratada e de todo o processo de tratamento, que diz respeito à ETA da Capinha, foi realizado durante o período de 01 de Outubro de 2007 a 31 de Maio de 2008.

Os resultados apresentados para cada parâmetro são uma média mensal dos resultados obtidos diariamente, pois cada análise é normalmente efectuada com uma periodicidade de uma ou mais vezes por dia. As tabelas resultantes do tratamento dos resultados obtidos encontram-se no Anexo 3.

#### 4.1. Caracterização da água em estudo

##### 4.1.1. Temperatura

A figura 4.1 representa a variação da temperatura da água bruta ao longo dos meses. Na análise ao gráfico pode-se verificar que a variação da temperatura da água acompanha a temperatura ambiente normal dos meses em questão.

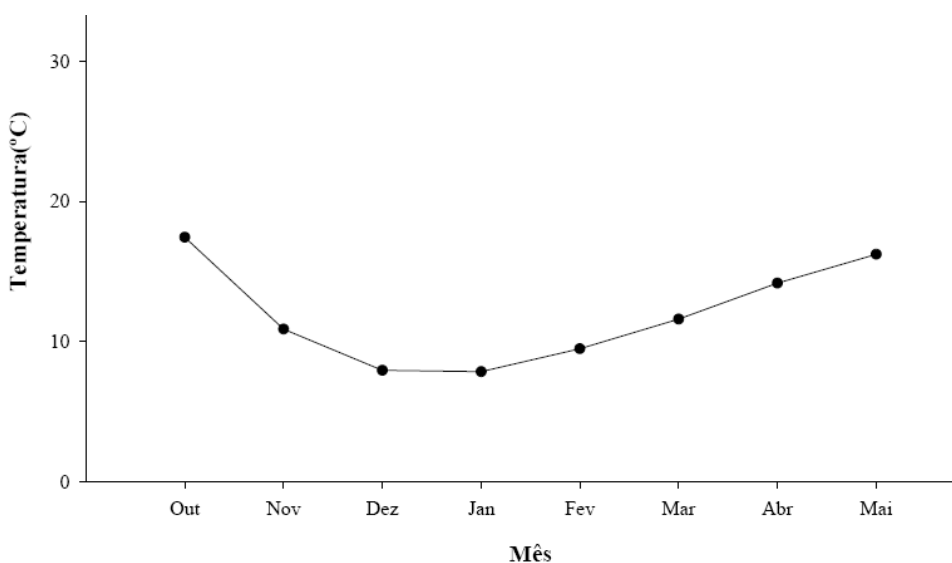


Figura 4.1 – Valores de temperatura da água captada (bruta), ao longo dos meses em estudo.



### 4.1.2. pH

A figura 4.2 representa a variação do pH ao longo do tempo, nas diferentes fases de tratamento da água em estudo. A variação observada no pH é pequena sendo 7,43 o valor máximo e 6,67 o mínimo, encontrando-se sempre dentro dos limites legislados (Anexo1). Verifica-se também que o pH da água bruta é sempre o valor mais elevado, sendo o valor da câmara de mistura o mais baixo em todos os meses. A razão pela qual se verifica este facto é porque, é na câmara de contacto, anterior à de mistura, que se corrige o valor de pH.

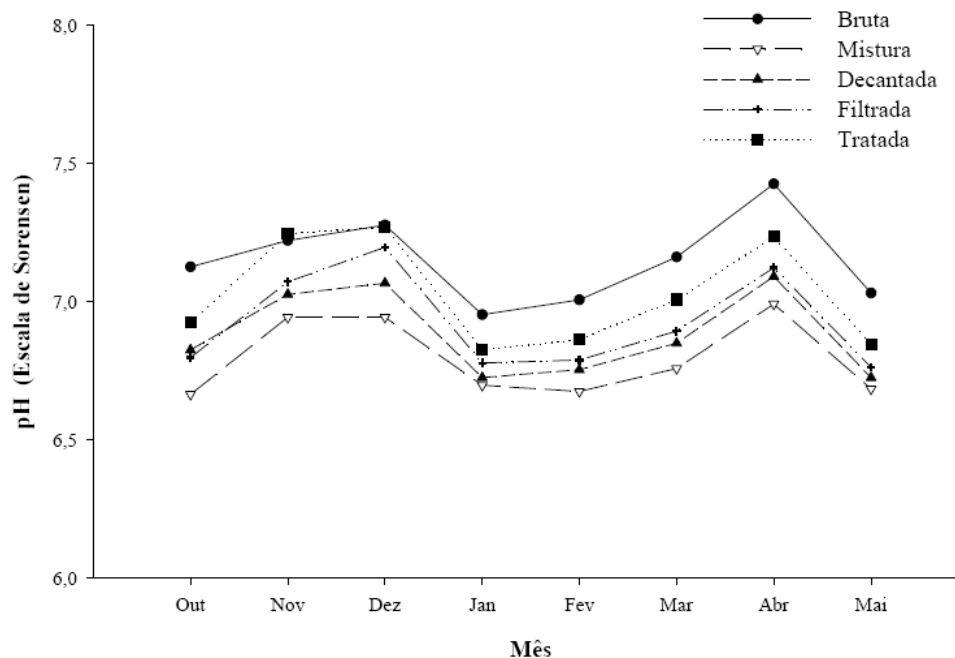


Figura 4.2 – Valores de pH da água nas diferentes fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.



### 4.1.3. Turvação

Na figura 4.3 são apresentados os dados relativos à variação da turvação, em algumas fases de tratamento. Verifica-se que os valores de turvação da água bruta são bastante superiores em comparação às restantes fases de tratamento, o que era esperado. Pode observar-se também a elevada eficiência da fase de decantação, onde apenas o valor do mês de Janeiro se encontra muito acima do valor máximo admissível (VMA), 0,4 NTU [14]. Este resultado poderá dever-se ao facto da água bruta apresentar um valor máximo no mês de Janeiro.

Também se verifica uma elevada eficiência no processo de filtração, pois todos os valores de turvação, obtidos mensalmente, estão abaixo do VMA.

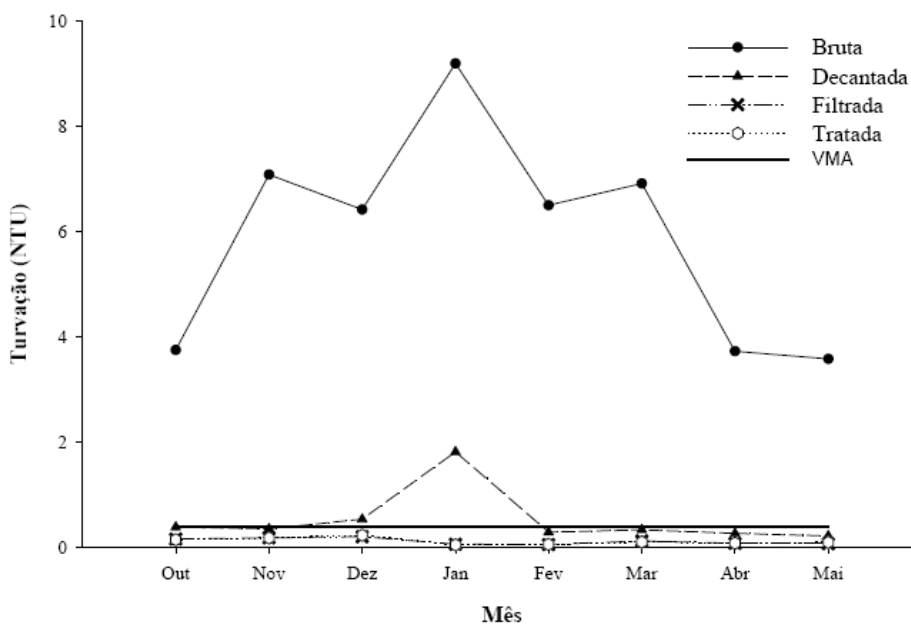
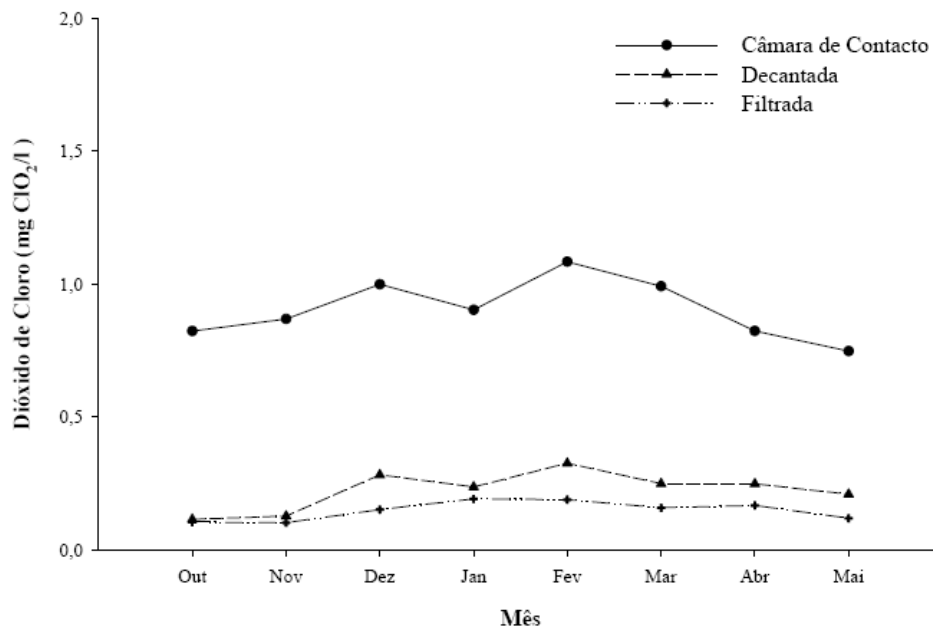


Figura 4.3 – Valores de turvação da água nas diferentes fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.



#### 4.1.4. Dióxido de Cloro

Na figura 4.4 encontram-se representados os valores de dióxido de cloro ao longo do tempo, para algumas fases de tratamento. Pode-se observar que é na câmara de contacto que se encontram os valores máximos de concentração de dióxido de cloro, o que também é esperado, pois é na câmara de contacto que este é adicionado como reagente oxidante. Verifica-se também que a concentração de dióxido de cloro é reduzida para menos de metade após decantação, demonstrando uma boa eficiência no processo de pré-oxidação da matéria orgânica existente na água bruta.



**Figura 4.4** – Valores de dióxido de cloro da água em algumas das fases de tratamento, ao longo dos meses em estudo.



### 4.1.5. Alcalinidade

A figura 4.5 mostra a variação da alcalinidade ao longo dos meses, para a água bruta e para a água tratada. Como era de esperar, é na água tratada onde o valor de alcalinidade é maior, pois ao longo do tratamento são adicionados reagentes à água, como o dióxido de carbono, capazes de aumentar a capacidade tampão da água.

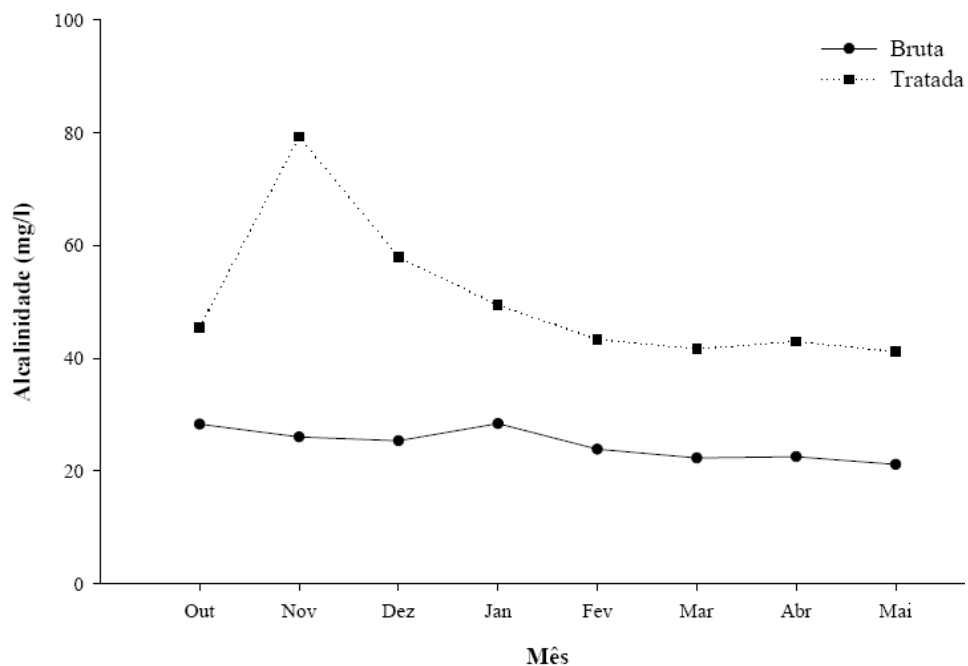


Figura 4.5 – Valores de alcalinidade da água antes e no final do tratamento, ao longo dos meses em estudo.



### 4.1.6. Condutividade

A figura 4.6 mostra como a condutividade da água nas várias fases de tratamento, varia ao longo dos meses em estudo. Apesar do valor da condutividade aumentar bastante da água bruta para todos os outros pontos de tratamento, nenhum valor ultrapassa o VMA, 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este aumento é normal pois é na fase de pré-oxidação que se adiciona à água o leite de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que aumenta a condutividade. É também de referir que o pico encontrado no mês de Janeiro, após entrada na câmara de mistura, acompanha o pico observado para o valor de alcalinidade para o mesmo mês.

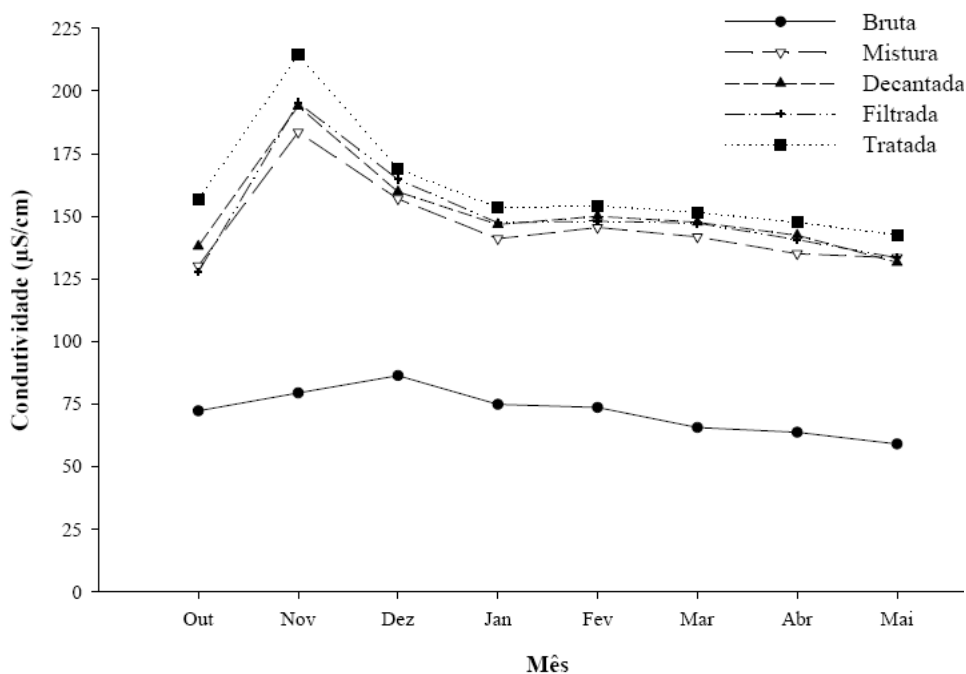


Figura 4.6 – Valores de condutividade da água nas diferentes fases de tratamento e ao longo dos meses em estudo.



### 4.1.7. Alumínio

A figura 4.7 mostra a variação do alumínio ao longo do tempo. Apesar da variação observada, os valores de concentração de alumínio não se alteram muito, encontrando-se uma maior concentração na água decantada. Pode-se também verificar que o valor da concentração de alumínio na água tratada é sempre próximo de 0,05 mg/l, que é o valor máximo recomendado, nunca atingindo o valor máximo admissível 0,2 mg/l [14].

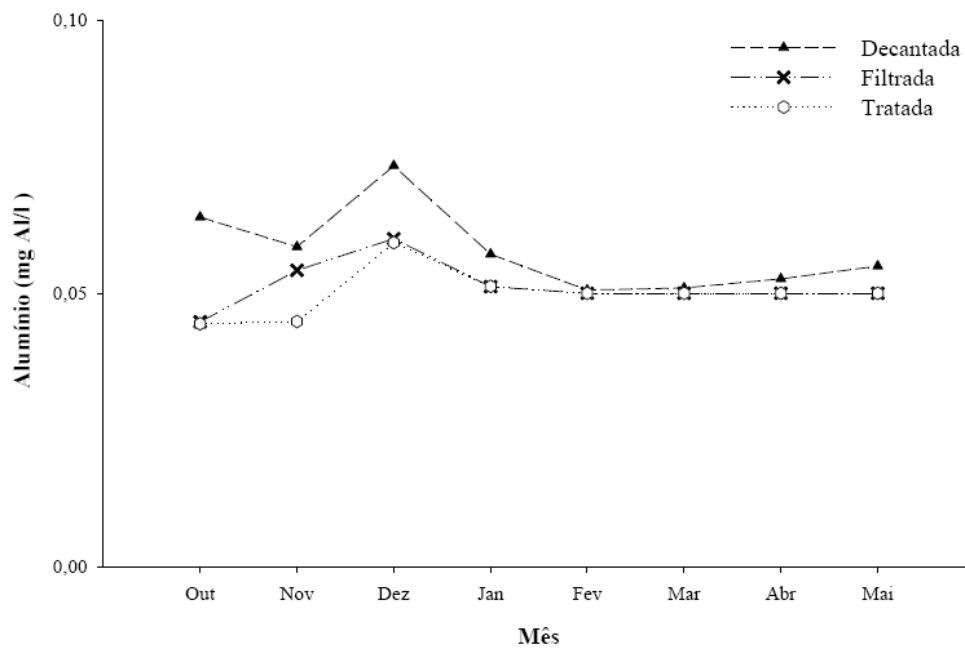


Figura 4.7 – Valores de alumínio da água nas diferentes fases de tratamento e ao longo dos meses em estudo.



## 4.2. Variação do alumínio em função dos vários parâmetros

### 4.2.1. Alumínio e pH

Na figura 4.8 estão representados os valores de alumínio e pH para a água decantada, filtrada e tratada, respectivamente. Pela análise dos gráficos verifica-se que, enquanto os valores de pH quase não diferem, nem ao longo dos meses nem nas diferentes fases de tratamento em questão, a concentração de alumínio vai variando ligeiramente tanto ao longo do tempo como nas diferentes fases de tratamento, não havendo qualquer relação entre os dois parâmetros.

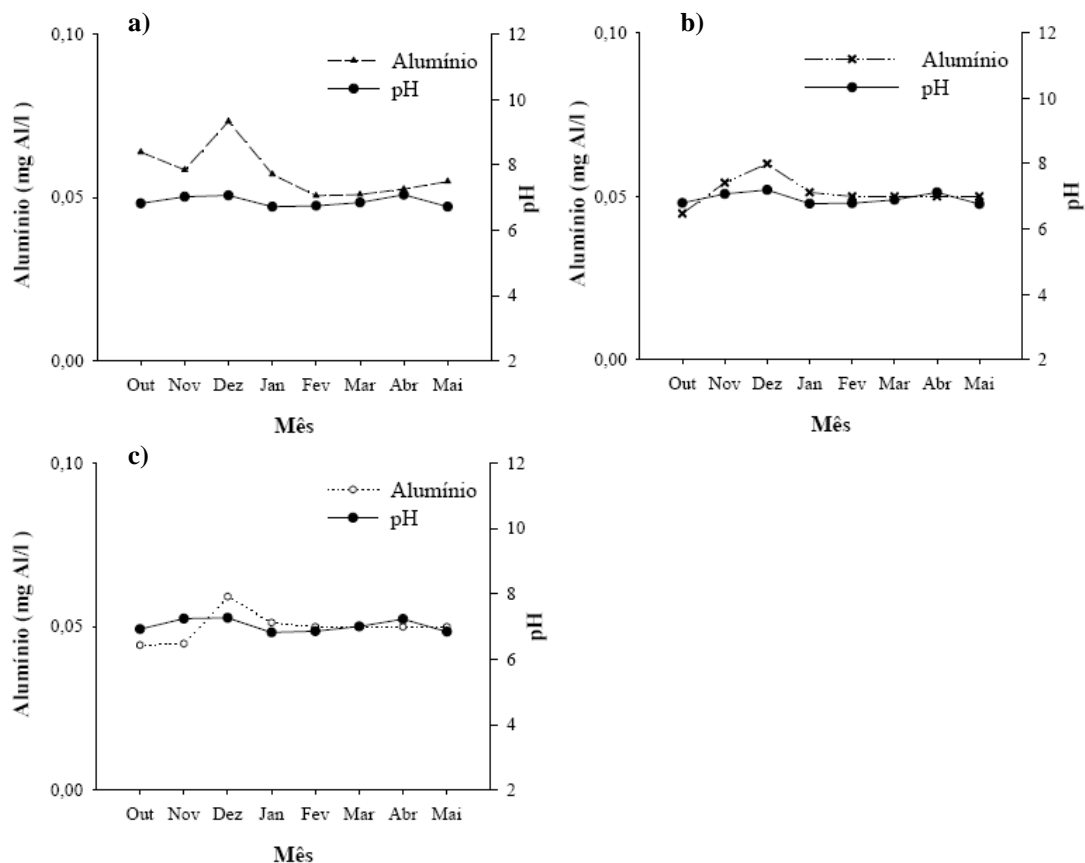


Figura 4.8 – Valores de alumínio e pH na água a) decantada, b) filtrada e c) tratada, ao longo do tempo.



## 4.2.2. Alumínio e turvação

No estudo da variação do alumínio e da turvação, figura 4.9, na água decantada, filtrada e tratada, observa-se que quanto maior existe uma certa relação entre eles. Pois, em alguns dos picos observados em determinados meses para o alumínio, observa-se também uma subida nos valores de turvação. Uma vez que o alumínio é adicionado à água em forma de policlorosulfato de alumínio, como reagente coagulante/floculante, este ao não reagir, baixa a eficiência do processo de coagulação/floculação e aumenta os valores de turvação.

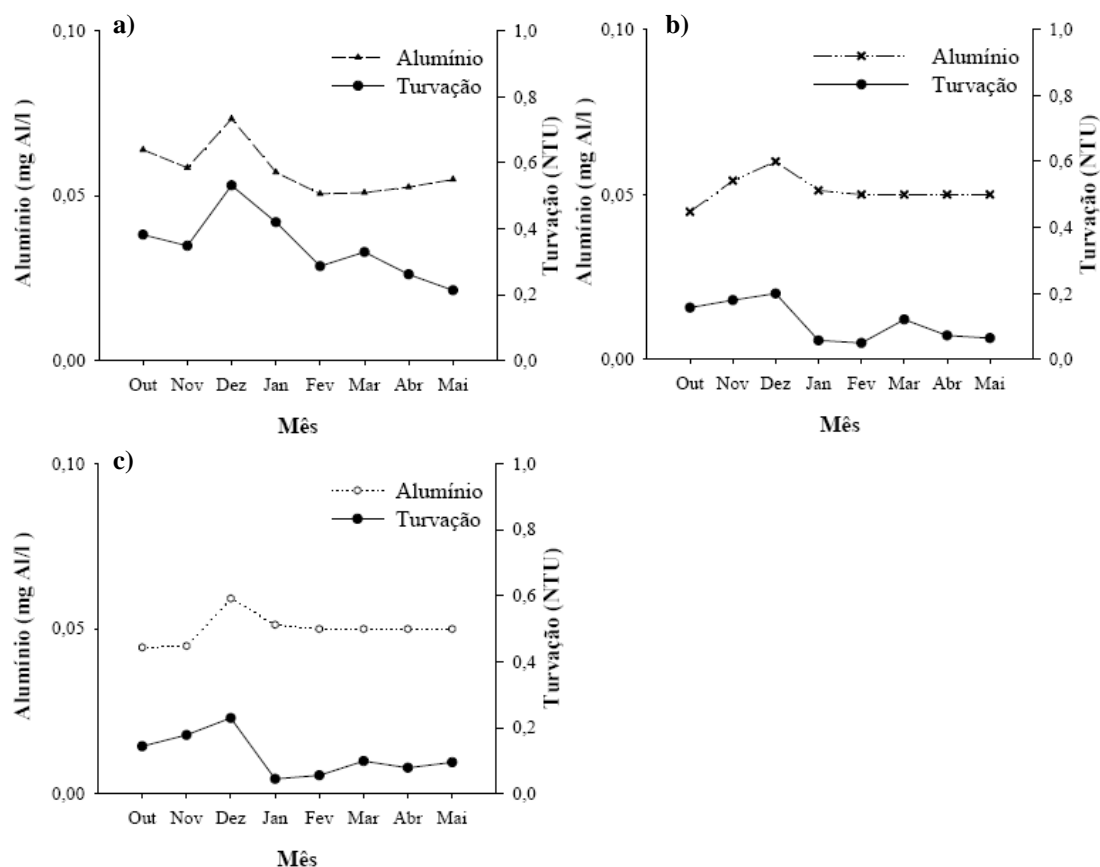


Figura 4.9 – Valores de alumínio e turvação na água a) decantada, b) filtrada e c) tratada, ao longo do tempo.



### 4.2.3. Alumínio e dióxido de cloro

A figura 4.10 representa a variação do alumínio e de dióxido de cloro na água decantada e filtrada. Pelos valores obtidos pode-se verificar que não se consegue verificar qualquer dependência entre os dois factores em estudo. Tanto o alumínio como o dióxido de cloro variam independentemente um do outro, o que já era de esperar, não existindo qualquer reacção em comum.

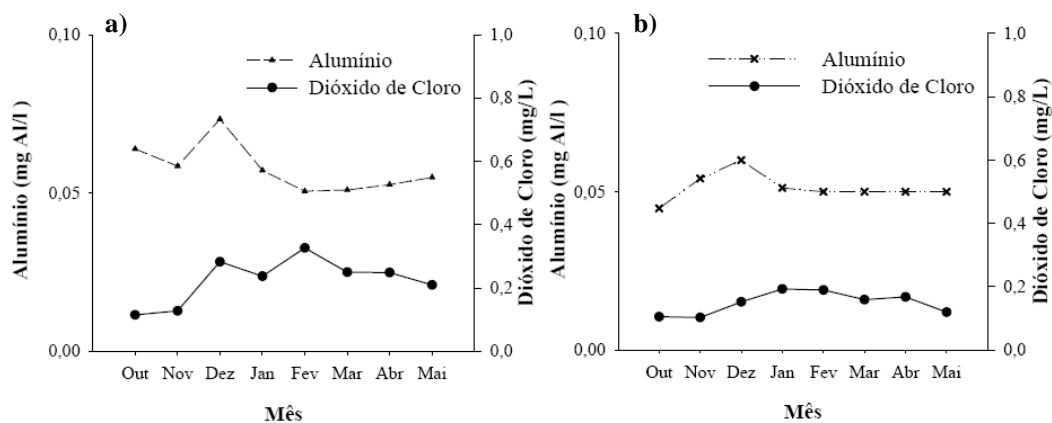


Figura 4.10 – Valores de alumínio e dióxido de cloro na água a) decantada e b) filtrada, ao longo do tempo.



#### 4.2.4. Alumínio e alcalinidade

A figura 4.11 mostra a variação do alumínio e da alcalinidade na água tratada. Esta variação apesar de se mostrar equivalente nos últimos meses, em Janeiro foi obtido um valor para a alcalinidade um pouco desfasado, sendo excepção Assim podemos dizer que a concentração de alumínio varia linearmente com o valor da alcalinidade.

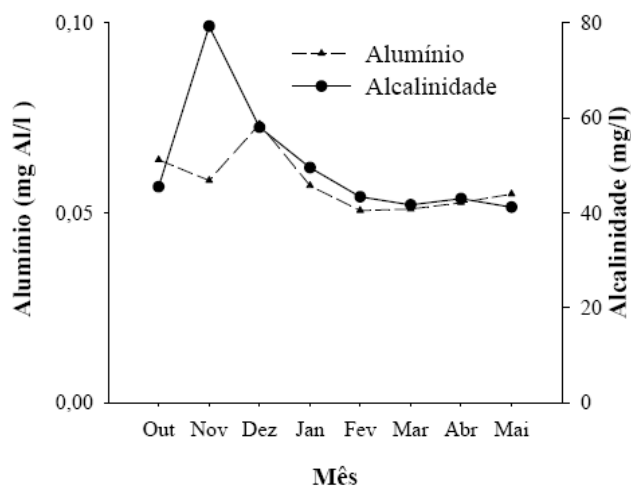


Figura 4.11 – Valores de alumínio e alcalinidade na água tratada, ao longo do tempo.



### 4.2.5. Alumínio e condutividade

Tal como na maioria dos parâmetros estudados, excepto a turvação, a variação da condutividade e do alumínio são totalmente distintas. Observa-se que, enquanto que o valor de condutividade tem uma tendência para diminuir ao longo dos meses em estudo, os valores obtidos, com excepção do mês de Janeiro, para o alumínio vai variando sem qualquer relação.

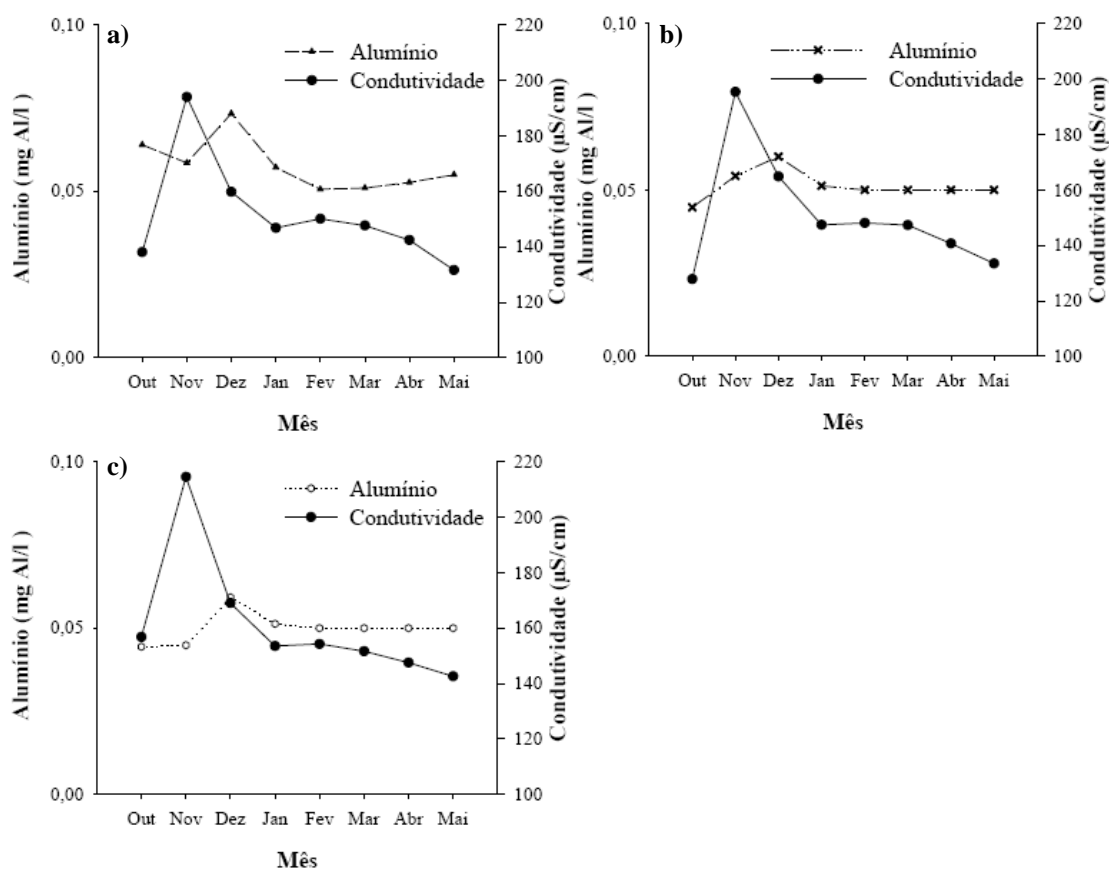


Figura 4.12 – Valores de alumínio e condutividade na água a) decantada, b) filtrada e c) tratada, ao longo dos meses em estudo.



# Capítulo V

## 5. Conclusão e trabalho futuro

A água é um dos compostos essenciais para a sobrevivência dos seres vivos, representando um dos mais importantes indicadores na avaliação do desenvolvimento de um país e no bem-estar da população, sendo por isso necessário controlar, de uma forma eficaz, a sua qualidade.

Para o consumo humano, a água deve ser isenta de cor, odor e sabor. Quando esta apresenta alguma turvação, para além de poder ser prejudicial para a saúde, é de imediato recusada pelo consumidor.

Sendo o elemento mais abundante da crosta terrestre, o alumínio aparece em concentrações diferentes em águas subterrâneas e águas superficiais. Assim pode-se dizer que a concentração de alumínio, nas diferentes águas captadas, varia consoante a proximidade e o tipo de actividades humanas perto dos locais de captação. A percentagem de alumínio nas águas de consumo por vezes é também acrescida durante o processo de tratamento. Este acréscimo deve-se à adição de compostos à base de alumínio (coagulantes), no processo de coagulação/floculação no tratamento de águas naturais. Uma vez que o alumínio pode estar relacionado com algumas doenças, como a doença de Alzheimer, este é um parâmetro necessário de monitorização.

No decorrer deste trabalho ocorreram algumas limitações cruciais para que o estudo efectuado pudesse ser mais aprofundado. Nomeadamente, no que diz respeito aos pontos de amostragem, por as amostras e as próprias análises serem efectuadas por operadores da própria ETA, as colheitas não puderam ser realizadas em todos os pontos necessários para o estudo. Teria sido importante a análise do alumínio na água bruta, antes do tratamento. De qualquer modo, a monitorização efectuada à água, nas diversas fases de tratamento demonstrou existirem parâmetros que se relacionam entre si, como é o caso da condutividade e alcalinidade, bem como o alumínio e a turvação. Esta relação directa entre o alumínio e a turvação e o alumínio e a alcalinidade foram os únicos



parâmetros para os quais se verificou alguma influência na concentração de alumínio na água..

Estudos efectuados anteriormente [26] demonstram que a água captada na barragem da Capinha já contém alumínio. Assim, pode-se concluir que o alumínio na água bruta, encontra-se em formas solúveis que, possivelmente não são totalmente removidas no processo de tratamento. Isto pode explicar o facto de em todas as fases de tratamento o valor de alumínio ser bastante próximo ao valor máximo recomendado de 0,05 mg/l. Uma vez estudada e comprovada a presença de alumínio na água bruta, para um trabalho futuro, seria interessante fazer a especiação do alumínio na água, para se confirmar a sua presença em formas complexas solúveis ou insolúveis, para uma melhor compreensão dos resultados.

Uma outra limitação foi o facto de não se ter realizado qualquer análise pelo método de espectrometria de absorção atómica. Assim, e também para um trabalho futuro, seria interessante verificar se pelo método colorimétrico aqui estudado e pelo método de absorção atómica, os valores de alumínio na água seriam muito diferentes, comprovando que, enquanto que pelo método colorimétrico se mede o alumínio livre em solução, pelo método de absorção atómica, todo o alumínio, complexado ou não, é quantificado.



## Bibliografia

- [1] – <http://www.cm-mirandela.pt/index.php?oid=4215> [15/12/2007]
- [2] – <http://empe.fe.up.pt> [15/12/2007]
- [3] – <http://www.irar.pt/> [20/12/2007]
- [4] – MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F.; *Qualidade da água para consumo humano*; LIDEL - Edições Técnicas, Lda., 2004.
- [5] – Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro.
- [6] – RODRIGUES, P.; MELO, N.; *Tratamento de águas de consumo*; Instituto Politécnico da Guarda, 2004/2005.
- [7] – <http://nатурlink.pt> [05/02/2008]
- [8] – O'NEILL, P.; *Environmental chemistry*; Chapman & Hall, 2ª Edição, 1993.
- [9] – Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro.
- [10] – <http://www.ideiasambientais.com.pt/> [05/02/2008]
- [11] – Vieira, P.; Coelho, S.; Praça, P.; *Modelação do cloro residual como instrumento de controlo da qualidade da água em sistemas de abastecimento*; Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 6º Congresso da água.
- [12] – <http://www.wikipedia.org> [10/02/2008]
- [13] – [http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam13\\_out2.htm?submit=Continua](http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam13_out2.htm?submit=Continua) [10/02/2008]



- [14] – Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.
- [15] – <http://www.tede.ufsc.br> [10/02/2008]
- [16] – <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia> [10/02/2008]
- [17] – <http://www.deq.ufpe.br> [10/02/2008]
- [18] – *Memento Technique de L'eau*; Degrémont, 9ª Edição, 1989.
- [19] – <http://www.scielo.br/pdf/feagriv27n2a25v27n2> [10/02/2008]
- [20] – <http://www.feg.unesp.br> [10/02/2008]
- [21] – <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22.pdf> [15/02/2008]
- [22] – Pastilha, M. S.; *O alumínio em águas subterrâneas do distrito da Guarda*; Universidade da Beira Interior, Julho de 2005.
- [23] – <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0607/aluminio.htm> [15/02/2008]
- [24] – <http://www.e-escola.utl.pt/site/tópico> [15/02/2008]
- [25] – <http://www.lenntech.com/elements-and-water/aluminum-and-water.htm>  
[15/02/2008]
- [26] – Fazendeiro, C; *Alumínio em águas naturais*; Universidade da Beira Interior  
Setembro de 2002.

# Anexo 1

ANEXO VI  
Qualidade da água para consumo humano

Parâmetros	Exatidão dos resultados	VMR	VMA	Métodos analíticos de referência	Observações
<b>A) Parâmetros organolépticos</b>					
Cor .....	mg/l escala Pt-Co	1	20	Fotométrico com padrões de escala Pt-Co.	Após centrifugação.
Turvação .....	mg/l escala SiO <sub>2</sub>	1	10	Fotométrico com padrões de sílica	Medida substituída em certas circunstâncias pela de transparência, calculada em metros com disco Secchi.
	NTU	0,4	4	Fotométrico com formazina .....	
	m	6	2	Disco de Secchi .....	
Cheiro .....	Taxa de diluição	0	2 (a 12°C) 3 (a 25°C)	Por diluições sucessivas, medições feitas a 12°C ou 25°C.	A comparar com as determinações gustativas.
Sabor .....	Taxa de diluição	0	2 (a 12°C) 3 (a 25°C)	Por diluições sucessivas, medições feitas a 12°C ou 25°C.	A comparar com as determinações olfactivas.
<b>B) Parâmetros físico-químicos</b>					
Temperatura .....	°C	12	25	Termometria.	
pH .....	Escala de Sorensen	6,5-8,5	9,5	Electrometria .....	A água não deve ser agressiva. Os valores de pH não se aplicam às águas acondicionadas.
Condutividade .....	µS/cm	400	-	Electrometria .....	Correspondendo à mineralização das águas. Valor correspondente da resistividade: 2500 Ω/cm, a 20°C.
Cloretos .....	mg/l Cl	25	-	Volumetria (método de Mohr) ... Espectrometria de absorção molecular.	Concentração aproximada a partir da qual podem ocorrer efeitos nocivos: 200 mg/l.
Sulfatos .....	mg/l SO <sub>4</sub>	25	250	Gravimetria. Complexometria. Espectrometria de absorção molecular.	
Sílica .....	mg/l SiO <sub>2</sub>	-	-	Espectrometria de absorção molecular.	
Cálcio .....	mg/l Ca	100	-	Espectrometria atómica. Complexometria.	
Magnésio .....	mg/l Mg	30	50	Espectrometria atómica.	
Sódio .....	mg/l Na	20	150	Espectrometria atómica .....	Com um percentil 80 calculado num período de referência de três anos.
Potássio .....	mg/l K	10	12	Espectrometria atómica.	
Alumínio .....	mg/l Al	0,05	0,2	Espectrometria atómica. Espectrometria de absorção molecular.	
Dureza total .....	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-	500	Complexometria .....	Ver quadro G.
Sólidos dissolvidos totais.	mg/l	-	1500	Secagem a 180°C ± 2°C e pesagem	Também designado por residuo seco.

Parâmetros	Exatidão dos resultados	VMR	VMA	Métodos analíticos de referência	Observações
Oxigénio dissolvido ...	% de saturação	-	-	Método de Winkler ..... Eléctrodos específicos .....	Concentração de oxigénio dissolvido superior a 75% do valor de saturação, com excepção das águas subterrâneas.

## C) Parâmetros relativos a substâncias indesejáveis

Anidrido carbónico livre	mg/l $CO_2$	-	-	Volumetria .....	A água não deve ser agressiva.
Nitratos .....	mg/l $NO_3$	25	50	Espectrometria de absorção molecular. Eléctrodos específicos.	
Nitritos .....	mg/l $NO_2$	-	0,1	Espectrometria de absorção molecular.	
Azoto amoniacal .....	mg/l $NH_4$	0,05	0,5	Espectrometria de absorção molecular.	
Azoto Kjeldahl .....	mg/l $N$	-	1	Oxidação-volumetria ..... Espectrometria de absorção molecular.	Excluído o azoto de $NO_2$ e $NO_3$ .
Oxidabilidade ( $MnO_4$ )	mg/l $O_2$	2	5	Oxidação com $KMnO_4$ à ebulição durante dez minutos; meio ácido.	
Carbono orgânico total (COT).	mg/l $C$	-	-		Deve ser investigado tudo o que cause o aumento das concentrações habituais.
Sulfureto de hidrogénio	$\mu g/l S$	-	Não detectável organolepticamente	Avaliação qualitativa.	
Substâncias extraíveis com clorofórmio.	Resíduo seco mg/l	0,1	-	Extracção líquido-líquido por clorofórmio puro, a $pH$ neutro, e pesagem do resíduo.	
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsificados.	$\mu g/l$	-	10	Espectrometria de absorção molecular-infravermelho.	
Fenóis (índice de fenol)	$\mu g/l C_6H_5OH$	-	0,5	Espectrometria de absorção molecular. Método da paranitranilina. Método da 4-aminoantipirina.	Excluindo os fenóis naturais que não reagem com o cloro.
Boro .....	$\mu g/l B$	1000		Espectrometria atómica. Espectrometria de absorção molecular.	
Substâncias tensoactivas (que reagem com o azul-de-metileno).	$\mu g/l$ , sulfato de laurilo e sódio		200	Espectrometria de absorção molecular.	
Outros compostos organoclorados (sem ser os pesticidas).	$\mu g/l$	1			A concentração em compostos halogenados deve ser reduzida, na medida do possível.
Ferro .....	$\mu g/l Fe$	50	200	Espectrometria atómica. Espectrometria de absorção molecular.	

Parâmetros	Expansão dos resultados	VMR	VMA	Métodos analíticos de referência	Observações
Manganés .....	$\mu\text{g/l Mn}$	20	50	Espectrometria atómica. Espectrometria de absorção molecular.	
Cobre .....	$\mu\text{g/l Cu}$	<sup>(1)</sup> 100 <sup>(2)</sup> 3000	-	Espectrometria atómica ..... Espectrometria de absorção molecular.	Acima de 3000 $\mu\text{g/l}$ podem aparecer sabores adstringentes, colorações e corrosões.
Zinco .....	$\mu\text{g/l Zn}$	<sup>(1)</sup> 0,100 <sup>(2)</sup> 5,0	-	Espectrometria atómica ..... Espectrometria de absorção molecular.	Acima de 5000 $\mu\text{g/l}$ podem aparecer sabores adstringentes, opalescência, depósitos granulosos e desenvolvimento de um filme gorduroso, após ebulição.
Fósforo .....	$\mu\text{g/l P}_2\text{O}_5$	400	5000	Espectrometria de absorção molecular.	
Fluór .....	$\mu\text{g/l F}$ 8°C-12°C 25°C-30°C	-	1500 700	Electrodos específicos ..... Espectrometria de absorção molecular.	O VMA é variável consoante a temperatura média da área geográfica considerada.
Cobalto .....	$\mu\text{g/l Co}$	-	-	—	—
Sólidos suspensos totais	mg/l	Ausência	-	Método por filtração por membrana porosa 0,45 $\mu\text{m}$ ; ou Centrifugação (tempo mínimo de quinze minutos, aceleração média de 2800 g a 3200 g), secagem a 105°C e pesagem.	
Cloro residual disponível.	$\mu\text{g/l Cl}$	-	-	Método amperimétrico ..... Colorimetria (DPD) ..... Titulação ..... Espectrometria de absorção molecular.	Ver artigo 16.º, n.º 2.
Bário .....	$\mu\text{g/l Ba}$	100	-	Espectrometria atómica.	
Prata .....	$\mu\text{g/l Ag}$	-	10	Espectrometria atómica .....	Se num caso excepcional se faz um uso não sistemático de prata para o tratamento das águas, pode aceitar-se um valor máximo admissível de 80 $\mu\text{g/l}$ .

## D) Parâmetros relativos a substâncias tóxicas

Arsénio .....	$\mu\text{g/l As}$	-	50	Espectrometria atómica. Espectrometria de absorção molecular.	
Berílio .....	$\mu\text{g/l Be}$	-	-	—	
Cádmio .....	$\mu\text{g/l Cd}$	-	5	Espectrometria atómica.	
Cianetos .....	$\mu\text{g/l Cn}$			Espectrometria de absorção molecular.	
Crómio .....	$\mu\text{g/l Cr}$			Espectrometria de absorção molecular. Espectrometria atómica.	

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Métodos analíticos de referência	Observações
Mercúrio .....	$\mu\text{g/l Hg}$		1	Espectrometria atómica.	
Níquel .....	$\mu\text{g/l Ni}$	-	50	Espectrometria atómica.	
Chumbo .....	$\mu\text{g/l Pb}$	-	50 (em água corrente)	Espectrometria atómica .....	No caso de canalizações de chumbo, a concentração em chumbo não deverá ser superior a 50 $\mu\text{g/l}$ numa amostra colhida depois da distribuição. Se a amostra é colhida directamente ou depois da distribuição e a concentração em chumbo ultrapassar frequentemente ou sensivelmente 100 $\mu\text{g/l}$ , devem ser tomadas medidas adequadas a fim de reduzir os riscos de exposição do consumidor ao chumbo.
Antimónio .....	$\mu\text{g/l Sb}$	-	10	Espectrometria de absorção molecular.	
Selénio .....	$\mu\text{g/l Se}$	-	10	Espectrometria atómica.	
Vanádio .....	$\mu\text{g/l V}$	-	-		
Pesticidas .....	$\mu\text{g/l}$	-	0,1 0,5		Entende-se por pesticidas e produtos semelhantes: Os insecticidas: Organoclorados persistentes; Organofosforados; Carbamatos;  Os herbicidas; Os fungicidas; Os PCB e PCT.
Políciclicos. Aromáticos.	$\mu\text{g/l}$	-	0,2	Cromatografia em fase gasosa com detecção por ionização de chama e ou espectrometria de massa. Cromatografia líquida com detecção por fluorescência/ultravioleta.	Substâncias de referência: Fluoranteno; Benzo [3, 4] fluoranteno; Benzo [1, 12] fluoranteno; Benzo [3, 4] pireno; Benzo [1, 12] perileno; Indeno [1, 2, 3-cd] pireno.

(1) Valor a ser cumprido à saída das estações de tratamento.

(2) Valor a ser cumprido após doze horas de permanência na rede de distribuição e no ponto em que é posta à disposição do consumidor.

Parâmetros	Expressão dos resultados (volume de amostra em ml)	VMR	VMA		Métodos analíticos de referência
			Método de membranas filtrantes	Método da fermentação em tubos múltiplos (NMP)	
<b>E) Parâmetros microbiológicos</b>					
Coliformes totais (1) (2)	100	-	0	<1 .....	Fermentação em tubos múltiplos. Subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação do NMP; ou Filtração através de membrana e cultura em meio apropriado, subcultura e identificação de colónias suspeitas.

Parâmetros	Expressão dos resultados (volume de amostra em ml)	VMR	VMA		Métodos analíticos de referência
			Método de membranas filtrantes	Método da fermentação em tubos múltiplos (NMP)	
Coliformes fecais <sup>(4)</sup> . . .	100	-	0	<1 . . . . .	Fermentação em tubos múltiplos. Subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação do NMP; ou Filtração através de membrana e cultura em meio apropriado, subcultura e identificação de colónias suspeitas.
Estreptococos fecais <sup>(4)</sup>	100	-	0	<1 . . . . .	Fermentação em tubos múltiplos. Subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação do NMP; ou Filtração através de membrana e cultura em meio apropriado, subcultura e identificação de colónias suspeitas.
Clostrídios sulfitorreductores.	20	-	-	<1 . . . . .	Depois do aquecimento da amostra a 80°C, contagem dos esporos por: Sementeira em meio com glucose, sulfito de ferro e contagem das colónias com halo negro; Filtração através de membrana, colocação do filtro invertido sobre meio com glucose, sulfito de ferro, recoberto de gelose, contagem das colónias negras; Repartição em tubos de meio DRCM (diferencial reinforced clostridium medium); subcultura dos tubos negros para meio de leite tornesolado, contagem segundo o NMP.
Germes totais para águas de consumo (37°C).	1	<sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> 10	-	Inoculação por incorporação em gelose nutritiva.	
Germes totais para águas de consumo (22°C).	1	<sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> 100	-		
Germes totais para águas acondicionadas (37°C).	1	5	20	Inoculação por incorporação em gelose nutritiva.	Os valores de concentração máxima admissível devem ser medidos nas doze horas que se seguem ao acondicionamento, sendo a água das amostras mantida a uma temperatura constante durante este período de doze horas.
Germes totais para águas acondicionadas (22°C).	1	20	100		

<sup>(1)</sup> Sobre reserva de que seja examinado um número de amostras com 95 % de resultados conformes.

<sup>(2)</sup> Para as águas desinfetadas os valores correspondentes devem ser nitidamente inferiores à saída da estação de tratamento.

<sup>(3)</sup> Se, após colheitas sucessivas, se verificar que existe um excesso em relação a estes valores, deve ser efectuado um controlo.

<sup>(4)</sup> No que respeita ao período de incubação, é geralmente de vinte e quatro horas ou de quarenta e oito horas, excepto para as contagens totais, em que é de quarenta e oito horas ou de setenta e duas horas.

As águas destinadas ao consumo humano não devem conter organismos patogénicos.

Com vista a completar, tanto quanto necessário, o exame microbiológico das águas destinadas ao consumo humano, convém pesquisar microrganismos patogénicos para além dos indicadores que constam do quadro E e, em especial:

- As salmonelas;
- Os estafilococos patogénicos;
- Os bacteriófagos fecais; e
- Os enterovírus.

Além disso, estas águas não devem conter:

- Nem organismos parasitas;
- Nem algas;
- Nem organismos microscópicos.

## F) Parâmetros radiológicos

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Métodos analíticos de referência	Observações
Actividade parcial . . . .	Bq/l	0,1			1 — Se os valores forem excedidos, pode ser necessário efectuar uma análise mais detalhada dos radio-nuclídeos.
Actividade total . . . . .	Bq/l	1,0		Definidos pela autoridade competente com base nas condições locais, embora se indique, a título meramente exemplificativo, a utilização do contador proporcional interno e também dos contadores Geiger.	2 — Valores mais elevados que os VMR não significam necessariamente que a água é imprópria para consumo humano.

## G) Valores mínimos admissíveis para a água para consumo humano que foi submetida a um tratamento de descalcificação

Parâmetros	Expressão dos resultados	VmA	Métodos analíticos de referência	Observações
Dureza total . . . . .	mg/l $CaCO_3$	150	Complexometria com EDTA . . . .	Cálcio ou cationes equivalentes.
pH . . . . .	Escala de Sorensen		Electrometria.	
Alcalinidade . . . . .	mg/l $HCO_3$	30	Volumetria . . . . .	A água não deve ser agressiva.
Oxigénio dissolvido . . .	mg/l $O_2$		Método de Winkler. Método dos eléctrodos específicos.	

As disposições relativas à dureza, ao pH e ao oxigénio dissolvido aplicam-se também às águas provenientes de dessalinização.

Se, devido à excessiva dureza natural, a água é descalcificada em conformidade com o quadro G, antes de ser posta à disposição do consumidor, o seu teor em sódio pode, em casos excepcionais, ser superior aos valores que figuram na coluna das concentrações máximas admissíveis. Esforçar-se-ão, todavia, por manter este teor a um nível tão baixo quanto possível e não poderão negligenciar os imperativos de protecção de saúde pública.

VmA=valor mínimo admissível.

# Anexo 2

## Procedimentos experimentais

### ● **Determinação do pH / Temperatura**

- Passar a sonda abundantemente por água destilada;
- Colocar a sonda na amostra a analisar;
- Ligar o aparelho e pressionar o botão verde que se refere à opção *Read*;
- Agitar levemente a sonda dentro da amostra e esperar que o valor de pH estabilize para fazer a leitura;
- Anotar o valor da leitura e desligar o aparelho;
- Passar a sonda novamente por água destilada e coloca-la na solução de armazenamento.

### ● **Determinação da Condutividade**

- Retirar a sonda da solução de armazenamento e passar abundantemente por água destilada;
- Colocar a sonda na amostra a analisar;
- Ligar o aparelho e pressionar o botão verde que se refere à opção *Read*;
- Agitar levemente a sonda dentro da amostra e esperar que o valor de condutividade estabilize para fazer a leitura;
- Anotar o valor da leitura e desligar o aparelho;
- Passar a sonda novamente por água destilada, limpa-la e manter a sonda a seco.

### ● **Determinação da Turvação**

- Encher o recipiente próprio do aparelho com a amostra a analisar até à marca (10ml), limpar e secar bem o recipiente;
- Introduzir o recipiente na cavidade do aparelho com a seta alinhada e colocar por cima a tampa protectora;
- Ligar o aparelho pressionando a opção *On/Of*;
- Após a 1ª leitura pressionar a opção *Read* e fazer mais duas leituras;
- O valor da turvação deve ser a média de 3 leituras consecutivas;

- Desligar o aparelho pressionando a opção *On/Of*;
- Lavar o recipiente com água limpa.

### ● **Determinação do Dióxido de Cloro**

- Lavar o recipiente com a água da amostra a analisar, e encher com 10 ml da mesma água, limpar e secar bem o recipiente;
- Ligar o colorímetro pressionando a tecla *On/Off*;
- Se necessário, (quando o aparelho analisa mais que um parâmetro) seleccionar o parâmetro ClO pressionando a opção *Mode*;
- Introduzir o recipiente na cavidade do aparelho com a seta alinhada;
- Fazer o zero pressionando a tecla *Zero/Test*;
- No *display* do aparelho vai aparecer a indicação ClO a piscar e parar com a indicação 0.00;
- Retirar o recipiente da cavidade do aparelho, inserir e esmagar uma pastilha DPD Nº1 (*N,N-diethylbenzene-1,4-diammonium sulphate*), dissolvendo-a completamente;
- Fechar e limpar bem o recipiente e colocá-lo novamente na cavidade do aparelho para efectuar a leitura;
- Aguardar 1 minuto e pressionar a opção *Zero/Test*;
- No *display* do aparelho vai aparecer o valor de dióxido de cloro residual da amostra;
- Desligar o aparelho pressionando a tecla *On/Off*;
- Lavar o recipiente com água limpa.

### ● **Determinação da Alcalinidade**

- Lavar o recipiente com a água da amostra a analisar, e encher com 10 ml da mesma água, limpar e secar bem o recipiente;
- Ligar o colorímetro pressionando a tecla *On/Off*;
- Se necessário, (quando o aparelho analisa mais que um parâmetro) seleccionar o parâmetro Alcalinidade pressionando a opção *Mode*;
- Introduzir o recipiente na cavidade do aparelho com a seta alinhada;
- Fazer o zero pressionando a tecla *Zero/Test*;
- Retirar o recipiente da cavidade do aparelho, inserir e esmagar uma pastilha ALCALINIDADE Nº1, dissolvendo-a completamente;

- Fechar e limpar bem o recipiente e colocá-lo novamente na cavidade do aparelho para efectuar a leitura;
- Aguardar 1 minuto e pressionar a opção *Zero/Test*;
- No *display* do aparelho vai aparecer o valor da alcalinidade da amostra;
- Desligar o aparelho pressionando a tecla *On/Off*;
- Lavar o recipiente com água limpa.

### ● **Determinação do Alumínio**

- Lavar o recipiente com a água da amostra a analisar, e encher com 10 ml da mesma água, limpar e secar bem o recipiente;
- Ligar o colorímetro pressionando a tecla *On/Off*;
- Se necessário, (quando o aparelho analisa mais que um parâmetro) seleccionar o parâmetro Al pressionando a opção *Mode*;
- Introduzir o recipiente na cavidade do aparelho com a seta alinhada;
- Fazer o zero pressionando a tecla *Zero/Test*;
- No *display* do aparelho vai aparecer a indicação Al a piscar e parar com a indicação 0.00;
- Retirar o recipiente da cavidade do aparelho, inserir e esmagar uma pastilha ALUMINIUM N°1, dissolvendo-a completamente;
- Logo de seguida inserir e esmagar uma pastilha ALUMINIUM N°2, dissolvendo-a completamente;
- Fechar e limpar bem o recipiente e colocá-lo novamente na cavidade do aparelho para efectuar a leitura;
- Aguardar 10 minutos e pressionar a opção *Zero/Test*;
- No *display* do aparelho vai aparecer o valor de alumínio dissolvido da amostra;
- Desligar o aparelho pressionando a tecla *On/Off*;
- Lavar o recipiente com água limpa.

# Anexo 3

## A3.1 - Resultados obtidos - Temperatura

Tabela A3.1 - Representação e tratamento dos dados obtidos para a temperatura.

		Água Bruta
<b>Out-07</b>	<i>Temperatura média</i>	17,46
	<i>Nº Análises</i>	16
	<i>Temperatura máxima</i>	18,20
	<i>Temperatura mínima</i>	15,00
	<i>Desvio padrão</i>	0,85
<b>Nov-07</b>	<i>Temperatura média</i>	10,89
	<i>Nº Análises</i>	14
	<i>Temperatura máxima</i>	13,60
	<i>Temperatura mínima</i>	9,00
	<i>Desvio padrão</i>	1,37
<b>Dez-07</b>	<i>Temperatura média</i>	7,95
	<i>Nº Análises</i>	8
	<i>Temperatura máxima</i>	9,70
	<i>Temperatura mínima</i>	6,30
	<i>Desvio padrão</i>	1,39
<b>Jan-08</b>	<i>Temperatura média</i>	7,86
	<i>Nº Análises</i>	38
	<i>Temperatura máxima</i>	9,20
	<i>Temperatura mínima</i>	6,80
	<i>Desvio padrão</i>	0,62
<b>Fev-08</b>	<i>Temperatura média</i>	9,49
	<i>Nº Análises</i>	31
	<i>Temperatura máxima</i>	10,90
	<i>Temperatura mínima</i>	8,30
	<i>Desvio padrão</i>	0,67
<b>Mar-08</b>	<i>Temperatura média</i>	11,61
	<i>Nº Análises</i>	53
	<i>Temperatura máxima</i>	12,75
	<i>Temperatura mínima</i>	10,50
	<i>Desvio padrão</i>	0,61
<b>Abr-08</b>	<i>Temperatura média</i>	14,18
	<i>Nº Análises</i>	45
	<i>Temperatura máxima</i>	16,10
	<i>Temperatura mínima</i>	12,90
	<i>Desvio padrão</i>	0,76
<b>Mai-08</b>	<i>Temperatura média</i>	16,24
	<i>Nº Análises</i>	27
	<i>Temperatura máxima</i>	17,30
	<i>Temperatura mínima</i>	14,20
	<i>Desvio padrão</i>	0,71

## A3.2 - Resultados obtidos - pH

Tabela A3.2 - Representação e tratamento dos dados obtidos para o pH.

		Água Bruta	Câmara Mistura	Água Decantada	Água Filtrada	Água Tratada
<b>Out-07</b>	<i>pH médio</i>	7,13	6,67	6,83	6,80	6,93
	<i>Nº Análises</i>	18	41	39	27	53
	<i>pH máximo</i>	7,49	7,27	8,00	7,35	7,48
	<i>pH mínimo</i>	6,61	6,34	6,48	6,35	6,59
	<i>Desvio padrão</i>	0,20	0,23	0,35	0,28	0,27
<b>Nov-07</b>	<i>pH médio</i>	7,22	6,94	7,03	7,07	7,25
	<i>Nº Análises</i>	14	43	37	20	55
	<i>pH máximo</i>	7,74	7,585	7,86	7,96	8,06
	<i>pH mínimo</i>	6,93	5,66	5,96	6,38	6,55
	<i>Desvio padrão</i>	0,24	0,36	0,37	0,43	0,30
<b>Dez-07</b>	<i>Valor médio</i>	7,28	6,94	7,07	7,20	7,27
	<i>Nº Análises</i>	11	37	27	17	44
	<i>Valor máximo</i>	7,78	7,49	8,65	8,36	8,28
	<i>Valor mínimo</i>	6,74	5,81	6,37	6,55	6,43
	<i>Desvio padrão</i>	0,27	0,36	0,48	0,48	0,36
<b>Jan-08</b>	<i>Valor médio</i>	6,95	6,70	6,73	6,78	6,83
	<i>Nº Análises</i>	34	34	34	34	34
	<i>Valor máximo</i>	7,33	7,27	6,95	7,12	7,02
	<i>Valor mínimo</i>	6,60	6,44	6,51	6,46	6,64
	<i>Desvio padrão</i>	0,14	0,16	0,11	0,13	0,10
<b>Fev-08</b>	<i>Valor médio</i>	7,01	6,68	6,75	6,79	6,86
	<i>Nº Análises</i>	32	32	32	32	32
	<i>Valor máximo</i>	7,37	6,90	6,92	7,00	6,99
	<i>Valor mínimo</i>	6,54	6,10	6,61	6,61	6,71
	<i>Desvio padrão</i>	0,19	0,15	0,08	0,10	0,07
<b>Mar-08</b>	<i>Valor médio</i>	7,16	6,76	6,85	6,89	7,01
	<i>Nº Análises</i>	34	34	34	34	34
	<i>Valor máximo</i>	7,45	7,04	7,05	7,02	7,15
	<i>Valor mínimo</i>	6,76	6,57	6,66	6,69	6,85
	<i>Desvio padrão</i>	0,16	0,09	0,08	0,07	0,07
<b>Abr-08</b>	<i>Valor médio</i>	7,43	6,99	7,09	7,12	7,24
	<i>Nº Análises</i>	33	33	33	33	33
	<i>Valor máximo</i>	7,62	7,53	7,44	7,46	7,56
	<i>Valor mínimo</i>	7,06	6,76	6,82	6,89	6,91
	<i>Desvio padrão</i>	0,12	0,15	0,14	0,14	0,15
<b>Mai-08</b>	<i>Valor médio</i>	7,03	6,69	6,73	6,76	6,85
	<i>Nº Análises</i>	27	30	30	31	32
	<i>Valor máximo</i>	7,30	7,30	7,16	7,20	7,37
	<i>Valor mínimo</i>	6,48	6,37	6,42	6,55	6,47
	<i>Desvio padrão</i>	0,15	0,22	0,14	0,12	0,15

### A3.3 - Resultados obtidos - Turvação

Tabela A3.3- Representação e tratamento dos dados obtidos para a turvação.

		Água Bruta	Água Decantada	Água Filtrada	Água Tratada
<b>Out-07</b>	<i>Turvação média</i>	3,75	0,38	0,16	0,14
	<i>Nº Análises</i>	17	40	26	54
	<i>Turvação máxima</i>	9,50	0,61	0,30	0,30
	<i>Turvação mínima</i>	2,45	0,07	0,09	0,07
	<i>Desvio padrão</i>	1,82	0,13	0,06	0,06
<b>Nov-07</b>	<i>Turvação média</i>	7,08	0,35	0,18	0,18
	<i>Nº Análises</i>	12	37	21	55
	<i>Turvação máxima</i>	17,92	0,60	0,33	0,49
	<i>Turvação mínima</i>	5,25	0,10	0,04	0,08
	<i>Desvio padrão</i>	3,49	0,11	0,08	0,07
<b>Dez-07</b>	<i>Turvação média</i>	6,42	0,53	0,20	0,23
	<i>Nº Análises</i>	8	28	14	42
	<i>Turvação máxima</i>	13,09	1,77	0,32	0,66
	<i>Turvação mínima</i>	4,40	0,11	0,11	0,08
	<i>Desvio padrão</i>	2,83	0,38	0,06	0,13
<b>Jan-08</b>	<i>Turvação média</i>	9,19	0,42	0,06	0,05
	<i>Nº Análises</i>	37	49	48	59
	<i>Turvação máxima</i>	75,80	46,27	0,26	0,17
	<i>Turvação mínima</i>	2,64	0,00	0,00	0,00
	<i>Desvio padrão</i>	15,22	0,85	0,07	0,06
<b>Fev-08</b>	<i>Turvação média</i>	6,50	0,29	0,05	0,06
	<i>Nº Análises</i>	31	38	32	45
	<i>Turvação máxima</i>	41,52	0,53	0,16	0,14
	<i>Turvação mínima</i>	2,59	0,05	0,00	0,00
	<i>Desvio padrão</i>	8,33	0,13	0,05	0,05
<b>Mar-08</b>	<i>Turvação média</i>	6,91	0,33	0,12	0,10
	<i>Nº Análises</i>	52	54	53	54
	<i>Turvação máxima</i>	53,08	0,77	0,32	0,22
	<i>Turvação mínima</i>	2,71	0,12	0,00	0,03
	<i>Desvio padrão</i>	9,16	0,13	0,07	0,05
<b>Abr-08</b>	<i>Turvação média</i>	3,72	0,26	0,07	0,08
	<i>Nº Análises</i>	47	50	48	51
	<i>Turvação máxima</i>	6,59	0,47	0,23	0,41
	<i>Turvação mínima</i>	2,45	0,11	0,00	0,00
	<i>Desvio padrão</i>	0,99	0,09	0,06	0,09
<b>Mai-08</b>	<i>Turvação média</i>	3,58	0,21	0,07	0,10
	<i>Nº Análises</i>	40	45	43	45
	<i>Turvação máxima</i>	7,22	0,74	0,27	0,40
	<i>Turvação mínima</i>	2,33	0,02	0,00	0,00
	<i>Desvio padrão</i>	1,28	0,16	0,07	0,10

### A3.4 - Resultados obtidos - Dióxido de Cloro

Tabela A3.4- Representação e tratamento dos dados obtidos para a variação da concentração de dióxido de cloro.

		<b>Câmara Contacto</b>	<b>Água Decantada</b>	<b>Água Filtrada</b>
<b>Out-07</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,82	0,12	0,11
	<i>Nº Análises</i>	42	38	24
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,02	0,21	0,18
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,50	0,03	0,06
	<i>Desvio padrão</i>	0,14	0,04	0,03
<b>Nov-07</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,87	0,13	0,10
	<i>Nº Análises</i>	47	37	21
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,11	0,23	0,16
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,61	0,05	0,06
	<i>Desvio padrão</i>	0,13	0,05	0,02
<b>Dez-07</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	1,00	0,30	0,20
	<i>Nº Análises</i>	37	28	14
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,17	0,45	0,28
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,77	0,03	0,08
	<i>Desvio padrão</i>	0,09	0,11	0,06
<b>Jan-08</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,90	0,20	0,20
	<i>Nº Análises</i>	34	34	34
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,15	0,42	1,11
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,49	0,09	0,07
	<i>Desvio padrão</i>	0,13	0,08	0,18
<b>Fev-08</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	1,08	0,33	0,19
	<i>Nº Análises</i>	32	32	32
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,25	0,50	0,31
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,83	0,10	0,08
	<i>Desvio padrão</i>	0,09	0,11	0,06
<b>Mar-08</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,99	0,25	0,16
	<i>Nº Análises</i>	34	34	34
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,17	0,36	0,30
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,77	0,16	0,08
	<i>Desvio padrão</i>	0,09	0,05	0,04
<b>Abr-08</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,82	0,25	0,17
	<i>Nº Análises</i>	33	33	33
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	1,14	0,54	0,35
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,31	0,15	0,13
	<i>Desvio padrão</i>	0,17	0,09	0,05
<b>Mai-08</b>	<i>[ClO<sub>2</sub>] média</i>	0,75	0,21	0,12
	<i>Nº Análises</i>	30	30	31
	<i>[ClO<sub>2</sub>] máxima</i>	0,93	0,34	0,22
	<i>[ClO<sub>2</sub>] mínima</i>	0,38	0,02	0,02
	<i>Desvio padrão</i>	0,13	0,09	0,05

### A3.5 - Resultados obtidos - Alcalinidade

Tabela A3.5- Representação e tratamento dos dados obtidos para a alcalinidade.

		Água Bruta	Água Tratada
<b>Out-07</b>	<i>Alcalinidade média</i>	28,33	45,47
	<i>Nº Análises</i>	17	54
	<i>Alcalinidade máxima</i>	76,00	82,00
	<i>Alcalinidade mínima</i>	21,00	15,00
	<i>Desvio padrão</i>	13,48	27,67
<b>Nov-07</b>	<i>Alcalinidade média</i>	26,07	79,32
	<i>Nº Análises</i>	14	55
	<i>Alcalinidade máxima</i>	29,00	94,00
	<i>Alcalinidade mínima</i>	22,00	51,00
	<i>Desvio padrão</i>	2,50	10,01
<b>Dez-07</b>	<i>Alcalinidade média</i>	25,40	58,03
	<i>Nº Análises</i>	5	17
	<i>Alcalinidade máxima</i>	32,00	81,00
	<i>Alcalinidade mínima</i>	22,00	47,00
	<i>Desvio padrão</i>	4,45	10,57
<b>Jan-08</b>	<i>Alcalinidade média</i>	28,43	49,50
	<i>Nº Análises</i>	31	53
	<i>Alcalinidade máxima</i>	49,85	104,45
	<i>Alcalinidade mínima</i>	16,50	30,30
	<i>Desvio padrão</i>	6,67	12,62
<b>Fev-08</b>	<i>Alcalinidade média</i>	23,90	43,36
	<i>Nº Análises</i>	31	45
	<i>Alcalinidade máxima</i>	30,00	52,50
	<i>Alcalinidade mínima</i>	18,00	36,00
	<i>Desvio padrão</i>	3,05	4,21
<b>Mar-08</b>	<i>Alcalinidade média</i>	22,35	41,68
	<i>Nº Análises</i>	52	53
	<i>Alcalinidade máxima</i>	35,50	48,00
	<i>Alcalinidade mínima</i>	18,00	34,00
	<i>Desvio padrão</i>	3,47	3,79
<b>Abr-08</b>	<i>Alcalinidade média</i>	22,57	42,98
	<i>Nº Análises</i>	45	51
	<i>Alcalinidade máxima</i>	33,00	52,50
	<i>Alcalinidade mínima</i>	18,00	34,00
	<i>Desvio padrão</i>	3,55	4,80
<b>Mai-08</b>	<i>Alcalinidade média</i>	21,20	41,20
	<i>Nº Análises</i>	25	31
	<i>Alcalinidade máxima</i>	27,00	51,00
	<i>Alcalinidade mínima</i>	17,00	28,00
	<i>Desvio padrão</i>	2,84	6,06

### A3.6 - Resultados obtidos - Condutividade

Tabela A3.6- Representação e tratamento dos dados obtidos para a condutividade.

		Água Bruta	Câmara Mistura	Água Decantada	Água Filtrada	Água Tratada
<b>Out-07</b>	<i>Condutividade média</i>	72,31	130,23	138,06	127,83	156,78
	<i>Nº Análises</i>	19	39	37	25	53
	<i>Condutividade máxima</i>	85,70	197,10	206,90	205,00	234,00
	<i>Condutividade mínima</i>	67,40	85,70	86,00	86,50	72,70
	<i>Desvio padrão</i>	4,87	44,57	51,54	47,37	52,70
<b>Nov-07</b>	<i>Condutividade média</i>	79,42	183,59	193,99	195,31	214,49
	<i>Nº Análises</i>	14	43	37	21	56
	<i>Condutividade máxima</i>	82,10	209,80	220,00	216,40	289,50
	<i>Condutividade mínima</i>	77,60	99,80	125,00	149,95	159,45
	<i>Desvio padrão</i>	1,11	22,32	19,68	17,42	19,40
<b>Dez-07</b>	<i>Condutividade média</i>	86,39	156,97	159,82	164,82	168,97
	<i>Nº Análises</i>	8	35	28	14	44
	<i>Condutividade máxima</i>	146,10	213,20	181,00	183,50	199,80
	<i>Condutividade mínima</i>	75,70	115,40	120,10	147,60	102,80
	<i>Desvio padrão</i>	24,22	18,95	12,27	10,68	17,74
<b>Jan-08</b>	<i>Condutividade média</i>	74,87	141,08	146,79	147,39	153,53
	<i>Nº Análises</i>	37	52	48	48	58
	<i>Condutividade máxima</i>	93,30	156,10	155,80	173,50	190,90
	<i>Condutividade mínima</i>	71,40	87,45	130,60	124,00	134,30
	<i>Desvio padrão</i>	3,95	11,92	5,96	8,35	11,01
<b>Fev-08</b>	<i>Condutividade média</i>	73,66	145,56	150,07	148,10	154,27
	<i>Nº Análises</i>	31	39	37	32	44
	<i>Condutividade máxima</i>	137,80	156,25	155,75	155,60	169,45
	<i>Condutividade mínima</i>	65,90	125,10	142,80	134,85	125,50
	<i>Desvio padrão</i>	14,38	5,58	3,73	4,23	7,51
<b>Mar-08</b>	<i>Condutividade média</i>	65,68	141,81	147,66	147,29	151,63
	<i>Nº Análises</i>	53	53	53	53	54
	<i>Condutividade máxima</i>	77,20	160,45	7543,40	163,05	157,30
	<i>Condutividade mínima</i>	62,00	130,30	135,70	136,00	143,90
	<i>Desvio padrão</i>	3,40	5,79	5,95	5,47	3,50
<b>Abr-08</b>	<i>Condutividade média</i>	63,74	135,13	142,44	140,69	147,54
	<i>Nº Análises</i>	46	50	50	47	50
	<i>Condutividade máxima</i>	96,00	151,90	159,10	158,55	159,60
	<i>Condutividade mínima</i>	57,80	95,50	123,45	116,70	125,70
	<i>Desvio padrão</i>	6,74	10,86	7,50	7,70	6,97
<b>Mai-08</b>	<i>Condutividade média</i>	59,06	133,46	131,61	133,47	142,62
	<i>Nº Análises</i>	27	30	30	31	31
	<i>Condutividade máxima</i>	80,90	188,30	146,80	159,10	170,10
	<i>Condutividade mínima</i>	55,80	64,10	108,80	116,10	119,90
	<i>Desvio padrão</i>	4,64	22,77	7,91	8,85	10,53

### A3.7 - Resultados obtidos - Alumínio

Tabela A3.7- Representação e tratamento dos dados obtidos para o alumínio.

		Água Decantada	Água Filtrada	Água Tratada
<b>Out-07</b>	[Al] média	0,06	0,04	0,04
	Nº Análises	41	26	56
	[Al] máxima	0,14	0,08	0,09
	[Al] mínima	0,04	0,04	0,04
	Desvio padrão	0,03	0,01	0,01
<b>Nov-07</b>	[Al] média	0,06	0,05	0,04
	Nº Análises	37	21	56
	[Al] máxima	0,12	0,17	0,10
	[Al] mínima	0,04	0,04	0,04
	Desvio padrão	0,02	0,04	0,01
<b>Dez-07</b>	[Al] média	0,07	0,06	0,06
	Nº Análises	27	15	46
	[Al] máxima	0,30	0,28	0,22
	[Al] mínima	0,04	0,04	0,04
	Desvio padrão	0,08	0,07	0,04
<b>Jan-08</b>	[Al] média	0,06	0,05	0,05
	Nº Análises	48	48	60
	[Al] máxima	0,12	0,09	0,08
	[Al] mínima	0,05	0,05	0,05
	Desvio padrão	0,02	0,01	0,01
<b>Fev-08</b>	[Al] média	0,05	0,05	0,05
	Nº Análises	38	32	45
	[Al] máxima	0,06	0,05	0,05
	[Al] mínima	0,05	0,05	0,05
	Desvio padrão	2,2E-03	1,4E-17	1,4E-17
<b>Mar-08</b>	[Al] média	0,05	0,05	0,05
	Nº Análises	54	53	54
	[Al] máxima	0,06	0,05	0,05
	[Al] mínima	0,05	0,05	0,05
	Desvio padrão	2,4E-03	2,1E-17	2,1E-17
<b>Abr-08</b>	[Al] média	0,05	0,05	0,05
	Nº Análises	51	48	51
	[Al] máxima	0,08	0,05	0,05
	[Al] mínima	0,05	0,05	0,05
	Desvio padrão	8,4E-03	2,1E-17	2,1E-17
<b>Mai-08</b>	[Al] média	0,06	0,05	0,05
	Nº Análises	30	31	31
	[Al] máxima	0,10	0,05	0,05
	[Al] mínima	0,05	0,05	0,05
	Desvio padrão	1,3E-02	2,1E-17	2,1E-17