



## *Universidade da Beira Interior*

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



# Qualidade da água para consumo humano



*Dissertação realizada por:*

*• Elsa Marisa dos Santos Paulos, n.º 1573*



*Covilhã, 2008*





# **UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR**

## **QUALIDADE DA ÁGUA PARA Consumo Humano**

**ELSA MARISA DOS SANTOS PAULOS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE DA BEIRA  
INTERIOR PARA OBTENÇÃO DO GRAM DE MESTRE EM  
QUÍMICA INDUSTRIAL/2º CICLO DE ESTUDOS, SOB A  
ORIENTAÇÃO DA PROFESSORA DOUTORA HELENA BANDEIRA**

**COVILHÃ, 2008**



*Com Muito Amor e Gratidão  
Aos Meus Pais*



## **AGRADECIMENTOS**

***“Sonhar é um Dom, concretizá-lo é uma vontade”.***

*A concretização deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição generosa de diversas pessoas a quem estou profundamente reconhecida.*

*Em primeiro lugar, e acima de tudo, desejo agradecer à Professora Doutora Helena Bandeira, minha orientadora, pelos ensinamentos e elevado conhecimento científico que me transmitiu e pelo seu constante apoio, incentivo, disponibilidade que sempre mostrou e sobretudo pela amizade.*

*À Universidade da Beira Interior em si e a todos os funcionários, na contribuição que me deram na minha formação quer académica quer como pessoa, e em especial à Professora Doutora Albertina pela ajuda e pelo incentivo prestados.*

*Agradeço, também, a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram e me ajudaram ao longo desta etapa, especialmente nos momentos mais difíceis, mostrando-me com o seu apoio que vale a pena continuar a lutar... assim como a todos os docentes que leccionaram as várias disciplinas.*

*Quero, também expressar os meus humildes agradecimentos à minha família, que sempre me apoiou, em todos os momentos bons e menos bons.*

*Aos meus queridos pais, aos quais dedico este trabalho, pela confiança que depositaram em mim e pela força e coragem com que sempre me entusiasmaram na concretização deste trabalho...*

*E a ti meu Deus que me inspiras sempre o que devo pensar, o que devo dizer, o que hei-de calar, o que hei-de escrever, o que hei-de fazer e como o hei-de fazer...*

Obrigado!!!



## **RESUMO**

A água constitui um recurso limitado, sendo, no entanto, indispensável e essencial. O Homem necessita de consumir diariamente, directa e indirectamente, cerca de 2 a 3 litros de água. Essa água tem de apresentar características de qualidade que garantam a sua potabilidade, de modo a não constituir um veículo de doenças e poluentes. Contudo, as disponibilidades não são iguais, quer do ponto de vista da quantidade, quer da qualidade, em todo o planeta e para todos os seus habitantes. A qualidade da água para consumo humano tem, por isso, de ser objecto de cuidados permanentes e adequados. O consumidor tem o direito de receber, na torneira da sua casa, água em condições de ser consumida sem riscos.

O controlo da qualidade da água para consumo humano pode definir-se como o conjunto sistemático de acções de avaliação de qualidade da água realizadas com carácter regular pela entidade gestora do sistema de abastecimento de água, com vista à manutenção permanente da sua qualidade em conformidade com a norma ou padrão estabelecido legalmente.

No presente trabalho procurou fazer-se uma análise do controlo da qualidade da água, para consumo humano com base na legislação existente. Com o desenvolvimento deste assunto cria-se uma base de trabalho que pode servir para desenvolver este tema, com alunos do ensino básico, em aulas de formação cívica, ajudando assim a consciencializar esses alunos sobre este tema.

São também desenvolvidos alguns métodos analíticos que poderão ser aplicados e estudados, a nível do ensino secundário, para a determinação dos parâmetros químicos cálcio, magnésio e ferro. Para a quantificação do cálcio e do magnésio são sugeridos o método titrimétrico com algumas alterações relativamente ao utilizado actualmente e o método de absorção atómica. Este último método também é sugerido para a determinação de ferro. Para a determinação de ferro indica-se ainda o método de absorção molecular também com alterações relativamente ao que está a ser aplicado



## **ABSTRACT**

Water is a limited resource, however it is essential and indispensable. Man needs to consume in a daily basis, direct and indirectly, about 2 a 3 litres of water. And that water must present characteristics of quality that assure that it won't be a vehicle of pollution and diseases. However, availability is not the same, whether we think in terms of quantity and quality, in all planet and to all it's habitants. The quality of water for human consumption must for that be object of permanent and adequate care. Consumers have the right to receive in their homes, water that can be used without risks.

Quality control of water for human consumption may define itself as the systematic set of evaluation actions of water quality, performed by the institution responsible by the management of the water supply system, with the purpose of maintaining permanently it's quality in conformity with the legal patterns established.

In the present paper, we tried to make an analysis of the quality control of water for human consumption based on existing legislation. With the development of this subject, we created a ground base that can be used to work this theme with elementary school students, in civic formation classes, helping them to be aware of this kind of problems.

Are also developed some analytic methods that can be applied and studied at high school level, for the determination of chemical patterns of calcium, magnesium and iron. For the quantification of calcium and magnesium, we suggest the titrimetric method with some changes to the one used in our days, and the atomic absorption method. This last method is also suggested to the determination of iron. For the determination of iron, we as well indicate the molecular absorption method, also with some changes to the one used in our days.



## **ÍNDICE**

<b>Capítulo 1 – Introdução</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 – Abordagem Global à água</b>	<b>4</b>
Introdução	5
2.1 A água: sua indispensabilidade e limitação	6
2.2 Propriedades da água	10
2.3 O aparecimento e a distribuição da água na Terra	12
2.4 Ciclo da água	15
<b>Capítulo 3 – Tipos de água na Terra</b>	<b>19</b>
Introdução	20
3.1 Águas de precipitação ou meteóricas	22
3.2 Águas superficiais	25
3.2.1 Águas interiores, correntes e estagnadas	26
3.2.2 Águas subterrâneas	30
3.3 Águas de nascentes	32
3.4 Água do mar	35
<b>Capítulo 4 – Controlo da qualidade da água para consumo humano</b>	<b>36</b>
Introdução	37
4.1 Qualidade da água para consumo humano	38
4.2 Águas potáveis	39
4.3 Controlo da qualidade da água para consumo humano	41
4.3.1 Porquê a necessidade do controlo da qualidade da água para consumo humano?	41
4.3.2 Quem controla a qualidade da água para consumo humano?	43
4.3.3 Como se controla a qualidade da água para consumo humano?	46



4.3.4 Quando se controla a qualidade da água para consumo humano?	49
<b>Capítulo 5 – Métodos para a determinação do cálcio, magnésio e ferro</b>	<b>52</b>
Introdução	53
5.1 Cálcio e magnésio	55
5.2 Ferro	57
5.3 Métodos analíticos	58
5.3.1 Métodos para a determinação de cálcio e magnésio	60
5.3.1.1 Método titrimétrico do EDTA	61
5.3.1.2 Método espectroscópio de absorção atómica para a determinação do cálcio e do magnésio	63
5.3.2 Métodos para a determinação de ferro	68
5.3.2.1 Método espectroscópio de absorção molecular	69
5.3.2.2 Método espectroscópio de absorção atómica para a determinação do ferro	71
<b>Capítulo 6 – Conclusão</b>	<b>72</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>75</b>
<b>Anexos</b>	<b>79</b>
Anexo I – Parâmetros e valores paramétricos	80
Anexo II – Controlo da qualidade da água	88
Anexo III – Controlo da qualidade da água	90
Anexo IV – Protocolo experimental: Método titrimétrico do EDTA para a determinação da dureza total do cálcio e do magnésio	94
Anexo V – Protocolo experimental: Método espectroscópio de absorção atómica	100
Anexo VI – Protocolo experimental: Método espectroscópio de absorção molecular	106



# CAPÍTULO 1 –

## INTRODUÇÃO





## 1. A INTRODUÇÃO

É cada vez maior, nas sociedades de hoje, a preocupação com a preservação, o controle e a utilização racional da água.

O globo terrestre é constituído essencialmente por água. Cerca de 2/3 deste bem precioso subsiste em 3 formas: líquido, sólido e gasoso, estando distribuído de modo desigual na superfície terrestre. Este facto coloca este recurso numa posição exigente que requer planeamento e gestão adequada para minimizar o seu risco de escassez.

A água desempenha um papel de extrema importância na vida humana e no equilíbrio do ecossistema. No entanto, é de salientar, que apenas cerca de 1% da sua totalidade se encontra disponível para consumo humano.

A hidrosfera, que representa a totalidade da água existente na esfera terrestre, distribui-se por três reservatórios principais:

- os oceanos;
- os continentes;
- a atmosfera.

O desenvolvimento da sociedade, a industrialização, o crescimento da população, a agricultura, entre outros, são os principais responsáveis pelo seu uso e consumo, provocando assim alterações profundas na sua qualidade. A contaminação da água provoca alterações significativas no ecossistema pois, nem sempre é possível restabelecer o seu equilíbrio por processos naturais. A má gestão e a falta de planeamento adequado deste recurso poderão levar à sua escassez, pelo que é importante a tomada de consciência da humanidade para esta problemática. É importante criar programas de prevenção da poluição e não apostar apenas no tratamento da água.

A água utilizada para consumo humano, deve apresentar qualidade e não ser susceptível de causar danos à saúde pública. Esta não deve, apresentar cor, ter odor nem sabor. No entanto, para garantir com rigor a sua qualidade, é fundamental recorrer a análises cuidadosas a diversos parâmetros e em diversas épocas sazonais.

Este trabalho está dividido em seis capítulos onde se abordam temas relacionados com a qualidade da água para consumo humano.



No segundo capítulo faz-se uma abordagem global sobre a água, incidindo o estudo na sua indispensabilidade e limitação, assim como nas suas propriedades. É, ainda, estudado o seu aparecimento, a sua distribuição na Terra e o seu ciclo.

Na terceira parte do trabalho são estudados os diversos tipos de água (águas de precipitação, águas superficiais, águas de nascentes e águas do mar).

No quarto capítulo procura-se explicar, de uma forma mais pormenorizada, o controlo da qualidade da água para consumo humano, tentando responder às seguintes questões: Porquê a necessidade de controlo, quem controla a qualidade da água, como se controla e quando se controla a qualidade da água para consumo humano.

O quinto capítulo foi desenvolvido de forma a estudar alguns conceitos e métodos analíticos cujas metodologias possam ser aplicadas a nível do ensino secundário.

Para finalizar o trabalho, no último capítulo, apresentam-se algumas conclusões resultantes deste trabalho de pesquisa e experimental.



# CAPÍTULO 2 –

## ABORDAGEM GLOBAL À ÁGUA



“Quando as nuvens estiverem carregadas, derramarão chuva sobre a Terra”

e

“Os rios correm para o mar, contudo, o mar nunca se enche. Os rios vão desaguar ao lugar donde saíram, para voltarem a correr” [1]



## **INTRODUÇÃO**

Muitos autores que se têm, desde há muito tempo, debruçado sob o estudo da água, concluíram que foi nela que a vida se desenvolveu!

A molécula da água tem características únicas, que lhe conferem um comportamento próprio em relação a compostos estruturalmente semelhantes. A sua estrutura confere-lhe, como é sabido, um potencial electrostático muito elevado, justificando o seu poder de diluição, a sua capacidade calórica, e tantas outras especificidades sem as quais a vida, a estrutura e o metabolismo celular não seriam provavelmente possíveis.

Na biosfera, onde nos inserimos, a água é indispensável e essencial. Poderíamos viver sem ouro ou sem platina, mas não poderíamos viver sem esse “dom divino da natureza”. O ciclo da água é, assim, o ciclo da vida.

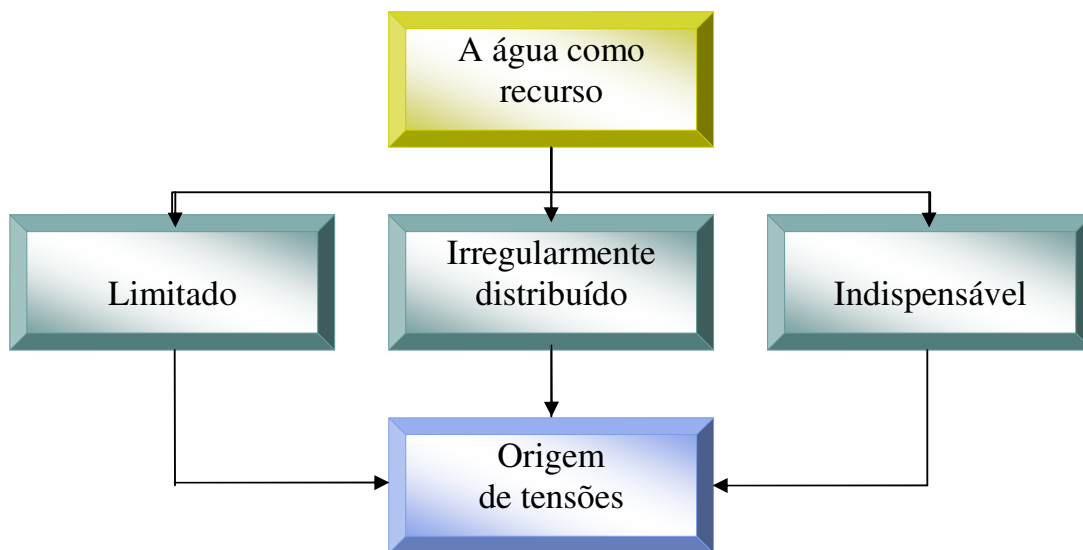
O problema da disponibilidade e da possibilidade de uso dessa água não se esgota, nem se resolve, neste ciclo hidrológico. As desigualdades são gritantes entre as diversas regiões, e as consequências desse facto são terríveis do ponto de vista da qualidade do ambiente e da qualidade de vida das populações.

Todos os cidadãos, independentemente da sua raça, cor, religião, sexo ou categoria social ou económica têm direito à vida, subjacente ao uso deste recurso essencial, em termos quantitativos e qualitativos [1].



## 2.1 A ÁGUA: SUA INDISPENSABILIDADE E LIMITAÇÃO

A água é o combustível da vida! A água e o ar constituem as necessidades mais essenciais ao homem. Sem água a existência da vida na Terra seria impossível [2]. A água constitui, portanto, um recurso essencial à vida. A vida nasceu no chamado oceano primordial, ou seja, na água. Constitui um factor indispensável à sobrevivência da biosfera, e, portanto, do Homem e de todas as outras espécies a ele associadas ou não, com as quais, de uma forma ou outra, ele convive. Tal como em relação ao ar, a dependência do Homem em relação à água é directa e inamovível. Daí resultam consequências, umas favoráveis, outras desfavoráveis, mas todas elas inevitáveis, como se ilustra na figura 2.1.



**Figura 2.1** – Indispensabilidade da água como recurso [1].

Uma das características cosmogónicas da água no planeta Terra, que é importante realçar desde o início, é o facto do seu quantitativo ser, por um lado, limitado, e, por outro, praticamente constante desde a sua formação. Os quantitativos recebidos do espaço exterior desde então são, com efeito, quase negligenciáveis em termos absolutos.

Como já foi referido, a água é indispensável à vida. O Homem consegue, com efeito, resistir meses à carência de alimentos que lhe forneçam suprimentos energéticos. Contudo, em relação à água, a resistência à sua privação absoluta é de poucos dias, reduzindo-se em condições de perdas acrescentadas por exsudação. Esta é uma dependência inamovível, reflexo, por um lado, da necessidade contínua de água que o Homem e outros seres



apresentam e, por outro lado, da capacidade limitada de acumulação no corpo daquele nutrimento essencial.

Esta situação reflecte, desde logo, o facto do corpo humano e das células vivas em geral serem maioritariamente constituídas por água, como se indica nas tabelas 2.1 e 2.2 [1].

O corpo humano tem aproximadamente 65 a 75 % de água, e uma perda de 15% conduz irremediavelmente à morte [2].

Idade	% Água (valores médios)
Feto – 1 mês	97%
Feto – 8 meses	83%
Recém-nascido	70%
Adulto	65%

**Tabela 2.1** – Variação do teor médio em água do organismo humano [1].

Órgãos	Água (%)	Resíduo mineral (%)
Esqueleto	25	21
Fígado	72	1,4
Pulmões	80	1,2
Músculos	75	1,05
Sangue	80	0,85
Rim	79	0,80
Pele	73	0,70

**Tabela 2.2** – Variação da água e do resíduo mineral em diferentes órgãos do corpo humano [1].

As necessidades diárias do Homem em relação à água cifram-se em dois a três litros fornecidos sob a forma de água e outros líquidos ou contidos nos alimentos que ingerimos. A limitação do quantitativo acumulável no organismo obriga à permanente e contínua manutenção de um balanço positivo. Na tabela 2.3 indicam-se esses valores.



<b>Balanço hídrico diário</b>	<b>Volume</b>
<b>Entradas de água no organismo</b>	<b>ml</b>
Água líquida	1300
Água dos alimentos	850
Água obtida pela oxidação dos alimentos	350
<b>Total médio diário de ganhos</b>	<b>2500</b>
<b>Perdas de água pelo organismo</b>	<b>ml</b>
Água perdida a partir da respiração pulmonar	400
Água perdida por evaporação a partir da epiderme	500
Água da urina	1500
Água das fezes	100
<b>Total médio diário de perdas</b>	<b>2500</b>
Balanço	0

**Tabela 2.3** – Balanço médio diário da água no caso do Homem [1].

Sem água, o planeta morreria e os organismos vivos não resistiriam mais do que períodos limitados, e, com o desaparecimento desses recursos hídricos, o Homem não poderia sustentar-se mais do que o tempo que durassem as suas limitadas reservas.

A carência de água põe em risco não só a produção alimentar mas também as indústrias transformadoras dela dependentes, directa ou indirectamente: a vida nas aglomerações humanas de todas as dimensões, quer urbanas, quer rurais, os transportes, as actividades de mineração, etc.

Mas, o problema da água, do seu uso e da gestão dos recursos hídricos disponíveis, não é um problema meramente quantitativo, enquadrado no seu ciclo biogeoquímico, mas também um problema qualitativo. A água, enquanto composto dotado de características físico-químicas próprias que afectam e condicionam o seu uso não se encontra no estado puro na natureza: não aparece como um composto incolor, inodoro e insípido, que, teoricamente, deveria ser. Ela encontra-se na natureza, em todas as circunstâncias, associada a substâncias estranhas, existentes em solução e/ou em suspensão, que afectam as suas capacidades potenciais de aplicação e que condicionam os seus usos possíveis. Daí a necessidade de associar à sua quantificação, a indicação da sua qualidade. Qualidade essa que é definida



como sendo aquilo que a caracteriza, ou melhor ainda, a sua adaptabilidade ao uso para determinados fins, bem especificados. Só assim se pode fazer a avaliação dos recursos disponíveis.

Nenhuma água poderá, em princípio, ser usada para todos os fins potenciais, sendo, por isso, em concreto, o seu valor de utilização função dos objectivos visados pelos seus utilizadores. Não é, por isso, aceitável ou admissível analisar os aspectos quantitativos e qualitativos da gestão dos recursos hídricos de forma independente [1].

Um dos índices mais significativos para avaliar o nível de vida numa sociedade é o consumo de água por habitante. A transição de uma sociedade rural e agrícola para uma sociedade urbana e industrializada é acompanhada por um aumento muito substancial do consumo de água.

Há que proceder a uma utilização sucessiva e intensiva da água e provocar a sua policirculação com purificações adequadas. Para isso, a indústria tem que aprender a fazer a reciclagem da água, o que, além de levar a economias consideráveis deste recurso, aumenta a produtividade global. Só assim se evita a degradação da água e se promove a sua indispensável poupança.

Os cursos de água têm que ser drenados, para evitar alterações fisiográficas, e as águas devem ser limpas por meio de estações de purificação, não só por razões de conservação e de preservação do meio ambiente, como por razões de sobrevivência das formas de vida nas próprias águas e nas suas vizinhanças.

É muito estranho que na indústria e na agricultura se utilize água da mesma qualidade daquela que se consome em usos domésticos. Geralmente a agricultura e a indústria não exigem padrões de qualidade tão elevados.

A problemática levantada pelas necessidades em água surge em todos os sectores da vida humana e, só o estudo cuidadoso e persistente poderá conduzir a soluções racionais dos pontos de vista económico, social e de saúde pública. É que a água constitui um instrumento impulsionador do progresso, um factor de prosperidade e um agente modelador de civilizações e de culturas.

O conhecimento das propriedades físicas e químicas da água, assim como o do seu movimento e da sua dinâmica, torna-se indispensável para obter a compreensão adequada do comportamento da água em condições naturais [2].



## **2.2 PROPRIEDADES DA ÁGUA**

A água apresenta um conjunto de propriedades peculiares, únicas. Dificilmente ou mesmo impossivelmente se pode conceber vida na sua ausência. Podemos referir, mesmo que brevemente, o aumento de volume quando congela, a sua elevada tensão superficial e as suas especiais características térmicas. Na água, a atracção de iões com cargas eléctricas opostas é muito menor do que noutros meios líquidos, de modo que é um óptimo solvente para numerosas substâncias que formam soluções ionizadas. Ora isto é de importância capital para as numerosas reacções que, em meio aquoso, se dão no mundo das células.

A menor densidade da água quando gela tem como consequência ecológica importante, entre outras, a protecção dos organismos que vivem no fundo dos rios e lagos de água doce, pois as massas de gelo flutuam. Também o elevado valor da tensão superficial da água tem grande importância biológica, determinando, por exemplo, em parte, a circulação da água nos vasos capilares das plantas. Sem esta propriedade, os diminutos organismos primitivos dificilmente teriam podido deixar a água e passar à terra firme e as plantas superiores não se teriam originado porque a sua nutrição se baseia fundamentalmente na capilaridade da água.

No que respeita às suas propriedades térmicas, são de salientar o elevado calor específico, assim como o elevado calor de vaporização e de fusão. Uma dada quantidade de calor produz na água uma menor elevação térmica do que acontece com muitas outras substâncias. Portanto, a água actua como um estabilizador da temperatura, impedindo de modo mais eficiente do que outras substâncias uma elevação ou um abaixamento térmico. São as propriedades térmicas da água que asseguram temperaturas relativamente constantes nos oceanos e determinam reduzidas flutuações de temperatura na superfície terrestre. Ora isto é também fundamental para a vida, que só pode existir dentro de limites de certo modo estreitos de temperatura. O mesmo papel estabilizador é desempenhado no interior de muitos organismos. Por outro lado, o ciclo da água na natureza depende em grande parte das relações água-temperatura. O vapor de água da atmosfera desempenha uma função de enorme importância no equilíbrio térmico e nas suas variações. Com grande capacidade para absorver energia radiante, na forma de radiações infravermelhas, funciona como distribuidor e regulador da temperatura do planeta. O seu “efeito de estufa” ainda é mais importante do que o do dióxido de carbono. Vida e clima estão intimamente relacionados, facto que, em grande



parte, é devido ao delicado equilíbrio de interações entre as massas de água oceânicas e a atmosfera, um equilíbrio que parece estar ameaçado pelas actividades humanas.

Outras propriedades da água, com grande valor biológico, são, também, a sua grande capacidade como solvente, associada à sua extraordinária mobilidade. Isto faz desta substância o principal agente de metabolismo, quer da natureza inorgânica, quer dos organismos. Além disso, a fotossíntese pode ocorrer até profundidades de cerca de 200 m devido às propriedades ópticas da água, nomeadamente à sua transparência, no entanto a profundidade a que se pode dar a fotossíntese varia de acordo com os locais [3].



## **2.3 O APARECIMENTO E A DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA TERRA**

A água surgiu no decurso de reacções químicas que tiveram lugar no nosso planeta durante as primeiras fases da sua formação. A camada gasosa que rodeia a Terra apareceu como resultado, entre outros factores, das reacções químicas provocadas pelo aparecimento na sua superfície de um novo composto, isto é a água. Foi na água que, há cerca de 3800 milhões de anos, surgiu a vida na Terra. Os primeiros seres vivos, conhecidos como fósseis, eram bactérias e algas azuis (seres unicelulares) que viveram nos Oceanos Primitivos. Ao longo de milhões de anos, os seres vivos evoluíram e espalharam-se pelos oceanos e continentes.



[4]

Na Natureza, a água pode apresentar-se nos estados líquido, sólido e gasoso. A água dos oceanos, dos mares, dos rios, das águas subterrâneas, da chuva, do orvalho e das nuvens encontra-se no estado líquido. A água da neve, do granizo e do gelo encontra-se no estado sólido. A água sob a forma de vapor de água é invisível e encontra-se no estado gasoso. Grande parte do vapor de água encontra-se na atmosfera [4].



**Sólido**



**Líquido**



**Gasoso**

[4]



A água é um recurso natural renovável, em circulação constante, acompanhada por transições de fase, e que estabelece a ligação entre a terra, os oceanos e a atmosfera. Em cada ciclo a água do Globo é transferida por evaporação para a atmosfera, onde é transportada e se condensa, formando as nuvens, para voltar à Terra por precipitação. Na superfície da Terra a água escoar-se ou fica em parte retida, infiltrando-se e por fim volta a evaporar-se de novo.



[5]

A esta sucessão de fenómenos naturais em cadeia fechada chamamos ciclo hidrológico, o qual representa dois ramos, o que ocorre na atmosfera e se designa por ramo aéreo e o que se observa na terra e constitui o ramo terrestre.

Começa agora a sentir-se em todo o mundo o perigo do desequilíbrio entre a água necessária e a água disponível. É que, apesar da importância fundamental que a água tem para a sobrevivência e para a prosperidade da humanidade, tem vindo durante séculos e séculos a ser esbanjada e usada de forma extremamente ineficiente. Só recentemente se tem vindo a tomar consciência deste problema e a encarar, de forma um tanto tímida, toda a problemática da água procurando desenvolver alguns esforços no sentido de aumentar a rentabilidade da sua utilização e de investigar as possibilidades de controlar o ciclo natural da água.

A água actualmente existente pode considerar-se distribuída por três reservatórios principais que, pela ordem de importância, são: os oceanos, os continentes e a atmosfera. O interior da terra contém uma quantidade apreciável de água, em solução ou combinada quimicamente com as rochas, mas não é fácil fazer uma estimativa fundamentada.

Cerca de 97,3% de toda a água da hidrosfera existe nos oceanos e, dos restantes 2,7%, 2,15% existe nos glaciares e calotes geladas polares da Ártica e Antártica e os



restantes 0,65% nos lagos, rios, mares interiores e na atmosfera. Em princípio, só esta última fracção constitui a reserva dos recursos hídricos disponíveis para o homem [2].

A maior parte da água na Natureza é salgada, visto que as águas dos oceanos e mares constituem cerca de 97,3% da quantidade total de água na Terra. Nem toda a água se encontra livre, visto que faz parte do solo, das plantas e dos animais. Apesar da maior parte da superfície da Terra ser coberta por água, o homem só pode dispor de uma pequena porção dessa água porque grande parte dela não possui as propriedades necessárias à sua utilização [4].



## 2.4 CICLO DA ÁGUA

A água existente no planeta Terra não constitui uma realidade estática. Tal como todos os outros elementos essenciais à vida, integra-se em complexos ciclos biogeoquímicos, que a mantêm numa circulação permanente, entre os diversos compartimentos identificáveis no seu ciclo planetário.

Estabelece-se, assim, um sistema fechado, no qual a quantidade total se mantém praticamente constante. E nele, ela é mantida em circulação constante pela energia solar, que sobre ela actua, directa e indirectamente.

No sistema total, identificam-se diversos subsistemas, compartimentos, com localização e características próprias, geográficas e ecológicas. Cada subsistema apresenta um volume mais ou menos constante, tal como o são, tendencialmente, os fluxos estabelecidos entre os diferentes subsistemas.

A partição da massa total de água pode ser apresentada de forma subdividida, como se observa na tabela 2.4. Nesta tabela identificam-se os vários subsistemas do ciclo hidrológico, normalmente identificados e aceites [1].

Compartimentos	Volume ( $10^3 \text{ km}^3$ )	Percentagem do total
<b>Água superficial</b>		
Lagos de água doce	125	0,009
Lagos salinos e mares interiores	104	0,008
Rios e torrentes	1,3	0,0001
<b>Total</b>	230	0,017
<b>Água subsuperficial</b>		
Humidade do solo	67	0,005
Água subterrâneas	8000	0,62
<b>Total</b>	8067	0,625
<b>Calotes geladas e glaciares</b>	29000	2,15
Atmosfera	13	0,001
Oceanos	1330000	97,2
<b>Total</b>	1364730	100

Tabela 2.4 – Indicação dos valores de água presentes nos diferentes compartimentos [1].



A Terra está a lançar permanentemente vapor de água para a atmosfera, através da sua evaporação à superfície, como seja a água dos oceanos, lagos, glaciares, campos de neve, albufeiras, solo, etc. e através da transpiração da matéria viva que constitui a biosfera. A transferência natural da água da superfície da Terra para a atmosfera é extremamente importante, porque condiciona as características das massas do ar atmosférico, da dinâmica das suas alterações e do estabelecimento e evolução dos movimentos cíclicos do conjunto.

O ciclo hidrológico é o conceito fundamental da Hidrologia. Como já foi referido, este ciclo é uma consequência do princípio da conservação da água nas suas três fases na Terra. Descreve uma sequência de fenómenos naturais em que o planeta cede à atmosfera água no estado de vapor, que depois é devolvida em estado líquido ou sólido à Terra, onde é parcialmente retida na superfície e se infiltra ou se escoia, para depois voltar a evaporar-se novamente [2].

Globalmente, podem identificar-se os seguintes fenómenos naturais, no mecanismo do ciclo hidrológico:

1. Transferência da água, no estado de vapor, do planeta para a atmosfera, por evaporação da água que existe em estado líquido ou sólido nos mares, lagos, cursos de água e campos de neve, ou depositada na superfície, e por transpiração das plantas que existem no solo;
2. Transporte da água, entre as suas diversas fases, através de diferentes processos de circulação (locais e regionais) e pela circulação atmosférica global;
3. Condensação parcial do vapor de água da atmosfera sob a forma de partículas (líquidas e sólidas), presentes em suspensão no ar, onde formam aerossóis, que constituem as nuvens e o nevoeiros;
4. Transferência da água, presente nas fases líquida ou sólida da atmosfera, para a superfície do planeta, por precipitação ou por outras formas de deposição de hidrometeoros na superfície e nos corpos nela existentes;
5. Escoamento e retenção da água na superfície e sua infiltração no subsolo, com processos adicionais de absorção pelos sistemas radiculares das plantas e formação de cursos de água a caminho do mar ou de lagos e de lençóis friáticos [1].

E eis que o ciclo recomeça!



Há uma constante permuta de energia entre a atmosfera e a superfície da Terra. É esta troca de energia, ilustrada na figura 2.2, que induz a circulação da água num ciclo contínuo.



**Figura 2.2** – Ciclo da água na Terra [6].

A circulação da água no ciclo hidrológico depende das energias solar e gravítica, visto que a contribuição do calor interior da Terra se pode desprezar. Do Sol recebe a Terra, em média, 0,5 calorías por  $\text{cm}^2$  e por minuto, das quais 77% são reenviadas para o espaço exterior, na forma de radiação infravermelha. Os 23% restantes são utilizados na evaporação da água. A interdependência existente entre o ciclo da água e os fenómenos meteorológicos é, assim, desde logo, posta em evidência. Por outro lado, é lógico concluir que as alterações da composição da atmosfera, que tenham repercussões no balanço energético, irão afectar o ciclo hidrológico e o clima do planeta Terra.

A interferência de alguns dos constituintes da atmosfera no balanço energético, é também evidente, como resultado de alterações, quer locais, quer globais nas emissões de radiação para o espaço exterior, conhecido “efeito de estufa”.

A manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico é essencial à manutenção do equilíbrio da biosfera. No entanto, nem a distribuição da humidade atmosférica é uniforme, nem a quantidade de água precipitada é igual em todos os pontos do Planeta. E também a sua distribuição não é contínua ao longo do ano.



Existem, por isso, problemas muito concretos, relacionados com a possível ocorrência de situações de déficit da água disponível em diferentes locais e momentos, em função de condicionalismos locais, sazonais e temporais [1].



# **CAPÍTULO 3 –**

# **TIPOS DE ÁGUA NA**

# **TERRA**



As fontes naturais de abastecimento de água são: a água da chuva, as águas superficiais (rios, lagos) e águas subterrâneas (aquíferos, mananciais) [7]!

[4]



## INTRODUÇÃO

O capítulo I do decreto-lei nº 236/98 de 1 de Agosto estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

Para a prossecução do objectivo mencionado anteriormente, o diploma define os requisitos a observar na utilização das águas para os diferentes fins.

As águas podem ser classificadas em: águas para consumo humano, águas para suporte da vida aquícola, águas balneares e águas de rega.

- a) Águas para consumo humano:
  - a1) Águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano;
  - a2) Águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano;
  - a3) Águas de abastecimento para consumo humano;
- b) Águas para suporte da vida aquícola:
  - b1) Águas doces superficiais para fins aquícolas - águas piscícolas;
  - b2) Águas do litoral e salobras para fins aquícolas - águas conquícolas;
  - b3) Águas do litoral e salobras para fins aquícolas - águas piscícolas;
- c) Águas balneares;
- d) Águas de rega. [8].

O presente trabalho tem como objectivo o estudo da qualidade das águas para consumo humano, assim, este estudo incide neste tipo de águas.

As fontes naturais de abastecimento de água são a água da chuva, as águas superficiais (rios, lagos) e águas subterrâneas (aquíferos, mananciais). Estas fontes são parte fundamental do sistema ecológico e são imprescindíveis para o desenvolvimento económico.

Do volume de água existente no planeta somente 1% está disponível para as actividades do homem sendo que a sua distribuição sobre a Terra é desigual. Muitas dessas actividades humanas são o consumo doméstico, as actividades comerciais, as actividades pecuárias e agrícolas, a produção industrial, a geração de energia hidroeléctrica, a mineração e exploração de petróleo e transporte em geral.

A disponibilidade deste recurso é cada vez menor, por um lado, porque é utilizada e compartilhado por várias actividades e, por outro, porque não é utilizado racionalmente.



No caso da indústria, por exemplo, são utilizadas tecnologias que necessitam de grandes quantidades de água e, como consequência, produzem elevadas quantidades de água residual, que, posteriormente, são reenviadas para as fontes de água muitas vezes sem tratamento prévio.

Também, no caso da agricultura a necessidade da água é grande, especialmente em lugares onde a precipitação não é suficiente. Além disso, utilizam-se sistemas de irrigação que desperdiçam enormes volumes de água e os fertilizantes químicos também contribuem para a sua contaminação.

Finalmente, a água para consumo humano que é captada de fontes superficiais e subterrâneas é cada vez mais procurada pelas populações, no entanto, cada dia está mais escassa e cara.

Entre os recursos naturais, a água é o elemento mais importante para a subsistência das espécies que dependem da sua disponibilidade para satisfazer as suas necessidades. Quase todos os aspectos da vida do homem giram em torno desta, razão pela qual os povos se desenvolveram, ao longo da história, nas proximidades de fontes de água. Basta recordar como a origem da agricultura se deu nas margens dos grandes rios que definiram o território do Crescente Fértil: Nilo, Tigre, Eufrates, etc. [7].



## **3.1 ÁGUAS DE PRECIPITAÇÃO OU METEÓRICAS**

As águas, meteóricas ou de precipitação, chegam à superfície do planeta sob a forma de diferentes hidrometeoros – chuva, neve, geada, etc [1].

A água da chuva pode ser a única origem do abastecimento em determinadas povoações onde não haja outra água ou facilidade de a recolher.

Se as águas de precipitação são recolhidas dos telhados, podem estar contaminadas pelos excrementos ou cadáveres das aves, dos ratos ou de outros pequenos mamíferos e insectos. Algumas doenças destes animais podem ser transmitidas ao homem, sendo necessário encará-las também como perigosas ou mesmo nocivas. A água recolhida dos telhados só deve ser aproveitada depois de se verificar que não contém elementos de contaminação. No entanto, as cisternas onde ela é armazenada deverão conter um filtro para evitar que quaisquer contaminantes, que ainda poderão estar na água, entrem para a cisterna. Estas águas devem, além dos cuidados referidos, sofrer um tratamento adequado para as tornar agradáveis ao paladar [9].

A variabilidade da precipitação é grande, registando-se os quantitativos mais elevados, no que se refere a valores anuais, na zona intertropical de convergência, correspondente ao equador térmico. Os valores que aí se verificam podem ultrapassar 3000 mm/ano, localizando-se nas regiões equatoriais da América do Sul, da África, da Ásia e do Pacífico.

A localização desta zona de precipitações máximas não é inalterável, evoluindo, para norte e para sul, de acordo com o movimento aparente do Sol, e sujeitando-se às influências da circulação atmosférica. As consequências desses processos reflectem-se também no avanço dos processos de desertificação actualmente em curso, e nas alterações climáticas regionais que nos é dado observar.

A precipitação não pode ser observada isoladamente, havendo a necessidade de a contrapor à evaporação, que parcialmente a equilibra. As diferenças de situação entre os continentes e os oceanos são evidentes, registando-se um balanço positivo das precipitações no Hemisfério Norte, em contraste com o balanço negativo, do mesmo valor absoluto, observado no Hemisfério Sul.

As diferenças verificadas entre as precipitações e a evaporação nos diferentes continentes e oceanos são evidenciados na tabela 3.1, na qual se realça o excesso de



precipitação sobre os continentes e a reposição do défice pelas águas que afluem aos oceanos, provindas desses mesmos continentes.

A água dos hidrometeoros apresenta em geral e, em especial antes da Revolução Industrial uma contaminação diminuta. Contudo, ela tem vindo a apresentar modificações qualitativas importantes ao nível da sua composição química, em consequência dos fenómenos de poluição atmosférica e de outras disfunções de origem antropogénica.

A presença de matérias sólidas nos hidrometeoros é variável com as condições de desenvolvimento agrícola, industrial e urbano das regiões. Como valores médios, podem indicar-se concentrações da ordem dos 10 a 80 mg/L, com uma tendência no sentido do crescimento, nomeadamente como reflexo da poluição atmosférica e da erosão eólica.

As substâncias presentes são de origem inorgânica e orgânica. Entre elas poderemos destacar as seguintes:

1. Espécies iónicas diversas ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , etc.);
2. Sílica, no estado coloidal e em suspensão;
3. Substâncias orgânicas (pólen, partículas diversas, quer vegetais, quer animais, microrganismos, etc.);
4. Compostos azotados, tais como  $\text{NH}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ , etc., num total de formas de azoto combinado que pode ultrapassar 1mg/L;
5. Gases dissolvidos na água, nomeadamente, oxigénio (cerca de 8  $\text{cm}^3/\text{L}$ ), azoto (cerca de 16  $\text{cm}^3/\text{L}$ ), anidrido carbónico (cerca de 0,5  $\text{cm}^3/\text{L}$ ), entre outros.

Como exemplo dos fenómenos resultantes da alteração da composição da água dos hidrometeoros podemos referir o processo das chuvas ácidas. Este processo traduz-se pela acidificação das águas das chuvas. São graves as consequências daí resultantes, entre elas, podemos destacar as agressões sobre as plantas e o solo, as modificações da fauna e flora aquáticas e do solo, o aumento do poder erosivo e destruidor de materiais naturais e artificiais como, por exemplo, a destruição do património natural e construído [1].



<b>Região considerada</b>	<b>Área (10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>)</b>	<b>R (mm/ano)</b>	<b>E (mm/ano)</b>	<b>R-E (mm/ano)</b>	<b>E/R</b>
Europa	10,0	657	375	282	0,57
Ásia	44,1	696	420	276	0,60
África	29,8	696	582	114	0,84
Austrália	8,9	410	410	60	0,83
América do Norte	24,1	645	403	242	0,62
América do Sul	17,9	1564	946	618	0,60
Antártica	14,1	169	28	141	0,17
<b>Todos os continentes</b>	148,9	746	480	266	0,64
Oceano Ártico	8,5	97	53	44	0,55
Oceano Atlântico	98,0	761	1133	-372	1,49
Oceano Índico	77,7	1043	1294	-251	1,24
Oceano Pacífico	176,9	1292	1202	90	0,93
<b>Todos os oceanos</b>	361,1	1066	1176	-110	1,10
<b>Total global</b>	510,0	973	973	0	1,10

**Tabela 3.1** – Valores médios anuais da precipitação (R) e da evaporação (E) para os vários continentes e oceanos [1].



## **3.2 ÁGUAS SUPERFICIAIS**

As águas superficiais constituem uma pequena fracção da água total que constitui boa parte da água utilizável pelo homem [10].

As águas superficiais podem conter substâncias químicas, minerais e orgânicas de origem vegetal ou animal.

Estas águas estão constantemente expostas a toda a espécie de inquinações, tornando-se esta poluição tanto mais perigosa quanto maior for o contacto com excrementos de natureza vária, assim como com águas residuais ou de esgotos, sendo, por isso, impróprias para consumo humano.

Em casos especiais é possível que a auto-depuração de uma água corrente, decorrido certo tempo e percurso, produza efeito depurador, mesmo assim devem empregar-se métodos especiais de depuração para a tornar própria para o consumo [9].

Estas águas subdividem-se em:

- Águas interiores, correntes e estagnadas;
- Águas subterrâneas [1].



### **3.2.1 ÁGUAS INTERIORES, CORRENTES E ESTAGNADAS**

As águas interiores reflectem, como é óbvio, as características geológicas das zonas que atravessaram. Daí que a sua composição apresente modificações espaço-temporais importantes mercê de razões desse tipo e de influências antropogénicas diversas. Apesar disso, na generalidade das águas interiores, pode afirmar-se que estão presentes as seis espécies iónicas seguintes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

A quantidade de sólidos presentes apresenta, em geral, valores compreendidos entre 100 e 400 mg/L. Os processos erosivos e de transporte sólido nos terrenos adjacentes aos rios e correntes, ou seja, integrados na sua bacia hidrográfica, podem contribuir para induzir alterações substantivas nos sólidos presentes na água, em suspensão e em dissolução, como consequência, em geral, da pluviosidade. Estas situações ocorrem, essencialmente, por altura das primeiras quedas pluviométricas outonais, no caso de Portugal e de outras regiões temperadas, podendo registar-se, nesse período, valores episódicos superiores a 1000 mg/L, ou mais.

Além das espécies orgânicas e inorgânicas, derivadas das actividades biológicas, desenvolvidas nos diversos níveis das cadeias tróficas associadas, importa referir também a presença de gases dissolvidos na água. O total desses gases apresenta, em regra, valores entre 30 e 50  $\text{cm}^3/\text{L}$ , variando, no entanto, com a temperatura e com a salinidade da água.

O oxigénio, produto da actividade fotossintética, constitui um factor determinante do tipo de metabolismo dominante dos organismos que se desenvolvem na massa de água em questão. Representa cerca de 1/5 daquele total, em condições aeróbias, aumentando na época de mais elevada eficiência dos organismos fitoplanctónicos. O anidrido carbónico representa, no contexto da fotossíntese/respiração, por um lado um composto essencial à fotossíntese e, por outro o produto da respiração. O seu teor varia com a luminosidade ambiental, com a temperatura e com os nutrientes disponíveis para fins fotossintéticos.

Normalmente o teor de  $\text{CO}_2$  é suficiente para cobrir as necessidades fotossintéticas. No entanto, podem encontrar-se situações de completo esgotamento. Nestas situações a fotossíntese realiza-se à custa do carbono dos bicarbonatos, originando a formação de  $\text{CO}_2$  e provocando uma elevação do pH da água, devido à libertação de oxidrilos.



Outro gás importante que se encontra dissolvido na água dos rios, é o azoto. A sua concentração representa, em regra, 2/5 do total e encontra-se em equilíbrio com o azoto atmosférico.

Os teores em gases dissolvidos são, portanto, função da actividade metabólica global, variando com as condições ecológicas do local e da zona considerada. A estabilização química, decorrente destes fenómenos, é mais evidente nas zonas de águas paradas. Aí, como é óbvio, as modificações são muito significativas nas zonas trofógenicas, onde se verifica uma libertação do oxigénio e um consumo de  $\text{CO}_2$ , em oposição às zonas trofólíticas, onde a evolução é inversa.

Relativamente ao azoto, pode verificar-se um aumento do seu teor mercê de processos de desnitrificação, não completamente compensados, nas zonas anaeróbias, e na zona superficial, por processos de fixação de azoto molecular resultante da intervenção de determinadas bactérias, assim como de cianobactérias.

Como resultante de todos estes aspectos, e considerando especificamente o problema das águas correntes, pode dizer-se que os principais factores determinantes da sua natureza e variabilidade química são os seguintes:

1. Distância do oceano, cuja influência é traduzida pela entrada e saída de água, através da foz, no decurso das marés, como reflexo nos teores em  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc;
2. Clima e vegetação da bacia hidrográfica, factores reguladores da erosão e da solubilização de espécies químicas diversas, cuja concentração nas águas dependerá da intensidade dos processos de evaporação e evapotranspiração e da sua importância relativa;
3. Natureza geológica e litológica da zona atravessada, traduzida por capacidades de solubilização muito diversas;
4. Vegetação terrestre presente, cuja produtividade se reflecte na formação da manta morta e de resíduos diversos, animais e vegetais, cujo transporte e diluição na água determinam, essencialmente, os respectivos teores em C-orgânico e espécies químicas azotadas ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , proteínas e produtos da sua hidrólise, etc.);
5. Vegetação aquática, cuja produtividade e posterior degradação regulam os teores em espécies químicas azotadas e fosfatadas, o pH, os carbonatos e outros parâmetros sensíveis às condições de potencial redox (Fe, Mn, etc.).



A variabilidade da composição química das águas naturais é, como facilmente se pode verificar, muito mais sentida em pequenas bacias hidrográficas (superfície inferior a 100 km<sup>2</sup>), do que nas grandes bacias, podendo neste último caso a sua concentração ser considerada constante.

O clima constitui outro dos factores susceptíveis de influenciar significativamente a composição química das águas de superfície. Nas zonas tropicais, em regiões cujos solos foram lixiviados intensamente e por períodos prolongados, a composição química das águas de superfície reflecte claramente a composição iónica das águas de precipitação. Como exemplo, refira-se o caso das águas da bacia amazónica. O baixo valor de pH (3,5-5,0) é principalmente explicável pela presença de ácidos orgânicos, como por exemplo o ácido fórmico, formados na atmosfera através de reacções fotoquímicas, incidentes sobre compostos orgânicos voláteis. Estes compostos são provenientes da vegetação terrestre, exuberante e variada, que aí se desenvolve.

Pelo contrário, em zonas áridas, nas quais a evapotranspiração excede largamente a precipitação, verificam-se processos de salinização das águas, ou seja a formação de vários sais, como o CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> e até NaCl. Nas águas correntes de duração efémera e limitada também ocorrem processos de salinização.

Outros processos naturais podem igualmente afectar profundamente a composição e a qualidade das águas superficiais, como por exemplo os fenómenos de hidrotermalismo, vulcanismo activo, abatimentos de solos e a ocorrência de tipos raros de rochas, como as evaporites.

Os processos de hidrotermalismo e os de vulcanismo activo podem ser responsáveis por fortes acidificações das águas de superfície. Como exemplo extremo, refira-se o caso das águas do lago de cratera de Kawah Idjen na ilha de Java, cujo pH é de 1,5. Encontram-se aí soluções quase puras de HCl e de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Quando ocorrem processos de abatimentos de solos, quebra de glaciares ou erosão eólica, encontram-se situações de ocorrência de águas com níveis muito elevados e permanentes de materiais em suspensão (mais de 10 g/L ou até acima de 100 g/L).

As evaporites podem ser extremamente solúveis e, formarem-se, a partir desses locais, caudais de água fortemente salinos, cujo impacte biológico poderá ser muito grande, por exemplo, mortandades maciças de peixes, observadas em afluentes da bacia amazónica.

A qualidade das águas dos lagos é também muito variável, em especial como consequência de processos de estratificação térmica e/ou biológica.



Na maior parte dos lagos de zonas temperadas, a ocorrência de dois processos de circulação global das águas no decurso do ano conduz à reoxigenação total das águas profundas, que podem apresentar, de forma cíclica, situações de privação do oxigénio, na sequência de processos de eutrofização.

Nos lagos profundos, profundidade superior a 300 m, como por exemplo o lago Geneve, a ocorrência e eficiência de tais processos de circulação pode ser menor, verificando-se reoxigenação das águas do hipolimnion, apenas quando o Inverno for especialmente rigoroso. Nos lagos tropicais profundos, a estratificação térmica é permanente, sendo insuficiente a acção do vento para a destruir. É o caso, por exemplo, dos lagos Kivu, Tanganica e Malawi, na região dos grandes lagos africanos, onde a anoxia do hipolimnion é permanente.

As gamas de variação dos parâmetros definidores da qualidade da água são, por isso, muito alargadas, ao considerar-se o problema à escala da hidrosfera [1].



### **3.2.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

As águas subterrâneas podem no seu conjunto classificar-se em diferentes categorias, de acordo com a sua origem ou processo de formação. De acordo com este critério, poderemos identificar os seguintes subtipos:

1. **Águas de origem meteórica**, resultantes de processos de escoamento/infiltração de águas superficiais, conduzindo ao seu armazenamento no subsolo, a diferentes profundidades;
2. **Águas juvenis**, resultantes de processos de condensação do vapor de água, libertado do magma, na sequência de fenómenos vulcânicos;
3. **Águas cósmicas**, correspondentes à água recebida do espaço exterior através dos meteoritos, que colidem, ou colidiram no passado com a Terra e aí permaneceram;
4. **Águas de restituição**, formadas na sequência de fenómenos de compressão de terrenos, onde se encontram presentes minerais hidratados, que, por via mecânica, sofrem um processo de desidratação, libertando água contida nas suas estruturas moleculares;
5. **Águas fósseis**, geralmente salgadas, que representam formações remanescentes de águas marinhas inclusas nos sedimentos, após a sua formação, em tempos geológicos passados.

O volume de água contida numa rocha depende da percentagem de espaços, de vários tipos, existentes num determinado volume, definido como sendo a respectiva porosidade. Como é óbvio, quanto maior for esse volume mais elevada será a porosidade dessa rocha e maior será o volume de água armazenada.

Contudo, nem toda essa água se encontra disponível. Terá, por isso, que definir-se um outro parâmetro, o rendimento específico, que corresponde à quantidade de água que uma determinada rocha poderá drenar apenas por efeito da gravidade.

No solo, ou em rochas subsuperficiais, os espaços vazios estão parcialmente preenchidos com água e parcialmente com ar. Esta zona, que poderá atingir até algumas dezenas de metros de profundidade, diz-se, por isso, insaturada.



Na zona insaturada o ar e a água podem reagir entre si, verificando-se processos alterogêneos, de origem química, física ou biológica, que podem estar na origem da formação e dispersão de diferentes substâncias ou produtos.

Abaixo desta zona, caso a água preencha completamente esses espaços vazios, as condições são assim alteradas e passa a designar-se como zona saturada. Se, nessa zona saturada for escavado um poço, ou efectuado outro tipo de perfuração a água aflui a esse local e o nível, o nível freático, estabiliza-se a um determinado valor.

A movimentação da água situada na zona insaturada será predominantemente orientada no sentido descendente. Os tempos de residência médios nessas zonas, dependendo da sua espessura, cifram-se entre quase zero e 20-40 anos de permanência.

As águas subterrâneas não se mantêm, em regra, estáticas. A tendência será para a deslocação através das massas rochosas adjacentes. A maior ou menor dificuldade de tal progressão se verificar depende, por um lado, da dimensão dos poros existentes e, por outro, da forma e da proporção em que se registam interligações entre eles. Esta característica é utilizada para definir a sua permeabilidade.

Como é óbvio a situação não é homogênea, registando-se a existência de algumas rochas através das quais a movimentação da água é mais ou menos fácil, enquanto que noutras a penetração é quase nula: estas rochas designam-se de impermeáveis.

As camadas rochosas suficientemente porosas para armazenar quantidades significativas de água, através das quais, mercê da sua permeabilidade, a água se possa deslocar facilmente, constituem os aquíferos. Admite-se ainda que a explorabilidade do sistema é económica e, portanto, viável na prática.

Os caudais estabelecidos entre os aquíferos, as nascentes e os poços viabilizam a utilização das águas subterrâneas para o abastecimento das populações [1].



## **3.3 ÁGUAS DE NASCENTES**

A existência de sistemas muito ramificados de fissuras fora das cavidades de dimensões variadas, interligadas ou não entre si, privilegia a infiltração e a descarga rápida das águas subterrâneas, segundo determinadas direcções. Daí resulta o aparecimento de canais ramificados, de curso regular ou irregular, com saídas ao nível do solo. Tais processos são denominados emergências e podem verificar-se ao nível de camadas isoladas e bem definidas de águas subterrâneas.

Uma água subterrânea, aparecendo à superfície desse modo, designa-se por água de nascente. Alguns autores utilizam esta designação apenas para o caso das emergências de toalhas freáticas reservando, para o caso das saídas de água de zonas calcárias a designação de exurgências, e quando o rio subterrâneo se desenvolve inteiramente em zonas geológicas desse tipo. Poderá ainda referir-se um terceiro caso, o das ressurgências, para designar processos de retorno ao ar livre de um curso de água, que fora anteriormente desviado, no sentido da profundidade, por penetração ou absorção. Podem ocorrer situações mistas nas ressurgências e exurgências.

As fontes que se formam em terrenos permeáveis designam-se por fontes verdadeiras e as que se formam em zonas calcárias são as falsas fontes (exurgências e ressurgências).

Em resumo, pode definir-se uma nascente como sendo um manancial de água subterrânea aparecendo à superfície, em condições geológicas favoráveis. Trata-se, portanto, de uma passagem, permanente ou temporária, de água subterrânea para água de superfície.

As águas de nascentes (também designadas por fontes) apresentam, em geral, uma composição química característica, com teores salinos específicos.

As nascentes podem ser utilizadas no seu estado natural, sendo necessário, em geral, desenvolver um conjunto de processos técnicos específicos globalmente designados por captação. Trata-se, em geral, de substituir, ou de completar, alguns troços do percurso final no subsolo, por construções artificiais, que reforçam a captação ou diminuem a sua vulnerabilidade.

Um ponto importante, do ponto de vista da exploração destas águas, é o de definir o sentido em que se verifica a sua deslocação. Existem, com efeito, nascentes descendentes ou em queda e nascentes ascendentes ou montantes.



Nas primeiras a água desloca-se no sentido descendente desde a sua origem, comportando-se, em geral, como água subterrânea recoberta pelo ar. Nas fontes ascendentes, verifica-se, pelo contrário, um movimento ascendente, por pressão hidrostática, ou pela impulsão, gerada por gases (vapor de água, dióxido de carbono, hidrocarbonetos).

O problema do teor em  $\text{CO}_2$  dissolvido é muito característico deste tipo de águas, em especial em zonas calcárias. A solubilidade de  $\text{CO}_2$  na água é função da pressão parcial desse gás na atmosfera, com a qual ela se encontra em contacto. Como nessas zonas a acumulação de  $\text{CO}_2$  devido à respiração radicular atinge níveis elevados, a solubilidade de  $\text{CO}_2$  na água é também muito superior à concentração saturante na atmosfera.

Podem assim encontrar-se, nas águas das nascentes, teores em  $\text{CO}_2$  de algumas centenas de mg/L. Quando essas águas contactam com a atmosfera, o teor terá de se reequilibrar com o da atmosfera. Dessa libertação abrupta resulta a precipitação de carbonato de cálcio, que pode cobrir, sob a forma de um pó fino, as plantas e rochas da zona da nascente.

A composição das águas de nascente reflecte, assim, além dos processos químicos, característicos das zonas geológicas e climáticas onde se formaram, o peso de um outro parâmetro: o tempo de contacto das águas com as rochas envolventes. Desse ponto de vista, podem classificar-se essas águas em duas categorias:

1. Águas meteóricas, que permanecem ou circulam no solo por períodos reduzidos;
2. Águas subterrâneas, que têm prolongada circulação profunda.

Como é óbvio, as águas das nascentes do primeiro tipo são menos puras e mais vulneráveis, em geral, do que as águas das nascentes profundas.

No contexto das águas de nascentes ocupam uma posição dominante, do ponto de vista económico, as águas minerais, cujo consumo, por razões diversas, tem vindo a aumentar substancialmente, em Portugal e noutros países desenvolvidos.

A classificação das águas minerais pode ser feita de acordo com diferentes critérios. Os mais vulgarmente utilizados dizem respeito ao ião dominante ou à utilização médica a que estão associados, em termos de termalismo.

Na tabela 3.2 apresenta-se uma classificação possível, de acordo com aqueles dois critérios. Em Portugal, observa-se um aparente recuo do termalismo, como alternativa de férias (estivais ou outras), associadas a um tratamento/prevenção de várias doenças. Regista-se, porém, em contrapartida, um aumento muito significativo do consumo de águas minerais engarrafadas [1].



<b>Segundo o íão dominante</b>	<b>Segundo a utilização médico-terapêutica</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Águas cloretadas</li><li>✓ Águas bicarbonatadas (sódicas, cálcicas, magnesianas)</li><li>✓ Águas sulfúricas (sódicas, cálcicas)</li><li>✓ Águas sulfatadas (sódicas, cálcicas)</li><li>✓ Águas ferruginosas e manganosas (bicarbonatadas, sulfatadas)</li><li>✓ Águas humíferas (ferruginosas ou manganíferas)</li><li>✓ Águas oligometálicas</li><li>✓ Águas gasosas (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, gases raros)</li><li>✓ Águas radioactivas</li><li>✓ Águas cupríferas</li><li>✓ Águas selenitosas</li><li>✓ Águas arseniacais</li><li>✓ Águas iodadas</li><li>✓ Águas bóricas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Vias digestivas</li><li>✓ Vias respiratórias</li><li>✓ Vias urinárias</li><li>✓ Sistema circulatório</li><li>✓ Sistema nervoso</li><li>✓ Ginecologia</li><li>✓ Doenças de criança</li><li>✓ Doenças de ossos e articulações</li><li>✓ Dermatoses</li><li>✓ Reumatismo</li><li>✓ Doenças da nutrição</li></ul>

**Tabela 3.2 – Classificação das águas minerais [1].**



## **3.4 ÁGUA DO MAR**

A água dos oceanos apresenta, como característica fundamental, uma elevada salinidade, definida como a quantidade de sais dissolvidos, expressa em grama de sal por quilograma de água. Este parâmetro, determinável por diferentes processos analíticos, pode ser apresentado em geral com uma aproximação de 0,001 ‰, ou seja, 1 ppm.

A composição da água do mar é muito complexa não só, pelo número de elementos presentes sob forma iónica, como também pelas numerosas espécies químicas aí formadas, em condições de elevada pressão osmótica, força iónica e concentração.

A reactividade química dos diversos elementos é condicionada não só pelo tempo de permanência dos elementos químicos na água, mas também pela natureza das várias reacções.

Entre os elementos mais abundantes, o Cl, Na, K, S, Br, B e F são os que apresentam menor variação na sua concentração. Outro elemento também abundante é o Sr. No entanto apresenta uma ligeira diminuição na zona fótica, possivelmente por fixação na carapaça de algumas espécies planctónicas. Quanto ao cálcio, também pertencente ao grupo dos elementos mais abundante, deposita-se no fundo do mar, existindo um diferencial de 0,5 ‰ entre as suas concentrações à superfície e em profundidade.

Além dos compostos referidos, a água do mar apresenta um teor muito elevado de gases em solução, provenientes da atmosfera. A solubilidade destes gases varia directamente com o seu peso molecular e inversamente com a temperatura. No entanto, o CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O são excepção em virtude da sua elevada interacção com a água [1].



# CAPÍTULO 4 –

## CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO



Nem toda a água que existe na natureza é própria para consumo. Mas não te preocupes, porque existem processos de tratamento da água, que garantem que a água que chega a tua casa seja potável [11]!



## **INTRODUÇÃO**

As actuais exigências de quantidade e qualidade da água tornam prioritária a sua preservação, o seu controle e a sua utilização racional.

A definição de instrumentos de gestão deste recurso hídrico é baseada em sistemas de informação resultantes de programas de monitorização ambiental, uma vez que estes permitem: caracterizar o estado da qualidade das águas numa bacia hidrográfica, avaliar a disponibilidade de água e as alterações de longo prazo das condições naturais dos meios hídricos devido às actividades humanas, avaliar a qualidade da água (química e microbiológica), considerando os actuais e potenciais usos da água, a saúde pública e o estado ecológico, por fim verificar o cumprimento dos objectivos de qualidade, de forma a permitir a definição de planos de gestão e posterior avaliação da sua implementação, a melhoria da qualidade da água e a garantia de informação actualizada sobre o estado geral deste recurso hídrico.

Com a aprovação da Directiva Quadro da Água, DQA, é introduzido o conceito de “avaliação do estado ecológico”, que altera o anterior sistema de classificação da qualidade das águas baseado essencialmente em parâmetros físico-químicos. Os parâmetros físico-químicos são indicadores muito utilizados na caracterização do estado da qualidade dos recursos hídricos, exigindo a análise de um número considerável de parâmetros, de modo a obter uma caracterização satisfatória [12].

No sentido de controlar a água foram emitidos, desde há alguns anos, várias Directivas da Comunidade Europeia. Em Portugal, com base nessas directivas foram criados Decretos-Lei, sendo os mais recentes, o Decreto-Lei n. 236/98 de 1 de Agosto, o Decreto-Lei n. 243/2001 de 5 de Setembro e ultimamente o Decreto-Lei n. 306/2007 de 27 de Agosto, com entrada em vigor em 1 de Janeiro de 2008.



## **4.1 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

O conceito de qualidade apresenta, simultaneamente, uma grande ambiguidade e uma grande diversidade. Qualidade não é, portanto, uma palavra cujo significado seja objectivo e unívoco. Este conceito de qualidade é relativo, uma vez que se baseia na objectividade do utilizador, ou do fim a que a água se destina. Uma água com qualidade para ser bebida pode não servir para outros fins (agricultura, indústria, etc.), e vice-versa. Por exemplo:

- ✓ a água destilada, quase pura, não serve para beber, ou, mais rigorosamente, o seu consumo conduziria a prazo à morte do consumidor, por perda de minerais que seriam retirados do organismo;
- ✓ uma água para consumo humano não é adequada, por exemplo, para a indústria da pasta de papel branqueada, visto conter determinada quantidade de ferro, elemento essencial à vida, que provocaria no papel manchas de ferrugem.

Assim, não existe nenhuma água cuja qualidade, em termos absolutos, seja adequada para todos os fins.

Para o consumidor directo, a qualidade da água é avaliada, numa primeira impressão, pelas suas qualidades organolépticas. Para que possa ser bebida, incondicionalmente e sem repugnância, deverá ser clara (incolor), inodora (sem cheiro) e não ter qualquer sabor desagradável. No entanto, uma água que apresente estas características pode não ser adequada para o consumo humano, visto, poder, por exemplo, estar contaminada com organismos patogénicos. Para poder ser consumida sem restrições deverá respeitar muitas outras exigências, não possíveis de avaliar sensorialmente.

Pode concluir-se que água para consumo humano tem como requisitos de qualidade não pôr em risco a saúde, não causar danos nos sistemas de distribuição e possuir características organolépticas que não afectem negativamente a sua aceitação por parte do consumidor [1].



## 4.2 ÁGUAS POTÁVEIS

Entende-se por água potável a que é própria para beber, para cozinhar os alimentos e para usos domésticos. Desde Hipócrates que se considera como tal, a que sendo fresca, límpida e sem cheiro, coze bem os legumes. A esta sábia e criteriosa definição apenas se acrescentou, nos meados do século XIX, como pode verificar-se no Anuário de Águas de França, para o ano de 1851, que a água potável dissolvia o sabão sem formar grumos, tinha sabor agradável e continha suficiente ar em dissolução. Foi nesta época que se iniciou o estudo do ensaio da dureza.

Com os progressos da química, começou a conhecer-se a composição da água, surgindo a convicção de que a sua qualidade depende dos sais dissolvidos. No entanto, se os sais se encontram em abundância, ou seja se a concentração salina é grande, a água deixa de ter sabor agradável, é pesada no estômago, não é boa para cozinhar os alimentos e não convém para usos domésticos.

A análise química dominou durante muito tempo os estudos de águas e chegou a pensar-se que ela, só por si, era suficiente para julgar da potabilidade de uma água. Mas o microscópio e as descobertas de Pasteur vieram permitir ver e examinar a multidão de germes que vivem na água, uns saprofitas e outros patogénicos, o que levou a que a qualidade da água também devia ter em conta o tipo e a quantidade destes organismos.

Desde todos os tempos, a medicina admitiu que certas águas causavam doenças, como por exemplo a febre tifóide, a cólera e as disenterias. Com Miquel, que podemos considerar o fundador da análise bacteriológica de águas, a contagem do número de bactérias, por cm<sup>3</sup> de água, entrou na prática corrente. Considerou-se então que a análise bacteriológica devia ter por fim verificar se a água continha germes causadores de doenças nos homens e nos animais.

A avaliação da pureza das águas destinadas ao consumo humano além de ter em conta as características bacteriológicas e químicas deverá também considerar características biológicas como a fauna e a flora aquáticas. Por exemplo, dividindo os animais e vegetais, em duas grandes classes: a classe das espécies cataróbias, que vivem nas águas puras, e a das espécies sapróbias, que vivem nas águas impuras, constituídas por matérias orgânicas em decomposição.

Fica patente a complicadíssima série de ensaios a que é preciso sujeitar uma água para verificar se ela é potável.



Em conclusão podemos dizer que o conceito de água potável deixa de se fundamentar apenas na observação dos caracteres organolépticos, para se tornar um interessante problema científico.

Dizia Berville que, quando se trata de classificar uma água, “o árbitro tem a obrigação de reunir as qualidades de um bacteriologista sagaz e de um químico experimentado, devendo formular a sua apreciação com toda a sinceridade e consciência; ter em conta, além das observações no curso das suas investigações analíticas, todos os dados que tenha podido procurar da origem da água, natureza dos terrenos de onde ela emerge, epidemias anteriores da região, etc. Não basta saber o que é a água no momento em que se examina; o que importa é o que ela será no futuro, e isto depende da sua procedência”.

Deste modo, saber se uma água é potável constitui, na actualidade, um problema que exige, para a sua solução, a interpretação dos resultados de análises físicas, químicas, micrográficas e bacteriológicas [13].



[14]



## **4.3 CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

### **4.3.1 PORQUÊ A NECESSIDADE DO CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO?**

De acordo com o Decreto-Lei n. 236/98, a água destinada ao consumo humano é toda a água no seu estado original, ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, à preparação de alimentos ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, de um camião ou navio-cisterna, em garrafas ou outros recipientes, com ou sem fins comerciais; e é toda a água utilizada numa empresa da indústria alimentar para o fabrico, transformação, conservação ou comercialização de produtos ou substâncias destinados ao consumo humano, excepto quando a utilização dessa água não afecta a salubridade do género alimentício na sua forma acabada.

Este Decreto-Lei considera como águas de abastecimento para consumo humano todas as águas utilizadas para esse fim no seu estado original ou após tratamento, qualquer que seja a sua origem, abrangendo:

- a) A água para consumo humano;
- b) A água utilizada nas indústrias alimentares para fins de fabrico, de tratamento ou de conservação de produtos ou de substâncias destinadas a serem consumidas pelo homem, e que seja susceptível de afectar a salubridade do produto alimentar final;
- c) A água utilizada para a produção de gelo;
- d) A água acondicionada em embalagens, recipientes ou autotanques que, em circunstâncias excepcionais, poderá ser posta à disposição do consumidor para consumo humano, directo;
- e) A água embalada disponibilizada em circuitos comerciais.

São características de qualidade da água para consumo humano não pôr em risco a saúde, ser agradável ao paladar e à vista dos consumidores e não causar a deterioração ou destruição das diferentes partes do sistema de abastecimento [8].



Assegurar a qualidade da água para consumo humano constitui um objectivo primordial nas sociedades actuais, ponderada a sua importância para a saúde e a necessidade de salvaguardar e promover a sua utilização sustentável [15].

É necessário proteger e melhorar a qualidade das águas que sejam utilizadas ou estejam destinadas a serem utilizadas, após tratamento adequado, para a produção de água para consumo humano.

O controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano tem por objectivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água destinada ao consumo humano, assegurando a sua salubridade e limpeza, ou seja, esta água é caracterizada por não conter microrganismos, parasitas nem quaisquer substâncias químicas, em quantidades ou concentrações que constituam um perigo potencial para a saúde humana. Assim, foi estabelecido um conjunto de parâmetros, relativamente aos quais se atribuíram valores mínimos admissíveis e recomendados [8] por se considerar que valores superiores a eles seriam prejudiciais à saúde. Posteriormente estes valores foram substituídos por valores paramétricos [15,16]. Os valores paramétricos referentes a parâmetros microbiológicos e físico-químicos, assim como os parâmetros considerados indicadores, fixados pelo Decreto-Lei n. 306/2007 apresentam-se nas partes A), B) e C), respectivamente, indicadas no anexo I.



## **4.3.2 QUEM CONTROLA A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO?**

As entidades gestoras de sistemas de abastecimento público em baixa devem, tendencialmente, disponibilizar, por rede fixa ou outros meios, água própria para consumo humano devidamente controlada, em quantidade que satisfaça as necessidades básicas da população e em qualidade, na sua área geográfica de influência.

Compete às entidades gestoras garantir que a água destinada ao consumo humano seja salubre, limpa e desejavelmente equilibrada, designadamente que:

1. Não contenha nenhum microrganismo, parasita ou substância em quantidade ou concentração que possa constituir um perigo potencial para a saúde humana;
2. Cumpra as normas da qualidade fixadas no anexo I.

As entidades gestoras devem garantir a realização, caso a caso, de controlos suplementares de substâncias e ou microrganismos para os quais não tenham sido fixados os valores paramétricos, se houver razões para suspeitar que os mesmos podem estar presentes em quantidades que constituam um perigo potencial para a saúde humana. Estes valores paramétricos são determinados pela autoridade de saúde, ouvidas a entidade gestora e a autoridade competente.

As entidades gestoras devem manter os registos relativos ao controlo da qualidade da água para consumo humano e a respectiva documentação por um período mínimo de cinco anos.

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, I. P. (ERSAR, I. P.) é a autoridade competente para a coordenação e fiscalização da aplicação do decreto-lei n.º 306/2007.

As funções de autoridade de saúde relativas à aplicação deste Decreto-Lei na componente de saúde pública são exercidas por:

1. No caso dos sistemas municipais ou particulares, pelo delegado regional de saúde ou o seu representante designado para o concelho;
2. No caso dos sistemas multimunicipais ou intermunicipais, pelo delegado regional de saúde ou o seu representante designado, assessorado pelos delegados de saúde dos concelhos envolvidos;



3. No caso dos sistemas multimunicipais ou intermunicipais que abrangem mais de um centro regional de saúde pública, pela Direcção-Geral da Saúde (DGS);

4. No caso das intervenções e derrogações, pelo delegado regional de saúde da região onde se localiza o sistema de abastecimento, ou quando estiver em causa mais de uma região, pela DGS.

A autoridade de saúde assegura de forma regular e periódica a vigilância sanitária da qualidade da água para consumo humano fornecida pelas entidades gestoras, bem como as demais funções constantes do Decreto-Lei n.º 306/2007.

As entidades gestoras devem:

- tomar as medidas necessárias para assegurarem a melhoria contínua da qualidade da água fornecida, através de programas de controlo operacional para todos os sistemas de abastecimento;

- manter registos actualizados das acções desenvolvidas no âmbito da implementação dos programas de controlo operacional e disponibilizá-los nas acções de fiscalização.

Os ensaios de controlo da qualidade da água para a verificação do cumprimento dos valores paramétricos só podem ser realizados por laboratórios de ensaios considerados como aptos pela autoridade competente, nos termos do referido Decreto-Lei.

A autoridade competente divulga a lista actualizada dos laboratórios de ensaios através do seu sítio na Internet.

A fiscalização do cumprimento do disposto no Decreto-Lei n.º 306/2007 é realizada pela autoridade competente e pela Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE). A autoridade competente realiza, em qualquer ponto dos sistemas públicos de abastecimento e nas instalações das entidades gestoras, acções de fiscalização para verificar o cumprimento deste decreto-lei, comunicando às mesmas as irregularidades detectadas. A fiscalização das entidades gestoras de sistemas particulares de abastecimento são realizadas pela ASAE, a qual reporta à autoridade competente, por sector de actividade, até 31 de Março do ano seguinte àquele a que dizem respeito, os seguintes elementos:

1. O número de acções de fiscalização realizadas;
2. A estimativa de população servida e volume anual;
3. O número de processos de contra-ordenação instruídos;
4. As principais infracções detectadas.



No caso de a alteração da qualidade da água para consumo humano ser devida à qualidade da água na origem, os resultados da acção de fiscalização devem ser também comunicados à administração de região hidrográfica (ARH) territorialmente competente.

Os licenciamentos de captações de águas para sistemas de abastecimento particular devem ser comunicados pelas respectivas entidades licenciadoras e à ASAE.

As acções de vigilância sanitária são realizadas pela autoridade de saúde, que incluem a realização de análises complementares ao programa de controlo da qualidade da água (PCQA) e de outras acções necessárias para a avaliação da qualidade da água para consumo humano e avaliação do risco para a saúde humana da qualidade da água destinada ao consumo humano. As acções de vigilância sanitária devem ter em conta o conhecimento do sistema de água e o seu funcionamento e as características da água e das zonas de abastecimento consideradas mais problemáticas. A entidade gestora deve fornecer o PCQA, bem como a caracterização e funcionamento dos sistemas de solicitada por esta. No âmbito das acções de vigilância sanitária, a autoridade de saúde deve informar a entidade gestora dos incumprimentos aos valores paramétricos detectados, no prazo de cinco dias a contar da data em que deles toma conhecimento. Quer os valores paramétricos tenham ou não sido respeitados, sempre que a autoridade de saúde verifique que a qualidade da água distribuída constitui um perigo potencial para a saúde humana, deve, em articulação com a entidade gestora, determinar as medidas a adoptar para minimizar tais efeitos, designadamente a determinação da proibição ou restrição do abastecimento e a informação e o aconselhamento aos consumidores, delas dando conhecimento à autoridade competente. A autoridade de saúde pode ainda determinar a proibição do abastecimento, tendo em consideração os riscos para a saúde humana decorrentes da interrupção do abastecimento ou da restrição da utilização da água. Da decisão referida anteriormente deve ser dado imediato conhecimento à entidade gestora e à autoridade competente, devendo ainda ser prestado o aconselhamento e a informação adequados aos consumidores afectados [16].



## **4.3.3 Como se controla a qualidade da água para consumo humano?**

As entidades gestoras asseguram obrigatoriamente um adequado tratamento da água destinada ao consumo humano, de modo a garantir a sua qualidade. A água distribuída deve ser submetida a um processo de desinfecção. No entanto, as entidades gestoras podem ser dispensadas pela autoridade de saúde do cumprimento do processo de desinfecção se, através do histórico analítico, demonstrarem não terem tido incumprimentos relativamente aos parâmetros microbiológicos sem recurso à desinfecção.

Também compete às entidades gestoras assegurar a eficácia da desinfecção e garantir, sem comprometer a desinfecção, que a contaminação por subprodutos da água seja mantida a um nível tão baixo quanto possível e não ponha em causa a sua qualidade para consumo humano.

O controlo da qualidade da água realiza-se, relativamente aos tipos de controlo, de acordo com o disposto no anexo II.

A verificação do cumprimento dos valores paramétricos fixados nos termos do Decreto-Lei n.º 306/2007 é feita:

1. No caso da água fornecida a partir de uma rede de distribuição, no ponto, em que no interior de uma instalação ou estabelecimento sai das torneiras normalmente utilizadas para consumo humano;
2. No caso da água fornecida a partir de fontanários não ligados à rede de distribuição, no ponto de utilização;
3. No caso da água fornecida por entidades gestoras em alta, nos postos de amostragem dos pontos de entrega aos respectivos utilizadores;
4. No caso da água fornecida a partir de camiões, navios--cisterna e reservatórios não ligados à rede de distribuição, no ponto de utilização;
5. No caso da água destinada à venda em garrafas e outros recipientes, com ou sem fins comerciais, no fim da linha de enchimento;
6. No caso da água utilizada numa empresa da indústria alimentar, no ponto de utilização.



Nas situações a que se refere o ponto 1, a responsabilidade das entidades gestoras cessa sempre que se comprove que o incumprimento dos valores paramétricos fixados é imputável ao sistema de distribuição predial ou à sua manutenção, excepto nas instalações e nos estabelecimentos em que se fornece água ao público, tais como escolas, hospitais e restaurantes, caso em que se deve esclarecer, por escrito, os responsáveis desses estabelecimentos ou instalações sobre os incumprimentos dos valores paramétricos decorrentes dos seus sistemas específicos, logo que deles tenham conhecimento.

Quando o incumprimento dos valores paramétricos fixados seja imputável ao sistema de distribuição predial ou à sua manutenção, a autoridade competente, ouvida, se necessário, a autoridade de saúde, pode determinar aos responsáveis dos estabelecimentos ou das instalações em que se forneça água ao público a adopção de medidas a implementar nas redes prediais para reduzir ou eliminar os riscos de incumprimento dos valores paramétricos, bem como os respectivos prazos, dando conhecimento às entidades gestoras.

Não sendo adoptadas as medidas referidas anteriormente no prazo fixado, a autoridade competente, ouvida a autoridade de saúde, pode determinar que a entidade gestora suspenda o fornecimento de água quando esteja em risco a saúde humana.

A autoridade competente pode ainda, em articulação com as entidades gestoras, determinar a estas a adopção de outras medidas, tais como a introdução de técnicas de tratamento adequadas para modificar a natureza ou as propriedades da água antes da distribuição, por forma a reduzir ou eliminar os riscos de incumprimento dos valores paramétricos após a distribuição.

A autoridade competente garante ainda que os consumidores afectados são devidamente informados e aconselhados sobre eventuais medidas de correcção suplementares que devam tomar.

O controlo dos parâmetros conservativos (Acrilamida, Antimónio, Arsénio, Benzeno, Boro, Bromatos, Cádmio, Cianetos, Cloretos, Crómio, 1,2-dicloroetano, Fluoretos, Mercúrio, Nitratos, Pesticidas, Radioactividade, Selénio, Sódio, Sulfatos, Tetracloroetano e Tricloroetano) é obrigatório para as entidades gestoras que produzam água para consumo humano, devendo ser efectuado com a frequência estabelecida para as entidades gestoras em baixa.

A entidade gestora que distribua água adquirida exclusivamente a outra entidade gestora está dispensada do controlo dos parâmetros conservativos nas zonas de abastecimento onde ocorra essa aquisição exclusiva.



As entidades gestoras devem controlar os pesticidas cuja presença seja provável numa determinada zona de abastecimento, tendo em conta a localização das suas origens de água.

A Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), fixa até 31 de Julho de cada ano os pesticidas a controlar pelas entidades gestoras no ano seguinte.

As entidades gestoras podem solicitar à autoridade competente a dispensa da análise de um ou mais parâmetros do controlo de inspecção para as zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 100 m<sup>3</sup>. A dispensa da determinação dos parâmetros do controlo de inspecção é válida por um período de três anos [16].



## **4.3.4 QUANDO SE CONTROLA A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO?**

Como já foi referido anteriormente, as entidades gestoras têm determinadas obrigações, nomeadamente a apresentação do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano, a frequência de amostragem de acordo com a população servida, a comunicação dos incumprimentos de valores paramétricos e de outras situações que comportassem risco para a saúde humana, a publicação trimestral dos resultados obtidos nas análises de demonstração de conformidade, a comunicação, até 31 de Março de cada ano, dos dados analíticos da implementação do programa de controlo da qualidade da água relativos ao ano transacto, a realização de análises preferencialmente em laboratórios de ensaios credenciados e os métodos analíticos de referência.

O controlo da qualidade da água passou a ser feito na torneira do consumidor. É importante e necessário proceder-se a um controlo operacional, já que é essencial o controlo regular e frequente de todos os componentes do sistema de abastecimento (frequência de amostragem), por forma a otimizar a qualidade da água fornecida ao consumidor.

As entidades gestoras devem manter os registos relativos ao controlo da qualidade da água para consumo humano e a respectiva documentação por um período mínimo de cinco anos.

Como já foi dito as entidades gestoras podem solicitar à autoridade competente a dispensa da análise de um ou mais parâmetros do controlo de inspecção para as zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 100 m<sup>3</sup>, excepto relativamente aos parâmetros Enterococos e Clostridium perfringens. As entidades gestoras devem evidenciar os resultados obtidos em laboratório considerado apto pela autoridade competente, correspondentes a pelo menos três determinações analíticas distribuídas equitativamente no tempo, durante um período mínimo de um ano, relevando, para este efeito, os valores obtidos a partir de 1 de Janeiro de 2004.

A dispensa da determinação dos parâmetros do controlo de inspecção é válida por um período de três anos.



No termo da validade da dispensa, a entidade gestora deve incluir no PCQA, a determinação de todos os parâmetros do controlo de inspecção, de acordo com a frequência estabelecida no anexo III do Decreto-Lei n.º 306/2007.

As entidades gestoras devem dispor, no início de cada ano civil, de um PCQA, aprovado pela autoridade competente. O PCQA é elaborado nos termos definidos no anexo III deste Decreto-Lei, do qual faz parte integrante, e submetido à aprovação da autoridade competente:

a) No caso das entidades gestoras em alta, até 15 de Setembro do ano anterior ao período a que diz respeito;

b) No caso das entidades gestoras em baixa, até 30 de Setembro do ano anterior ao período a que diz respeito.

O PCQA considera -se tacitamente aprovado na ausência de pronúncia da autoridade competente no prazo máximo de 45 dias contado a partir de 30 de Setembro.

A não aprovação do PCQA não dispensa as entidades gestoras de realizarem o controlo da qualidade da água para consumo humano.

Os resultados da verificação da qualidade da água para consumo humano obtidos na implementação do PCQA aprovado devem ser comunicados pelas entidades gestoras à autoridade competente até 31 de Março do ano seguinte àquele a que dizem respeito, em formato por esta definido.

As entidades gestoras em baixa devem publicitar, trimestralmente, por meio de editais afixados nos lugares próprios ou na imprensa regional, no prazo máximo de dois meses após o trimestre a que dizem respeito, os resultados analíticos obtidos na implementação do PCQA, sem prejuízo da divulgação adicional por outros formatos, designadamente, no seus sítios na Internet, por correio ou nos boletins municipais.

Os editais devem permanecer afixados até à sua substituição pelos editais seguintes e ser enviados à autoridade de saúde.

As entidades gestoras em baixa que actuem por delegação ou concessão devem publicitar na imprensa regional os dados trimestrais da qualidade da água ou, em alternativa, fornecê-los aos respectivos municípios, para que estes procedam à sua publicitação por edital.

As entidades gestoras em alta devem fazer prova, trimestralmente, junto das entidades gestoras em baixa, dos resultados analíticos obtidos na implementação do PCQA, por ponto de entrega, num prazo máximo de dois meses após o trimestre a que dizem respeito.

Nesta informação deve constar, no mínimo, por parâmetro:



- a) O número de análises previstas no PCQA;
- b) A percentagem de análises realizadas;
- c) O valor paramétrico;
- d) Os valores máximo e mínimo obtidos;
- e) A percentagem de análises que cumprem a legislação;
- f) A informação complementar relativa às causas dos incumprimentos e às medidas correctivas implementadas.

A entidade gestora deve disponibilizar a informação relativa a cada zona de abastecimento, quando solicitada.

As entidades gestoras de sistemas de abastecimento particular devem publicitar trimestralmente nas suas instalações os resultados da verificação da conformidade da qualidade da água distribuída e enviá-los à respectiva autoridade de saúde.

As situações de incumprimento dos valores paramétricos estabelecidos nas partes I, II e III do anexo I do presente trabalho devem ser comunicadas, de forma auditável e até ao fim do dia útil seguinte àquele em que tiveram conhecimento da sua ocorrência, pelos laboratórios de análises encarregues do controlo da qualidade da água às entidades gestoras, as quais, por sua vez, devem comunicá-las à autoridade de saúde e à autoridade competente até ao fim do dia útil seguinte àquele em que tiveram conhecimento da sua ocorrência.

Nas situações previstas anteriormente, as entidades gestoras em alta devem ainda informar as respectivas entidades gestoras em baixa [16].



# CAPÍTULO 5 –

## MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DO CÁLCIO, MAGNÉSIO E FERRO



O tratamento da água tem como objectivo assegurar a sua potabilidade, ou seja, proteger a saúde pública tornando-a tão agradável à vista e ao paladar quanto possível, e evitar a destruição dos materiais do sistema de abastecimento de água [17].



## **INTRODUÇÃO**

Como já foi referido ao longo do trabalho a água é um elemento essencial à vida e à actividade humana, apresentando-se como o suporte dos ecossistemas. Deste modo, ao longo do tempo e com o crescimento da população, o seu consumo aumentou drasticamente, o que está também relacionado com o desenvolvimento industrial e agrícola. Contudo, a água encontra-se na natureza associada a diversas substâncias, que afectam a sua qualidade e que condicionam os seus potenciais usos. Deste modo deve-se avaliar a sua qualidade e tomar medidas no sentido de controlar os diversos parâmetros que lhe estão associados [18].

A água pode ser considerada o mais importante nutriente pois sem ela o organismo rapidamente se desidrata. Mas para além desta situação de risco, sabe-se que o consumo pouco frequente de água pode conduzir a situações de doença crónica. As pedras nos rins, o cancro na bexiga, na próstata, nos rins, nos testículos ou no cólon, poderão estar relacionados com o consumo insuficiente de água, durante períodos prolongados da nossa vida. Por exemplo, um volume adequado de urina, que se obtém através de uma ingestão adequada de água ao longo do dia, é a mais importante medida terapêutica para a prevenção de “pedras” no sistema urinário.

Alguns constituintes das águas minerais como o magnésio e o cálcio presentes, por exemplo, em grandes quantidades nas águas minerais naturalmente gaseificadas e bicarbonatadas podem adicionalmente influenciar a composição da urina, reduzindo ainda mais o risco do aparecimento de cálculos. Assim, estas águas minerais gaseificadas podem constituir uma preciosa ajuda natural ou até uma alternativa aos medicamentos no tratamento dos cálculos de oxalato de cálcio.

O cálcio encontra-se presente em diversos alimentos como o leite, brócolos, couves, amêndoas, etc... Quando o cálcio proveniente dos alimentos não é suficiente é mais provável o aparecimento de fracturas ósseas, em especial quando a idade avança. Felizmente, diversas águas minerais comercializadas em Portugal possuem quantidades apreciáveis de cálcio e magnésio. O cálcio e o magnésio presentes na água são bem absorvidos no organismo, tal como o cálcio presente no leite. O consumo regular deste tipo de águas poderá fornecer até 25 % do cálcio necessário por dia. Como nem toda a gente gosta de beber água, algumas destas águas já possuem aromas naturais a fruta, de sabor agradável, baixo valor calórico e baixo índice glicémico com uma digestibilidade muito boa. O consumo regular destas águas poderá



contribuir para a redução da gordura na circulação. O mundo das águas é pois imenso e fascinante [19].

O cálcio contribui, por exemplo, para uma adequada formação dos ossos e dentes e a sua dose diária recomendada (DDR) pela Organização Mundial de Saúde é de 800 mg.

O magnésio é usado pelo organismo na regulação do funcionamento das células nervosas e musculares e a sua respectiva DDR é de 300 a 350 mg [20].

Tanto o magnésio como o cálcio estão presentes nas fontes naturais de água e representam a sua dureza, contudo as concentrações presentes na água não representam quaisquer riscos para a saúde pública [21].

O ferro pode ter origem natural ou resultar da degradação de canalizações feitas em ferro. A legislação relativa a águas destinadas a consumo humano determina que o teor em ferro total não exceda os 200  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  [20].

Neste capítulo serão estudados os parâmetros cálcio, magnésio e ferro. Este estudo incidirá principalmente no aprofundamento de alguns métodos que poderão ser aplicados e estudados, a nível do ensino secundário, para a sua determinação. É de salientar que estes parâmetros fazem parte dos indicadores regulamentados pelo Decreto-Lei n. 306/2007 de 27 de Agosto.



## **5.1 CÁLCIO E MAGNÉSIO**

O cálcio é um elemento químico cujo símbolo é Ca, de número atómico 20 e massa atómica 40 u. É um metal da família dos alcalino-terrosos, pertencente ao grupo 2 da classificação periódica dos elementos químicos [22].

É o quinto elemento mais abundante na crosta terrestre (3,6% em massa). Não é encontrado em estado nativo na natureza, estando sempre como constituinte de rochas ou minerais de grande interesse industrial, como as que apresentam na sua composição carbonatos (mármore, calcita, calcário e dolomita) e sulfatos (gipso, alabastro) a partir dos quais se obtém a cal viva, o estuque, o cimento, etc. Outros minerais que o contêm são a fluorita (fluoreto), apatita (um fluorfosfato da cálcio) e granito (rochas silicatadas).

Na sua forma pura, o cálcio apresenta-se como um metal de baixa dureza, prateado, que reage facilmente com o oxigénio presente no ar e na água [22].

A concentração de cálcio é maior nas águas profundas do que em águas superficiais. Isto é devido, principalmente, à extracção do cálcio das águas superficiais pela actividade biológica, a maior solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  em temperaturas mais baixas e a decomposição da matéria orgânica em águas profundas [23].

O magnésio é um elemento químico de símbolo Mg, de número atómico 12 e massa atómica 24 u. É um metal alcalino-terroso, pertencente ao grupo (ou família) 2 e é sólido nas condições ambientais. É o sexto elemento mais abundante, constituindo cerca de 2,76% da crosta terrestre, e o terceiro mais abundante dissolvido na água de mar. O magnésio é um metal bastante resistente e leve. Não é encontrado livre na natureza, porém entra na composição de mais de 60 minerais, sendo os mais importantes industrialmente os depósitos de dolomita, magnesita, brucita, carnallita, serpentina, kainita e olivina [24].

O cálcio e o magnésio são elementos essenciais para a vida animal e vegetal.

São vários os factores levados em conta na determinação da qualidade da água para um determinado uso. Um factor muito importante é a sua 'dureza' [25]. A dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico sendo que do ponto de vista da potabilização são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras [16]. Quase toda a dureza da água é provocada pela presença de sais de cálcio e de magnésio (bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos) encontrados em solução. Assim, os principais iões causadores de dureza são o cálcio e



magnésio tendo um papel secundário o zinco e o estrôncio. Algumas vezes, o alumínio e o ferro férrico são considerados como contribuintes da dureza.

A dureza total da água compõe-se de duas partes: dureza temporária e dureza permanente. A dureza é dita temporária, quando desaparece com o calor, e permanente, quando não desaparece com o calor, ou seja, a dureza permanente é aquela que não é removível com a fervura da água. A dureza temporária é a resultante da combinação de íons de cálcio e magnésio que podem combinar-se com bicarbonatos e carbonatos presentes [26].

A dureza da água é então definida em termos da concentração dos cátions cálcio e magnésio, normalmente acompanhados pelos aniões carbonato, bicarbonato, cloreto e ou sulfato. Dependendo da concentração desses cátions, as águas são classificadas como moles (teores abaixo de 75 mg/L), moderadas (teores entre 75 e 150 mg/L) e duras (teores acima de 150 mg/L). No entanto é desejável que a dureza total em carbonato de cálcio esteja compreendida entre 150 e 500 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  [16].

A presença de cálcio e magnésio na água normalmente provém da dissolução de rochas calcárias.

Na indústria, o controle da dureza da água é de fundamental importância quando esta é utilizada em caldeiras, já que os referidos sais podem acumular-se no interior das tubulações, levando a obstruções e consequentes prejuízos [25].



## 5.2 FERRO

O ferro e suas ligas são dos materiais mais importantes usados na actualidade. Contudo, são materiais muito propensos à corrosão, porque a ferrugem (óxido de ferro) é porosa, deixando a superfície facilmente exposta à continuada acção do ar e da água [20].

O ferro é um elemento químico, símbolo Fe, de número atómico 26 e massa atómica 56 u. À temperatura ambiente, o ferro encontra-se no estado sólido. É extraído da natureza sob a forma de minério de ferro e adicionando-se carbono dá-se origem a várias formas de aço. Este metal de transição é encontrado no grupo 8B da Classificação Periódica dos Elementos. É o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (aproximadamente 5%) e, entre os metais, somente o alumínio é mais abundante. É um dos elementos mais abundantes do Universo; o núcleo da Terra é formado principalmente por ferro e níquel.

O ferro tem sido historicamente importante, e um período da história recebeu o nome de Idade do ferro.

O ferro, actualmente, é utilizado extensivamente para a produção de aço, liga metálica para a produção de ferramentas, máquinas, veículos de transporte (automóveis, navios, etc), como elemento estrutural de pontes, edifícios, e uma infinidade de outras aplicações.

O ferro é praticamente encontrado em todos os seres vivos e cumpre numerosas e variadas funções.

No corpo humano, o ferro desempenha um papel muito importante na formação da hemoglobina. A sua carência pode causar anemia e o seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes [27].



## 5.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

O crescente progresso da Química durante as últimas décadas tem fornecido à Química Analítica um grande número de novos reagentes, novos métodos e novos instrumentos, possibilitando a solução de muitos problemas analíticos. Ao mesmo tempo, a crescente procura de análises exige maior velocidade de execução, precisão e exactidão. No entanto, a escolha de um método adequado entre os inúmeros citados na literatura pode ser muito difícil devido a novos problemas que podem surgir, tornando necessário o desenvolvimento de novos métodos de análises, muitas vezes completamente diferentes.

Para fazer frente à crescente procura das análises devido ao desenvolvimento científico que se observa na actualidade, há a necessidade de um aperfeiçoamento constante das técnicas analíticas existentes, bem como a criação de novos métodos com intuito de adequá-las para processos rápidos de análises [28].

Os métodos analíticos utilizados na caracterização química de amostras geológicas são variados. Os métodos clássicos, como a gravimetria, a volumetria e outros, exigem tempos e recursos humanos intensivos, e os seus limites de detecção não respondem às exigências impostas na actualidade. Assim, estes métodos foram sendo substituídos por métodos instrumentais como a espectrometria de absorção atómica e emissão, a espectrometria de emissão com plasma indutivo, vários tipos de cromatografia, como por exemplo a cromatografia líquida de alta eficiência, HPLC, a cromatografia gasosa associada à espectrometria de massa, GC-MS, entre outros.

Cada método possui um campo de aplicabilidade mais ou menos específico e, para que a sua utilização seja a mais adequada, é fundamental o conhecimento dos princípios dos fenómenos físicos presentes, as vantagens e, sobretudo as limitações mais relevantes de cada um deles, de forma a serem criadas as condições experimentais necessárias para a sua aplicação.

A escolha do método analítico apropriado para a caracterização das amostras deve ser realizada de forma criteriosa, tendo em consideração os seguintes factores:

- o tipo de informação que se pretende obter;
- a quantidade de amostra disponível e a proporção do(s) constituinte(s) a analisar;
- a exactidão e a precisão do método analítico;
- as interferências analíticas e o seu controlo;



- as dificuldades com possíveis contaminações;
- o tempo necessário para analisar cada amostra;
- o custo da análise de cada elemento por amostra [29].



## **5.3.1 MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO**

A dureza das águas é uma característica conferida à água, pela presença de íões alcalino-terrosos como o cálcio e o magnésio, entre outros e também de alguns metais. De um modo geral estes encontram-se em menor concentração. O valor da dureza da água é um dos parâmetros que serve para avaliar a sua qualidade.

Existem dois tipos de dureza da água, a temporária e a permanente. A dureza temporária é a que é devida à presença dos sais bicarbonatos e carbonatos de cálcio e de magnésio. Denomina-se temporária porque pode ser eliminada quase totalmente pela fervura. A dureza permanente é aquela que é devida à presença de outros sais de cálcio e magnésio, usualmente os sulfatos e cloretos.

A dureza total de uma amostra de água exprime a dureza obtida pela soma carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio (dureza temporária) e de não-carbonatos também de cálcio e magnésio (dureza permanente) e é expressa em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Consideram-se os íões cálcio e magnésio visto serem estes íões alcalino-terrosos os que se encontram em maior quantidade [29 e 30].

Existem vários métodos para a determinação do cálcio e magnésio. O mais adaptado ao nível do ensino secundário é a volumetria de complexação que utiliza a solução padronizada do sal dissódico do ácido etilenodiaminatetracético, mais conhecido como EDTA (método titrimétrico do EDTA). No entanto, o método espectroscópico de absorção atómica poderá também ser explorado.



### 5.3.1.1 MÉTODO TITRIMÉTRICO DO EDTA

As titulações complexométricas são titulações baseadas em reacções de complexação. Dos agentes quelantes, o EDTA, ácido etilenodiaminotetracético, é o mais usado, pois pode complexar muitos iões metálicos na estequiometria 1:1. Geralmente usa-se o sal dissódico representado por  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ .

A reacção do EDTA com iões metálicos  $\text{M}^{2+}$  traduz-se pela seguinte equação química:



O ponto final destas titulações é determinado pela mudança de cor da solução, devido à presença de um indicador [20].

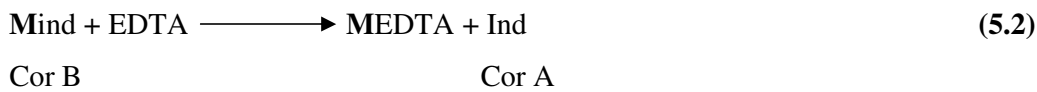
Na tabela 5.1 são referidos alguns dos indicadores que podem ser utilizados, assim como as respectivas cores e as dos complexos formados entre estes e os iões.

Indicador	Cor A – Cor B
Murexida	Violeta – Vermelho
Azul de hidroxinafetol	Azul – Violeta
Negro de eriocromo T	Azul – Vermelho

**Tabela 5.1** – Indicadores utilizados no método titrimétrico do EDTA [20].

**Nota** – Murexida: purpurato de amónio ( $\text{NH}_4\text{C}_8\text{H}_4\text{N}_5\text{O}_6$ )

O indicador liga-se ao ião metálico no início da titulação, de acordo com a reacção representada pela equação 5.2, adquirindo uma cor diferente. À medida que se adiciona EDTA, este reage com o ião metálico, visto o complexo formado entre o EDTA e o ião metálico ser mais estável que o formado entre o indicador e o ião metálico. É neste momento que ocorre a mudança de cor da solução para a cor inicial do indicador [20].





Numa solução onde estejam presentes os iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  forma-se, em meio de pH 10,0 e na presença de um indicador, um complexo corado em que os iões metálicos se ligam ao indicador. No caso de a reacção se dar em meio de pH superior a 10, entre 12 e 13, só se formará o complexo entre o cálcio e o indicador, visto que a este valor de pH o magnésio precipita [32].

Considerando, por exemplo, o indicador Negro de eriocromo T, ácido fraco, e os iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  presentes na solução, o indicador forma um complexo vermelho vinho com estes iões. Pela adição de EDTA à solução colorida, ocorre a formação de um complexo estável e não dissociado do EDTA com iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que se separam do corante. Quando a quantidade de EDTA for suficiente para complexar todo o cálcio e magnésio a solução toma a cor azul original do corante, o que indica o fim da titulação. Deste modo é possível quantificar a concentração global de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  o que permite determinar a dureza total de uma água [30 e 33].

Como foi referido, por alteração do valor de pH do meio pode quantificar-se somente o cálcio e por diferença o magnésio.

No anexo IV [33] apresenta-se um protocolo que poderá ser dado a alunos do 12º ano do ensino Secundário com a finalidade destes realizarem a actividade experimental da determinação da dureza total de uma água, assim como a sua quantificação em termos de cálcio e magnésio.



## **5.3.1.2 MÉTODO ESPECTROSCÓPIO DE ABSORÇÃO ATÓMICA PARA A DETERMINAÇÃO DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO**

Em virtude de quer o cálcio, quer o magnésio, se poderem quantificar, na forma total, por espectroscopia de absorção atômica ir-se-á descrever teoricamente este método e por fim indicar-se-á uma metodologia, para a sua determinação, adaptada a alunos de 12<sup>o</sup> ano.

A espectroscopia de absorção atômica trata do estudo da absorção da energia radiante nas zonas do visível e ultravioleta por átomos neutros no estado gasoso. No entanto, a aplicação deste método só foi possível depois dos trabalhos de Walsh e de Alkemade e Milatz em 1955, pois sendo os espectros atômicos de riscas, é difícil seleccionar uma banda de emissão de menor largura que a absorção e suficientemente intensa. Com efeito, só nessas condições é que a lei de Beer se pode aplicar, pois em virtude de não haver radiação absolutamente monocromática tem de se arranjar uma fonte de radiação intensa e numa gama tal que as absorvidades se mantenham praticamente constantes.

As técnicas de espectroscopia atômica são largamente usadas na determinação de muitos elementos pois são técnicas sensíveis, rápidas, selectivas e de fácil aplicação. A grande desvantagem desta técnica é o facto de ser necessário usar um tipo de fonte diferente para cada elemento.

O primeiro passo da técnica de espectroscopia atômica é a atomização, isto é, obtenção de átomos no estado gasoso a partir de uma amostra sólida, líquida ou em solução. A atomização da amostra pode ser por chama ou por um processo electrotérmico, entre outros.

A atomização é uma das etapas mais importantes da técnica de espectroscopia atômica, pois a sua eficiência determina a precisão, sensibilidade e exactidão do método. Assim, um equipamento para espectroscopia atômica além de ter os mesmos componentes básicos que um espectrofotómetro para medir a absorção molecular de soluções necessita ainda de um componente que permita obter atomização.

A diferença fundamental entre um aparelho destinado a uma técnica de absorção e de emissão atômicas é a necessidade de no primeiro caso ter de existir uma fonte externa de radiação que incidirá sobre o analito que absorverá parte dessa radiação.

O sistema de emissão consiste numa fonte de radiação que emite o espectro do elemento a analisar. A radiação emitida é direccionada para o meio absorvente formado pelos átomos da amostra. Existem vários tipos de fontes de radiação, entre as quais se destaca a lâmpada de cátodo oco, lâmpada de descarga de vapor, lâmpadas para multielementos e lâmpadas de descarga sem eléctrodos [34 a 36].

A fonte luminosa mais vulgarmente utilizada é a lâmpada de cátodo oco, representada na figura 5.1. Esta lâmpada é constituída por um cátodo revestido com o metal que se pretende determinar, e um ânodo, colocados dentro de um tubo de vidro cheio de gás inerte (He ou Ar) [35].



Figura 5.1 – Lâmpada de cátodo oco [37].

Quando se aplica um potencial aos eléctrodos, o gás contido no tubo é ionizado, colidindo os iões positivos com o cátodo (negativo). Desta colisão são arrancados átomos do cátodo. Alguns destes átomos ficam no estado excitado devido ao choque dos electrões, emitindo radiação característica do metal que reveste o cátodo, ou seja, que corresponde ao espectro de absorção do analito, como se mostra na figura 5.2 [35].

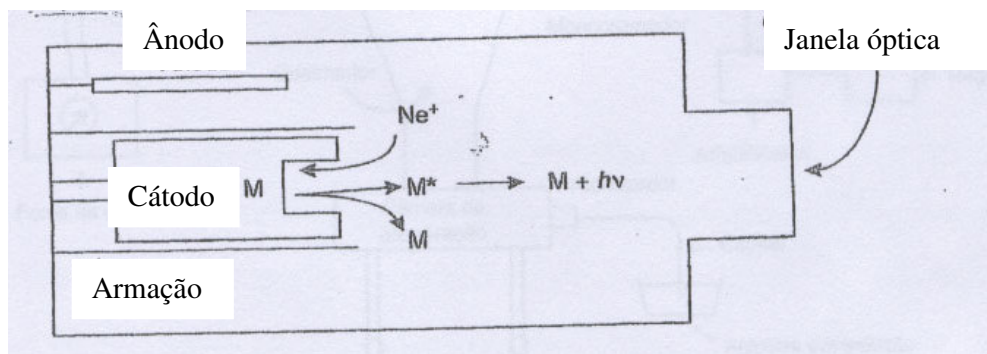
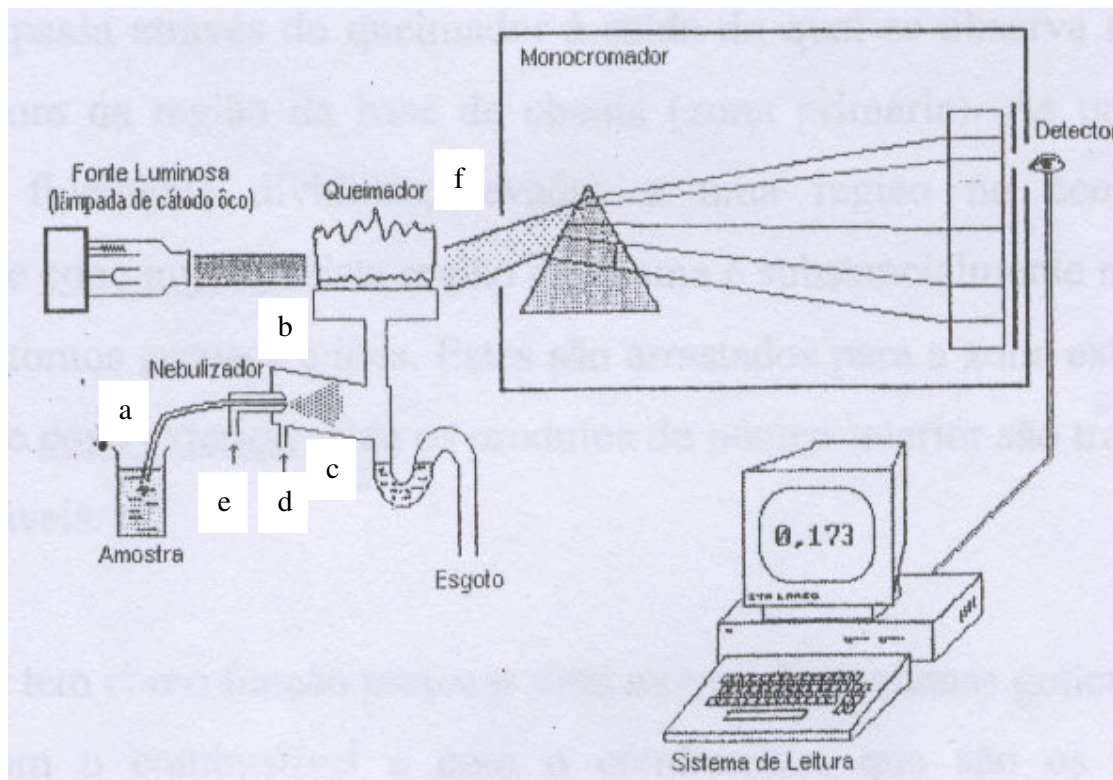


Figura 5.2 – Esquema de uma lâmpada de cátodo oco [35].

O sistema de atomização por chama além da chama formada no queimador tem também associado um sistema de nebulização, capilares, tubos ou sistemas de injeção, reguladores e manómetros para controlar a pressão dos gases, chaminé, etc [35]. Na figura 5.3 está esquematizado um equipamento deste tipo.



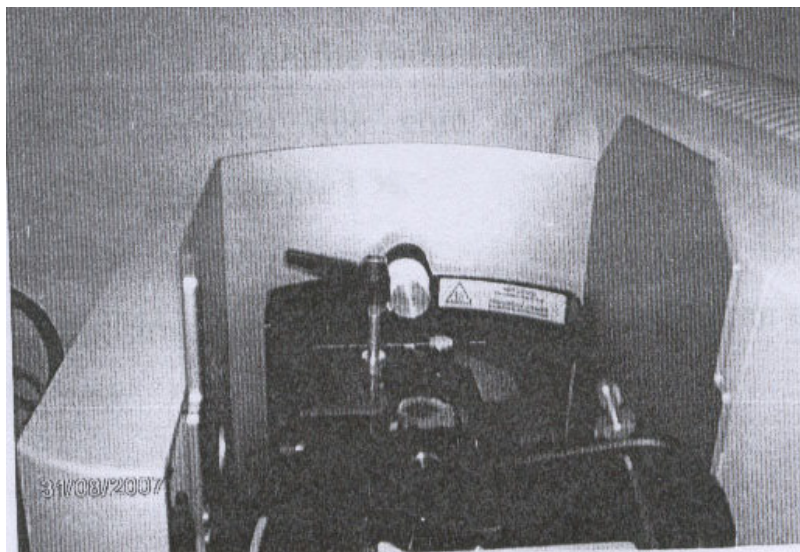
**Figura 5.3** – Esquemas de um espectrofotómetro de absorção atómica [38].

Na espectrofotometria atómica por chama a amostra é sugada através de um capilar (a) e é dispersa no nebulizador (b), formando uma fina nuvem de gotículas (c), que se mistura com os gases combustíveis (d) e oxidante (e), sendo dirigida para o queimador (f) à saída do qual se dá a combustão. O solvente evapora na região da base da chama (zona primária) e as partículas sólidas resultantes e finamente divididas são levadas para uma região no centro da chama (cone interior). Nesta região da chama, substancialmente mais quente, são formados os átomos gasosos e iões que ao serem arrastados para a zona externa da chama (cone exterior), formam por reacção com o oxigénio compostos estáveis como por exemplo óxidos.

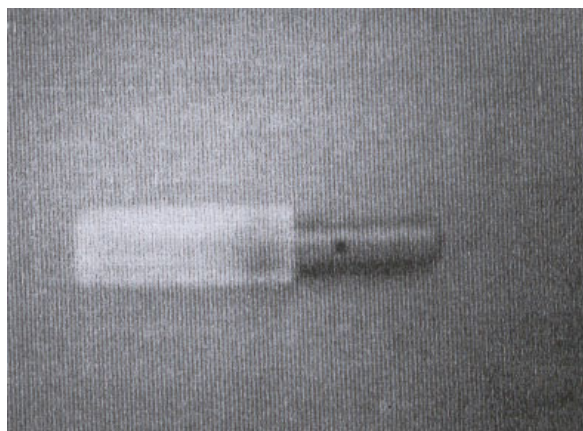


Como já foi referido a atomização também pode ser conseguida com um atomizador electrotérmico, sendo o mais vulgar a fornalha de grafite aquecida electricamente. A fornalha de grafite oferece uma maior sensibilidade relativamente à utilização da chama, visto que o tempo de permanência da amostra na câmara de grafite é maior do que na chama. A câmara de grafite oferece ainda as vantagens de requer um menor volume da amostra, o qual é injectado na fornalha através de um orifício no centro e de ter um limite de detecção inferior.

A câmara de grafite é constituída por um tubo em grafite onde é injectada a amostra que é posteriormente sujeita ao processo de atomização [35]. Nas figuras 5.4 e 5.5 ilustram-se a câmara e o tubo de grafite, respectivamente



**Figura 5.4** – Câmara (fornalha) de grafite [38].



**Figura 5.5** – Tubo em grafite [38].



O processo de atomização nesta câmara consiste, em primeiro lugar, na evaporação do solvente, seguindo-se a carbonização do resíduo de partículas sólidas e por fim na atomização do analito. Todas estas fases são acompanhadas por um aumento de temperatura que pode atingir valores até 3000 °C. Para prevenir a oxidação da grafite e arrastar os gases formados na combustão assim como todos os compostos voláteis faz-se passar uma corrente de Argon pela fornalha [35].

A luz emitida por uma lâmpada de cátodo oco, quando se aplica uma técnica de absorção, é dirigida através de janelas ópticas existentes na extremidade da cuvete, ilustrada na figura 5.5.

Além dos sistemas referidos, existe ainda o sistema de selecção espectral e o de detecção também esquematizados na figura 5.3. O primeiro é composto pela parte óptica onde estão os monocromadores de prisma ou rede. Os monocromadores permitem isolar a linha de um elemento separando-a de outras linhas do espectro. O segundo faz a detecção do sinal luminoso e envia-o para o registador [34].

No anexo V apresenta-se um protocolo que poderá ser dado a alunos do 12º ano do ensino Secundário com a finalidade destes realizarem a actividade experimental da determinação do cálcio e magnésio.



## **5.3.2 MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DE FERRO**

Um dos parâmetros usados na caracterização de uma água para consumo humano é o teor total em ferro (soma de  $\text{Fe}^{2+}$  com  $\text{Fe}^{3+}$ ).

O ferro no estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o  $\text{Fe}^{2+}$  passa a  $\text{Fe}^{3+}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, “tingindo” fortemente a água. Desta forma, as águas com alto teor em ferro são incolores ao saírem dos vários compartimentos, no entanto, ao entrarem em contacto com o oxigénio do ar ficam amareladas, o que lhes confere uma aparência desagradável.

O organismo humano necessita de até 19 mg de ferro por dia [39]. Esta quantidade terá que ser absorvida a partir de várias fontes, visto que, na água de consumo humano o valor limite de ferro é de 0,2 mg/L, em virtude dos padrões de potabilidade exigirem que uma água de abastecimento público não deve ultrapassar esse valor [16]. Este limite é estabelecido em função do aspecto da água estar relacionado com a presença do ferro e do sabor desagradável que o ferro lhe confere [39].

Existem vários métodos para a determinação do ferro. O mais adaptado ao nível do ensino secundário é o método espectroscópico de absorção molecular. No anexo IV apresenta-se um protocolo que poderá ser dado a alunos do 12º ano do ensino Secundário com a finalidade destes realizarem a actividade experimental da determinação de ferro numa água.



## **5.3.2.1 MÉTODO ESPECTROSCÓPIO DE ABSORÇÃO MOLECULAR**

A espectroscopia molecular no ultravioleta e no visível é muito usada na quantificação de muitas substâncias inorgânicas e orgânicas. Os métodos espectrofotométricos têm uma importância cada vez maior na determinação de poluentes [40].

Um conceito muito importante para a compreensão da espectroscopia é a aplicação da Lei de Lambert-Beer, que afirma que a absorvância de uma espécie absorvente, quando atravessada por uma radiação, é directamente proporcional à quantidade de substância absorvente.

Quando um feixe de luz incide sobre uma substância absorvente, a luz transmitida é dada por:

$$-\log T = -\log \frac{I}{I_0} \quad (5.3)$$

e a absorvância da radiação por:

$$A = -\log T = \epsilon bc \quad (5.4)$$

onde  $T$  é a transmitância,  $I$  e  $I_0$  são as intensidades das radiações transmitida e incidente, respectivamente,  $A$  é a absorvância (grandeza adimensional),  $\epsilon$  é a absorvidade molar, em  $\text{mol}^{-1} \text{L cm}^{-1}$ ,  $b$  é o comprimento do percurso, em cm e  $c$  é concentração da substância absorvente,  $\text{mol L}^{-1}$  [35].

Para se calcular a concentração da solução em estudo constrói-se um gráfico da absorvância em função da concentração, equação 5.4, a partir de um conjunto de soluções-padrão de diferentes concentrações na espécie em estudo. O gráfico, ou seja a representação da absorvância de um sistema absorvente em função da concentração molar da espécie absorvente, deve ser uma linha recta que passa na origem dos eixos à qual se chama recta ou curva de calibração [20].

Em muitos casos, especialmente para soluções muito concentradas, a lei de Lambert-Beer deixa de ser válida. As medidas de absorvância dos sistemas químicos reais conduzem a uma não completa linearidade sobre toda a faixa das concentrações. Quando isto ocorre tem-se um desvio real decorrente da limitação desta lei. A absorvância varia entre 0, quando



nenhuma luz é absorvida, e  $\infty$ , quando a absorção de luz é total. No entanto, a lei de Lambert-Beer só pode ser aplicada para soluções diluídas, em geral para concentrações inferiores a  $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ .

Além da limitação referida existem também desvios que se observam na prática da espectroscopia de absorção. Entre eles, os desvios químicos, relacionados com a natureza do sistema químico envolvido e os desvios instrumentais devidos a limitações do equipamento utilizado [35].

A determinação de ferro numa água para consumo humano pode fazer-se por espectroscopia usando radiação de comprimento de onda de 320 nm, à qual corresponde o máximo de absorção para soluções aquosas com  $\text{Fe}^{2+}$ . Contudo, um método mais rigoroso envolve a combinação de  $\text{Fe}^{2+}$  com a fenantrolina para formar um complexo alaranjado. Este método é muito sensível, permitindo determinar teores da ordem dos 0,05 a  $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Para determinar o teor de ferro total numa água, reduz-se o ferro (III) a ferro (II) com cloreto de hidroxilamónio. O ferro (II) reage com fenantrolina formando um complexo corado cuja concentração é determinada por espectrofotometria. A intensidade da cor é independente da acidez no intervalo de pH de 2 a 9, mas o pH deve ser mantido entre 2,5 e 4,5 para garantir que todo o  $\text{Fe}^{3+}$  seja reduzido a  $\text{Fe}^{2+}$ .

Será necessário construir uma recta de calibração da absorvância das soluções padrão de ferro (II) em função da sua concentração. Por interpolação da absorvância da amostra na curva de calibração pode determinar-se a sua concentração. Caso a coloração da amostra não esteja compreendida na gama de coloração das soluções padrão dever-se-ão realizar as diluições necessárias de modo a obter uma coloração comparável com a coloração das soluções padrão [20].

No anexo VI apresenta-se um protocolo [41] que poderá ser dado a alunos do 12º ano do ensino Secundário com a finalidade destes realizarem a actividade experimental da determinação de ferro por espectroscopia de absorção molecular.



## **5.3.2.2 MÉTODO ESPECTROSCÓPIO DE ABSORÇÃO ATÔMICA PARA A DETERMINAÇÃO DO FERRO**

Assim como o cálcio e o magnésio também o ferro se pode quantificar, na forma total, por uma técnica de espectroscopia de absorção atômica, cujos fundamentos teóricos e equipamento já foram descritos no ponto 5.3.1.2.

As diferenças fundamentais para a aplicação desta técnica no doseamento do ferro, relativamente às condições necessárias para a determinação de cálcio e magnésio residem:

- na lâmpada de cátodo oco;
- no comprimento de onda de trabalho.

Tal como para o cálcio e para o magnésio, ir-se-á também descrever uma metodologia, para a determinação de ferro, por espectroscopia de absorção atômica, adaptada a alunos de 12 ° ano no protocolo apresentado no anexo V [42].



# **CAPÍTULO 6 –**

## **CONCLUSÃO**





## **6. Conclusão**

O tema escolhido foi "Qualidade da água para consumo humano" porque a água é um bem necessário a todos os seres vivos tão utilizado e ao mesmo tempo tão mal cuidado pelo homem. Apesar de toda a chamada de atenção de grande parte da classe política, bastante difundida pelos média, sobre a importância da água e de todos os problemas urbanos e ambientais, as pessoas parecem ainda não ter ideia da importância deste assunto. Acreditamos que o que ocorra não seja a falta de reconhecimento de sua importância, mas sim a falta de conhecimento concreto sobre o assunto. Trata-se de um tema que acompanha a vida dos alunos desde a infância, inclusive definido como conteúdo curricular do ensino.

Como a água é uma preocupação mundial e a sua escassez é uma realidade iminente na vida das futuras gerações, que terão de sobreviver no Planeta Terra, deverão ser desenvolvidas algumas ações em tempo hábil no sentido de minimizar os efeitos catastróficos da falta deste precioso líquido e que é vital para a sobrevivência de todos.

O problema da água no mundo ou o problema da sua escassez exige que se passe por um processo de re-educação. É necessário investir na formação de crianças, jovens e adultos, empregando como foco principal a questão do esgotamento dos recursos naturais, em todo o mundo, especialmente a água. É preciso orientar e conscientizar a população a tomar os cuidados básicos para que se viva melhor.

Com este trabalho adquiri alguns conhecimentos relativamente a este tema e que serão úteis a nível do ensino, ajudando-me na promoção e na educação ambiental, no ensino básico e no ensino secundário.

O ensino experimental do ensino básico e do ensino secundário é uma possibilidade metodológica de excelência para a educação em geral e, em particular, para a Educação Ambiental. Os alunos do ensino básico e secundário poderão ser confrontados com algumas propostas pedagógicas de ensino experimental desafiando-os a desenvolver o pensamento crítico, a capacidade de tomar decisões e a procurar solucionar problemas concretos, não só nas aulas de ciências físico-químicas mas também, por exemplo, em aulas de formação cívica.

Foram desenvolvidos alguns métodos analíticos que poderão ser aplicados e estudados, a nível do ensino secundário, para a determinação dos parâmetros químicos cálcio, magnésio e ferro porque no meu entender as actividades experimentais, já existentes nos manuais escolares actuais, estão desenvolvidas de uma forma confusa e as que introduzi



penso serem bastante úteis para uma melhor compreensão de determinados conceitos. Para a quantificação do cálcio e do magnésio sugeri o método titrimétrico com algumas alterações relativamente ao utilizado actualmente, e o método de absorção atómica. Este último método também é sugerido para a determinação de ferro. Para a determinação de ferro indiquei ainda o método de absorção molecular, também com alterações relativamente ao que está a ser aplicado.

Como recomendações proponho que os Programas Nacionais, e os manuais, incorporem o ciclo do uso da água de forma progressiva e mais complexa desde o ensino básico sendo desenvolvido mais tarde no ensino secundário. Proponho ainda que os problemas de poluição das águas assim como a solução para a sua diminuição sejam tratados de forma mais coerente e recorrente, e que haja por parte das escolas e professores desenvolvimento de actividades experimentais e de campo sobre o ciclo de uso da água e problemas relacionados com a sua degradação.



## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Mendes, B. e Oliveira, J.F., (2004), “Qualidade da água para consumo humano”, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa.
- [2] Peixoto, J. P., (1977), “O ciclo da água em escala global”, Secretaria de estado do ambiente, Lisboa.
- [3] Sacarrão, G.F., (1991), “Ecologia e Biologia do Ambiente (Volume I) – A vida e o ambiente”, Biblioteca Universitária, Publicações Europa-América.
- [4] <http://www.bragancanet.pt/agua/>  
Dezembro 2007
- [5] <http://home.alunos.utad.pt/~al14072/ciclodaagua0.htm>  
Dezembro 2007
- [6] <http://www.ideiasambientais.com.pt/index.php?pg=10&doc=2>  
Dezembro 2007
- [7] [http://www.youngreporters.org/article-imprim.php3?id\\_article=1163](http://www.youngreporters.org/article-imprim.php3?id_article=1163)  
Dezembro 2007
- [8] <http://www.dre.pt/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.PDF>  
Decreto-lei n. 236/98 de 1 de Agosto  
Novembro 2007
- [9] Coutinho, C. C., (1941) “Água potáveis”, Oficinas gráficas, Lisboa.
- [10] <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/hidro/pdf/cap7.pdf>  
Dezembro 2007
- [11] <http://www.naturlink.pt/canais/subCanal.asp?iLingua=1&iSubCanal=3189>  
Dezembro 2007



- [12] <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6247/2/Dissertação.pdf>  
Dezembro 2007
- [13] Pinho, B., “Água potáveis – suas características”, Comissão de fiscalização das águas de Lisboa.
- [14] <http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua>  
Dezembro 2007
- [15] <http://www.dre.pt/pdf1sdip/2001/09/206A00/57545765.PDF>  
Decreto-Lei n. 243/2001 de 5 de Setembro  
Novembro 2007
- [16] <http://www.dre.pt/pdf1sdip/2007/08/16400/0574705765.PDF>  
Decreto-Lei n. 306/2007 de 27 de Agosto  
Novembro 2007
- [17] <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=14042&iLingua=1>  
Março 2008
- [18] [http://www.esac.pt/emas@school/EMAS@SCHOOL/Publicacoes/Comunicacoes/APRH/APRH\\_sub.pdf](http://www.esac.pt/emas@school/EMAS@SCHOOL/Publicacoes/Comunicacoes/APRH/APRH_sub.pdf)  
Março 2008
- [19] <http://www.inatel.pt/tempolivre/174/mesa.html>  
Março 2008
- [20] Vítor, G.; Paiva, J.; Ferreira, A.J e Vale, J., (2005), “12 Q”, Texto Editores, 1ª Edição, Lisboa.
- [21] <http://www.sm-castelobranco.pt/acessibilidades/qualidade/parametros.asp>  
Março 2008



- [22] <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lcio>  
Março 2008
- [23] <http://labqom.io.usp.br/downloads/IOF-212/1-CALCIO.pdf>  
Abril 2008
- [24] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9sio>  
Abril 2008
- [25] <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc02/exper2.pdf>  
Abril 2008
- [26] [http://pessoal.utfpr.edu.br/jcrazevedo/arquivos/pratica15\\_tit\\_compleximetrica.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/jcrazevedo/arquivos/pratica15_tit_compleximetrica.pdf)  
Abril 2008
- [27] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ferro>  
Abril 2008
- [28] <http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtls000076081.pdf>  
Abril 2008
- [29] <http://repositorium.sdum.uminho.pt/dspace/bitstream/1822/7381/5/5M%C3%A9todos.pdf>  
Abril 2008
- [30] <http://pessoal.utfpr.edu.br/colombo/arquivos/Dureza.pdf>  
Maio 2008
- [31] <http://www2.ufpi.br/quimica/disciplinas/QAQEI/dur.doc>  
Maio 2008
- [32] Eaton, A. D.; Clesceri, L., S. e Greenberg, A. E., (1995), “Standard Methods for the examination of water and wastewater”, 19<sup>Th</sup> edition, Washington.



- [33] Baccan, N.; Andrade, J.C.; Godinho, O.E.S. e Barone, J.S. (2001) “Química Analítica Quantitativa e Elementar”, Editora Edgard Blücher, 3ª Edição, São Paulo.
- [34] Gonçalves, M. L. S., (2001) “Métodos Instrumentais para Análise de Soluções”, Fundação Calouste Gulbenkian, 4ª Edição, Lisboa.
- [35] Harvey, D., (2000), “Modern Analytical Chemistry”, Mc Graw Hill.
- [36] Skoog, D. A.; Holler, F.J. e Nieman, T. A., (2002), “Princípios de Análise Instrumental”, 5ª Edição.
- [37] <http://www.iq.usp.br/disciplinas/qfl/qfl0238/aula-FAAS-noturno.pdf>  
Julho 2008
- [38] Rodrigues, B. A. G., (2007), “Determinação de Metais em Fontes Fixas”, Projecto da Licenciatura em Química Industrial, Universidade da Beira Interior – Covilhã.
- [39] <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>  
Junho 2008
- [40] [http://apensaude.org/download/bioquimica\\_mestrado\\_fe\\_ucp.pdf](http://apensaude.org/download/bioquimica_mestrado_fe_ucp.pdf)  
Julho 2008
- [41] <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/fichas/777/Determina%E7%E3o%20do%20ferro%20total.pdf>  
Julho 2008
- [42] Harvey, I. M. e Baker, R. M. (2002) “Chemical Analysis in the Laboratory – A Basic Guide”, Royal Society of Chemistry, Inglaterra.



# ANEXOS

**Anexo I – Parâmetros e valores paramétricos [16]****Parte I – Parâmetros microbiológicos**

1 - Os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por caminhões ou navios -cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição ou utilizada numa empresa da indústria alimentar são os seguintes:

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor paramétrico</b>	<b>Unidades</b>
Escherichia coli (E. coli) .....	0	Número/100 ml
Enterococos .....	0	Número/100 ml

2 - Os valores paramétricos para as águas colocadas à venda em garrafas ou outros recipientes são os seguintes:

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor paramétrico</b>	<b>Unidades</b>
Escherichia coli (E. coli) .....	0	Número/250 ml
Enterococos .....	0	Número/250 ml
Pseudomona aeruginosa .....	0	Número/250 ml
Número de colónias a 22°C .....	100	Número/ml
Número de colónias a 37°C .....	20	Número/ml

**Parte II – Parâmetros químicos**

1 – Os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por caminhões ou navios-cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição ou posta à venda em garrafas ou outros recipientes, são os seguintes:



Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Acrilamida .....	0,10	µg/l	V. n. 1.
Antimónio .....	5,0	µg/l <i>Sb</i>	
Arsénio .....	10	µg/l <i>As</i>	
Benzeno .....	1,0	µg/l	
Benzo(a)pireno .....	0,010	µg/l	
Boro .....	1,0	mg/l <i>B</i>	
Bromatos .....	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 10 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l <i>BrO<sub>3</sub></i>	V. n. 2.
Cádmio .....	5,0	µg/l <i>Cd</i>	
Crómio .....	50	µg/l <i>Cr</i>	V. n. 3.
Cobre .....	2,0	mg/l <i>Cu</i>	V. n. 3.
Cianetos .....	50	µg/l <i>Cn</i>	
1,2 dicloroetano .....	3,0	µg/l	
Epicloridrina .....	0,10	µg/l	V. n. 1.
Fluoretos .....	1,5	mg/l <i>F</i>	
Chumbo .....	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2013). 10 (após 25 de Dezembro de 2013).	µg/l <i>Pb</i>	V. n. 3 e 4.
Mercúrio .....	1	µg/l <i>Hg</i>	
Níquel .....	20	µg/l <i>Ni</i>	V. n. 3.
Nitratos .....	50	mg/l <i>NO<sub>3</sub></i>	V. n. 5.
Nitritos .....	0,5	mg/l <i>NO<sub>2</sub></i>	V. n. 5.
Pesticida individual .....	0,10	µg/l	V. n. 6 e 7.
Pesticidas — total .....	0,50	µg/l	V. n. 6 e 8.
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) .....	0,10	µg/l	V. n. 9.
Selénio .....	10	µg/l <i>Se</i>	
Tetracloroeteno e tricloroeteno ....	10	µg/l	
Trihalometanos — total (THM) ...	150 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 100 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l	V. n. 10.
Cloreto de vinilo .....	0,50	µg/l	V. n. 1.



## Notas

1 — O valor paramétrico refere-se à concentração residual do monómero na água, calculada em função das especificações, fornecidas pelo fabricante, da migração máxima do polímero correspondente em contacto com a água.

2 — O valor deve ser tão baixo quanto possível sem comprometer a eficácia da desinfecção. Quanto à água a que se refere as alíneas a), b), c), d) e f) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor deve ser respeitado, o mais tardar, 10 anos civis após a data de entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. No período compreendido entre os 5 e 10 anos após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE, o valor paramétrico para os bromatos é de 25 µg/l BrO<sub>3</sub>.

3 — No caso das entidades gestoras em baixa, o valor aplica-se a uma amostra de água destinada ao consumo humano obtida na torneira, por um método de amostragem adequado, e recolhida de modo a ser representativa do valor médio semanal ingerido pelos consumidores. Sempre que apropriados, os métodos de amostragem e de controlo serão postos em prática de maneira harmonizada, a elaborar de acordo com o n.º 4 do artigo 7.º da Directiva n.º 98/83/CE, devendo até lá as entidades gestoras seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente. Para as entidades gestoras em alta, não há um método de amostragem específico, o que não as isenta da pesquisa destes parâmetros.

4 — Quanto à água a que se referem as alíneas a), b), c), d) e f) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor deve ser respeitado, o mais tardar, 15 anos civis após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. No período compreendido entre 5 e 15 anos após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE, o valor paramétrico para o chumbo é de 25 µg/l Pb. Devem ser tomadas todas as medidas necessárias para reduzir, tanto quanto possível, a concentração do chumbo na água destinada ao consumo humano durante o período necessário ao cumprimento do valor paramétrico. A aplicação destas medidas deve, prioritariamente, privilegiar os pontos em que as concentrações de chumbo na água destinada ao consumo humano são as mais elevadas. As entidades gestoras devem seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente no que diz respeito à amostragem.

5 — Compete às entidades gestoras, nomeadamente dos sistemas com estações de tratamento de água, assegurar à saída dessas estações a condição  $[\text{nitratos}]/50 + [\text{nitritos}]/3 \leq 1$ , em que os parênteses rectos representam as concentrações em mg/l para os nitratos (NO<sub>3</sub>) e para os nitritos (NO<sub>2</sub>), bem como do valor limite de 0,10 mg/l para os nitritos.



6 — Entende -se por pesticidas:

- a) Insecticidas orgânicos;
- b) Herbicidas orgânicos;
- c) Fungicidas orgânicos;
- d) Nematocidas orgânicos;
- e) Acaricidas orgânicos;
- f) Algicidas orgânicos;
- g) Rodenticidas orgânicos;
- h) Controladores orgânicos de secreções viscosas;
- i) Produtos afins (nomeadamente reguladores do crescimento), seus metabolitos, produtos de degradação e de reacção importantes.

Só necessitam de ser pesquisados os pesticidas cuja presença seja provável num determinado sistema de fornecimento de água para consumo humano.

Quando a lista referida no n.º 2 do artigo 12.º incluir novos pesticidas para os quais não haja métodos analíticos, nem em Portugal, nem na Europa, a sua pesquisa só é obrigatória quando tais métodos estejam devidamente validados.

7 — O valor paramétrico aplica -se individualmente a cada pesticida.

No caso da aldrina, da dialdrina, do heptacloro e do epóxido do cloro, o valor paramétrico é de 0,030 µg/l.

8 — Pesticidas — total significa a soma de todos os pesticidas detectados e quantificados durante o controlo da qualidade da água.

9 — Os compostos especificados são:

- a) Benzo[b]fluoranteno;
- b) Benzo[k]fluoranteno;
- c) Benzo[ghi]perileno;
- d) Indeno[1,2,3-cd]pireno.

10 — Sempre que possível, sem que, no entanto, se comprometa, a desinfecção, deve ser reduzida a concentração em compostos organoclorados na água. Os compostos especificados são: clorofórmio, bromofórmio, dibromoclorometano e bromodiclorometano. Quanto à água a que se referem as alíneas a), b), c), d) e f) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor (100 µg/l) deve ser respeitado, o mais tardar 10 anos civis após a entrada em vigor da



Directiva n.º 98/83/CE. O valor de THM de 150 µg/l deve ser respeitado no período compreendido entre os 5 e os 10 anos após a entrada em vigor da referida directiva.

Devem ser adoptadas todas as medidas necessárias para reduzir, tanto quanto possível, a concentração de THM na água destinada ao consumo humano, durante o período previsto, até o cumprimento do valor paramétrico. A aplicação das medidas deve, prioritariamente, privilegiar os pontos em que as concentrações de THM na água destinada ao consumo humano são mais elevadas.

### Parte III – Parâmetros indicadores

Os valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por camiões ou navios -cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição, utilizada numa empresa da indústria alimentar ou posta à venda em garrafas ou outros recipientes, são os seguintes:

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidades	Notas
Alumínio .....	200	µg/l <i>Al</i>	
Amónio .....	0,50	mg/l <i>NH<sub>4</sub></i>	
Cálcio .....	-	mg/l <i>Ca</i>	V. n. 1, 2 e 5.
Cloretos .....	250	mg/l <i>Cl</i>	V. n. 1.
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos) .....	0	<i>N</i> /100 ml	V. n. 6.
Cor .....	20	mg/l <i>PtCo</i>	V. n. 1.
Condutividade .....	2 500	µS/cm a 20°C	V. n. 1.
Dureza total .....	-	mg/l <i>CaCO<sub>3</sub></i>	V. n. 1, 4 e 5.
pH .....	≥ 6,5 e ≤ 9	unidades de <i>pH</i>	V. n. 1 e 7.
Ferro .....	200	µg/l <i>Fe</i>	V. n. 1, 3 e 5.
Magnésio .....	-	mg/l <i>Mg</i>	V. n. 1, 3 e 5.
Manganês .....	50	µg/l <i>Mn</i>	V. n. 16.
Microcistinas — LR total..	1	µg/l	V. n. 16.
Cheiro, a 25°C .....	3	Factor de diluição	V. n. 8.
Oxidabilidade .....	5	mg/l <i>O<sub>2</sub></i>	V. n. 8.
Sulfatos .....	250	mg/l <i>SO<sub>4</sub></i>	V. n. 1.



Sódio .....	200	mg/l <i>Na</i>	
Sabor, a 25°C .....	3	Factor de diluição	
Número de colónias .....	Sem alteração anormal	<i>N</i> /ml a 22°C	V. n. 17 e 18.
Número de colónias .....	Sem alteração anormal	<i>N</i> /ml a 37°C	V. n. 17 e 18.
Bactérias coliformes .....	0	<i>N</i> /100 ml	V. n. 9.
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal	mg/l <i>C</i>	V. n. 10 e 18.
Turvação .....	4	UNT	V. n. 11.
$\alpha$ –total .....	0,5	Bq/l	V. n. 12 e 14.
$\beta$ –total .....	1	Bq/l	V. n. 12 e 14.
Trítio .....	100	Bq/l	V. n. 12 e 14.
Dose indicativa total .....	0,10	mSv/ano	V. n. 13, 14 e 15.
Desinfectante residual .....	-	mg/l	V. n. 19.

### Notas

1 — A água não deve ser factor de deterioração dos materiais com os quais está em contacto, ou seja, deve ser desejavelmente equilibrada. Para verificar esta propriedade, podem ser utilizados diversos métodos, nomeadamente o índice de Langelier (IL), que, desejavelmente, deve estar compreendido entre  $-0,5 < IL < +0,5$ .

2 — Não é desejável que a concentração de cálcio seja superior a 100 mg/l Ca.

3 — Não é desejável que a concentração de magnésio seja superior a 50 mg/l Mg.

4 — É desejável que a dureza total em carbonato de cálcio esteja compreendida entre 150 mg e 500 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

5 — Quando um sistema de abastecimento é gerido apenas por uma entidade gestora, estes parâmetros devem ser também determinados a montante da distribuição, no âmbito do programa de controlo operacional.

6 — Caso se verifique o incumprimento deste valor paramétrico, deve ser investigado todo o sistema de abastecimento para identificar existência de risco para a saúde humana devido à presença de outros microrganismos patogénicos, por exemplo, o *Cryptosporidium*. Os resultados de todas as investigações devem ser incluídas no relatório trienal.



7 — Para a água sem gás contida em garrafas ou outros recipientes, o valor mínimo do pH pode ser reduzido para 4,5 unidades. Para a água, em garrafas ou outros recipientes, naturalmente rica ou artificialmente enriquecida em dióxido de carbono, o valor mínimo pode ser mais baixo.

8 — Nos controlos de inspeção, a análise da oxidabilidade não é obrigatória desde que nessa amostra seja determinado o teor de COT. Esta nota não se aplica às zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 10 000 m<sup>3</sup>, devendo ser sempre determinada a oxidabilidade no controlo de rotina 2.

9 — A unidade é N/250 ml para as águas contidas em garrafas ou outros recipientes.

10 — A análise do parâmetro COT é obrigatória para todas as zonas de abastecimento com volumes médios diários superiores a 10 000 m<sup>3</sup>.

11 — No caso de águas superficiais, o valor paramétrico da turvação à saída do tratamento deve ser 1 UNT.

12 — Frequência de controlo a estabelecer posteriormente no anexo II ao presente decreto-lei.

13 — Com exceção do trítio, potássio -40, radão e produtos de desintegração do radão, frequências de controlo, métodos de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo a estabelecer posteriormente no anexo II ao presente decreto-lei.

14 — As propostas a apresentar nos termos da n. 11, sobre frequências de controlo, e da n. 12, sobre frequências de controlo, métodos de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo, do anexo II ao presente decreto-lei serão adoptadas nos termos do artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE.

15 — A dose indicativa total só é determinada quando ocorrem incumprimentos dos parâmetros  $\alpha$  -total e ou  $\beta$  -total. Nestes casos procede-se à determinação das concentrações dos radionuclídeos específicos emissores  $\alpha$  e ou  $\beta$ .

16 — Este parâmetro deve ser determinado à saída da estação de tratamento de água, quando há suspeitas de eutrofização da massa de água superficial. Caso seja confirmado um número de cianobactérias potencialmente produtoras de microcistinas superior a 2000 células/ml deve ser aumentada a frequência de amostragem, no âmbito do programa de controlo operacional.

17 — Não é desejável que o número de colónias a 22°C e a 37°C seja superior a 100 e 20, respectivamente.



18 — Sem alteração anormal significa, com base num histórico de análises, resultados dentro dos critérios estabelecidos pelas entidades gestoras. Quando ocorre uma alteração anormal, é desejável que a entidade gestora averigúe as respectivas causas.

19 — Recomenda -se que as concentrações deste parâmetro estejam entre 0,2 e 0,6 mg/l de cloro residual livre. A determinação deste parâmetro não é obrigatória nas situações previstas no n.º 3 do artigo 9.º do presente decreto-lei.



## **Anexo II – Controlo da qualidade da água [16]**

Este anexo tem por objectivo **definir os controlos de rotina e inspecção**, assim como as frequências mínimas de amostragem, para a análise da água destinada ao consumo humano fornecida por sistemas de abastecimento público, redes de distribuição, fontanários, camiões ou navios-cisterna, utilizada numa empresa de indústria alimentar e à venda em garrafas e outros recipientes.

### **QUADRO A – Parâmetros a analisar**

**Controlo de rotina** — Tem como objectivo fornecer regularmente informações sobre a qualidade organoléptica e microbiológica da água destinada ao consumo humano, bem como sobre a eficácia dos tratamentos existentes, especialmente a desinfecção, tendo em vista determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos no presente decreto-lei.

#### **Parâmetros do controlo de rotina 1:**

- a) Bactérias coliformes;
- b) Escherichia coli (E. coli);
- c) Desinfectante residual.

#### **Parâmetros do controlo de rotina 2:**

- a) Alumínio (v. n. 1);
- b) Amónio;
- c) Cheiro;
- d) Cor;
- e) Condutividade;
- f) Clostridium perfringens, incluindo esporos (v. n. 2);
- g) pH;
- h) Ferro (v. n. 1);
- i) Manganês;
- j) Nitratos;
- k) Nitritos (v. n. 3);
- l) Número de colónias a 22°C;
- m) Número de colónias a 37°C;
- n) Oxidabilidade;
- o) Pseudomona aeruginosa (v. n. 4);
- p) Sabor;
- q) Turvação.



Controlo de inspecção — O controlo de inspecção tem como objectivo obter as informações necessárias para verificar o cumprimento dos valores paramétricos do presente decreto-lei.

Todos os parâmetros fixados de acordo com o artigo 6.º [16] devem ser sujeitos ao controlo de inspecção, com excepção dos casos em que a Direcção-Geral da Saúde autorizar a sua não determinação, por um período por ela fixado, por entender que é improvável a presença desse parâmetro em concentrações que impliquem o incumprimento dos valores paramétricos. No entanto, não é aplicável aos parâmetros de radioactividade sujeitos às n. 12, 13, 14 e 15 da parte III do anexo I [16], que devem ser controlados segundo os requisitos de controlo adoptados nos termos do artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro.

#### **Notas**

1 — Nas situações em que é utilizado como agente floculante deve ser determinado no controlo de rotina 2. Nas restantes situações, este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

2 — Nos casos em que a origem da água não seja superficial nem seja influenciada por águas superficiais, este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

3 — Nos casos em que o processo de desinfecção não inclua a cloraminação (utilização em simultâneo de amónia e cloro), este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

4 — Necessário só para água à venda em garrafas ou outros recipientes.

**Anexo III – Controlo da qualidade da água [16]**

Este anexo tem por objectivo **definir** os controlos de rotina e inspecção, assim como **as frequências mínimas de amostragem**, para a análise da água destinada ao consumo humano fornecida por sistemas de abastecimento público, redes de distribuição, fontanários, camiões ou navios-cisterna, utilizada numa empresa de indústria alimentar e à venda em garrafas e outros recipientes.

**QUADRO B1 – Frequência mínima de amostragem e de análise da água destinada para consumo humano fornecida por uma rede de distribuição por fontanários, ou por um camião-cisterna ou fornecida para uma empresa de indústria alimentar.**

<b>Tipo de controlo (v. n. 1)</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Volume de água fornecida na zona de abastecimento (metros cúbicos por dia).</b>	<b>Número de amostras por ano (v. n. 2, 3 e 4)</b>
Controlo de rotina 1	Escherichia coli (E. coli)	< 100	6
	Bactérias coliformes Desinfectante residual	≥ 100	12/5 000 hab
Controlo de rotina 2	Alumínio	< 100	2
	Amónio		
	Número de colónias a 22°C Número de colónias a 37°	> 100 e ≤ 1 000	4
	Conductividade Clostridium perfringens, incluindo esporos		4 + 3 por cada 1000 m <sup>3</sup> /dia + 3 por fracção remanescente do volume total.
	Cor pH. Ferro Manganês Nitratos Nitritos Oxidabilidade Cheiro Sabor Turvação	> 1 000	
Controlo de inspecção	Antimónio Arsénio Benzeno	≤ 1 000	1



Controlo de inspeção	Benzo(a)pireno Boro Bromatos Cádmio Cálcio Chumbo Cianetos	$> 1\ 000$ e $\leq 10\ 000$	1 + 1 por cada 3 300 m <sup>3</sup> / dia + 1 por fracção remanescente do volume total.
	Cobre Crómio 1,2 -dicloroetano Dureza total Enterococos	$> 10\ 000$ e $\leq 100\ 000$	3 + 1 por cada 10000 m <sup>3</sup> /dia + 1 por fracção remanescente do volume total.
	Fluoretos Magnésio Mercúrio Níquel HAP Pesticidas individuais Pesticidas (total) Selénio Cloretos Tetracloroetano e tricloroetano Trihalometanos Sódio Carbono orgânico total Sulfatos Cloro de vinilo Epicloridrina Acrilamida	$> 100\ 000$	10 + 1 por cada 25000 m <sup>3</sup> /dia e fracção remanescente do volume total.

As entidades gestoras devem colher amostras nos pontos obrigatórios definidos no n.º 2 do artigo 10.º para se assegurarem de que a água destinada ao consumo humano satisfaz os requisitos do presente decreto-lei. No entanto, no caso de uma rede de distribuição, as entidades gestoras podem colher amostras dentro da zona de abastecimento ou na estação de tratamento de água para a análise de determinados parâmetros, se for possível demonstrar que não há alteração negativa no valor dos parâmetros medidos.



## Notas

1 — A determinação dos parâmetros correspondentes ao controlo de rotina 2 implica, em simultâneo, a determinação dos parâmetros contidos no controlo de rotina 1 e, identicamente, o controlo de inspecção implica os controlos de rotina 1 e 2.

2 — No caso de fornecimento intermitente de curto prazo, compete à autoridade de saúde, em conjunto com a autoridade competente, fixar a frequência a cumprir e os parâmetros a determinar.

3 — Para os parâmetros do anexo I do presente decreto-lei, a entidade gestora pode pedir à autoridade competente a redução da frequência especificada no quadro B1 quando:

a) Os valores dos resultados obtidos na verificação da qualidade da água para consumo humano durante um período de, pelo menos, dois anos consecutivos forem constantes e significativamente melhores que os valores paramétricos estabelecidos no anexo I ao presente decreto-lei;

b) Não tiver sido detectado qualquer factor susceptível de causar deterioração da qualidade da água.

A frequência mínima aplicável não deve ser menos de 50 % do número de amostras especificadas no quadro, excepto no caso especial de abastecimentos em baixa inferiores a 100 m<sup>3</sup>/dia e abastecimentos em alta inferiores a 250 m<sup>3</sup>/dia, onde não se aplica a redução da frequência de amostragem.

4 — O número de amostragens correspondentes à avaliação de conformidade deve ser distribuído equitativamente no espaço e no tempo, de acordo com os critérios definidos pela autoridade competente.

**QUADRO B2 – Frequência mínima de amostragem e de análise da água destinada para consumo humano fornecida por uma entidade gestora em alta**

Volume de água fornecida em alta (metros cúbicos por dia)	Tipos de controlo da água para consumo humano		
	Controlo de rotina 1	Controlo de rotina 2 (v. n. 1)	Controlo de inspeção (v. n. 1)
≤ 250 .....	2	2	1
> 250 e ≤ 1 000 .....	6	2	1
> 1 000 e ≤ 2 000 .....	12	4	1
> 2 000 e ≤ 5 000 .....	18	6	1
> 5 000 e ≤ 15 000 .....	24	8	2
> 15 000 e ≤ 25 000 .....	72	24	4
> 25 000 e ≤ 50 000 .....	104	36	4
> 50 000 e ≤ 100 000 .....	156	52	6
> 100 000 .....	365	104	12

**Nota:** 1 — Para os parâmetros conservativos, o controlo analítico deve ser feito de modo a respeitar a frequência mínima exigida para a baixa.

**QUADRO B3 – Frequência mínima de amostragem e de análise de águas colocadas à venda em garrafas ou outros recipientes**

Volume de água produzida (v. n. 1) para colocação à venda em garrafas ou outros recipientes (metros cúbicos por dia)	Controlo de rotina 1 e controlo de rotina 2 — Número de amostras por ano	Controlo de inspeção — Número de amostras por ano
≤ 10 .....	1	1
> 10 e ≤ 60 .....	12	1
> 60 .....	1 por cada 5 m <sup>3</sup> e fracção remanescente para o volume total	1 por cada 100 m <sup>3</sup> e fracção remanescente para o volume total

**Nota:** 1 — Os volumes são calculados como médias durante um ano civil.



## **Anexo IV – Protocolo Experimental: Método Titrimétrico do EDTA para a determinação da dureza total, do cálcio e do magnésio**

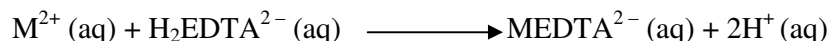
### **1. OBJECTIVO**

Determinar a dureza total, a quantidade de iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  numa amostra de água destinada ao consumo humano, através do método titrimétrico do EDTA.

### **2. INTRODUÇÃO**

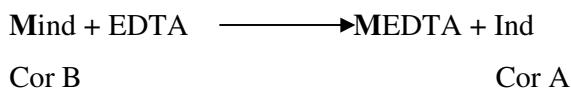
As titulações complexométricas são titulações baseadas em reacções de complexação. Dos agentes quelantes, o EDTA, ácido etilenodiaminotetracético, é o mais usado, pois pode complexar muitos iões metálicos na estequiometria 1:1. Geralmente usa-se o sal dissódico representado por  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ .

A reacção do EDTA com iões metálicos  $\text{M}^{2+}$  traduz-se pela seguinte equação química:



O ponto final destas titulações é determinado pela mudança de cor da solução, devido à presença de um indicador.

O indicador liga-se ao ião metálico no início da titulação, de acordo com a reacção representada pela equação:



adquirindo uma cor diferente. À medida que se adiciona EDTA, este reage com o ião metálico, visto o complexo formado entre o EDTA e o ião metálico ser mais estável que o formado entre o indicador e o ião metálico. É neste momento que ocorre a mudança de cor B da solução para a cor A inicial do indicador.



Considerando o indicador Negro de eriocromo T, ácido fraco, e os iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  presentes na solução, em meio de pH 10, o indicador forma um complexo vermelho vinho com estes iões (cor B). Pela adição de EDTA à solução colorida, ocorre a formação de um complexo estável e não dissociado do EDTA com iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que se separam do corante. Quando a quantidade de EDTA for suficiente para complexar todo o cálcio e magnésio a solução toma a cor original do corante (cor A), o que indica o fim da titulação. Deste modo é possível quantificar a concentração global de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  o que permite determinar a dureza total de uma água, expressa em  $\text{mg}/\text{CaCO}_3/\text{L}$ :

$$\text{mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L} = \frac{(V_1 - V_b) \times C \times 100000}{V_a}$$

onde  $V_1$  e  $V_b$  são os volumes da solução de EDTA-Na gastos na titulação da amostra e do branco, respectivamente,  $C$  é a concentração da solução de EDTA-Na,  $V_a$  é o volume da amostra e 100000 o factor de conversão para miligrama por litro.

No caso de a reacção se dar em meio de pH superior a 10, entre 12 e 13, só se formará o complexo entre o cálcio e o indicador, visto que a este valor de pH o magnésio precipita, podendo assim quantificar-se o cálcio, expresso em  $\text{mg}_{\text{Ca}}/\text{L}$ :

$$\text{mg}_{\text{Ca}}/\text{L} = \frac{(V_2 - V_b) \times C \times 40,08 \times 1000}{V_a}$$

onde  $V_2$  é o volume de solução de EDTA-Na gasto na titulação da amostra e 40080 o factor de conversão para miligrama por litro. Os restantes parâmetros já foram definidos anteriormente.

A quantificação do magnésio pode, assim, ser feita com base nos volumes  $V_1$  e  $V_2$  já referidos, por aplicação da equação:

$$\text{mg}_{\text{Mg}}/\text{L} = \frac{(V_1 - V_2) \times C \times 24,31 \times 1000}{V_a}$$

onde 24310 é o factor de conversão para miligrama por litro. Os restantes parâmetros já foram definidos anteriormente.



### **3. QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS**

- a) O que entende por dureza total de uma água?
  
- b) Explique o princípio envolvido na determinação do ponto final numa titulação de complexação.
  
- c) Porque é que se deve padronizar o EDTA?

### **4. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **4.1. MATERIAL**

- ♦ 15 erlenmeyer de 250 mL
- ♦ 1 pipeta volumétrica de 1 mL
- ♦ 1 pipeta volumétrica de 25 mL
- ♦ 1 pipeta volumétrica de 50 mL
- ♦ 2 pipeta volumétrica de 100 mL
- ♦ 1 bureta de 50 mL
- ♦ 1 suporte universal
- ♦ 1 garra para bureta
- ♦ 1 funil de vidro
- ♦ 1 pêra insufladora de ar

#### **4.2. REAGENTES**

- ♦ Solução de EDTA-Na (sal dissódico de EDTA) 0,01 mol/L
- ♦ Solução padrão de  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de cálcio) 0,01 mol/L
- ♦ Solução  $\text{NH}_4\text{OH}_{\text{conc}}$ . (hidróxido de amónio)
- ♦ Solução de NaOH (hidróxido de sódio) 1 mol/L
- ♦ Indicador murexida
- ♦ Indicador de Negro de eriocromo T
- ♦ Papel indicador universal



### **4.3. PADRONIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE EDTA-NA MOL/L ( $Na_2H_2C_{10}H_{12}O_8 \cdot 2H_2O$ )**

a) Diluir 25 mL da solução padrão de  $CaCO_3$  0,01 mol/L com 50 mL de  $H_2O$ , num erlenmeyer de 250 mL;

b) Adicionar 1 mL de solução de  $NH_4OH_{conc.}$ , para obter pH 10,0 , verificar o pH com papel indicador universal;

c) Juntar 0,05 g do Indicador de negro de eriocromo T e titular com solução de EDTA-Na 0,01 mol/L até mudança de coloração vermelho vinho para azul. Adicionar mais lentamente perto do ponto de equivalência;

**Nota:** realizar 3 titulações e considerar o volume de titulante gasto, a média dos volumes gastos em cada uma das titulações.

d) Diga a razão porque efectuou três titulações;

e) Escreva as equações das reacções envolvidas em c);

f) Com base no valor obtido em c) calcular a concentração exacta de EDTA- $Na_2$ .

### **4.4. DETERMINAÇÃO DA DUREZA TOTAL DA AMOSTRA**

a) Transferir 100 mL da amostra para um erlenmeyer, utilizando uma pipeta volumétrica;

b) Adicionar 1 mL da solução de  $NH_4OH_{conc.}$  para obter pH=10,0 e aproximadamente 0,1 g do indicador de negro de eriocromo T;

c) Titular com a solução de EDTA-Na padronizada, lentamente e com agitação constante até mudança da coloração de vermelho vinho para azul;

**Nota:** realizar 3 titulações e considerar o volume de titulante gasto, a média dos volumes gastos em cada uma das titulações.

d) Efectuar três provas em branco com igual volume de água destilada. Considerar o volume de titulante gasto, como a média dos três volumes obtidos;



- e) Porque razão efectuou as provas em branco?
- f) Com base nos valores obtidos em c) e d) calcular a dureza total da água, em miligrama de  $\text{CaCO}_3$  por litro.

#### **4.5. DETERMINAÇÃO DO CÁLCIO**

- a) Pipetar 100 mL da água a analisar para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 2 mL de  $\text{NaOH}$  1 mol/L, para elevar o pH entre 12 e 13, testando com o papel indicador universal;
- b) Juntar aproximadamente 0,2 mg de murexida à amostra e titular lentamente com a solução de EDTA padronizada até mudança na coloração de rosa para púrpura;  
**Nota:** realizar 3 titulações e considerar o volume de titulante gasto, a média dos volumes gastos em cada uma das titulações.
- c) Efectuar três provas em branco com igual volume de água destilada para facilitar a observação da viragem e corrigir possível contaminação da água destilada com  $\text{Ca}^{2+}$ . Considerar o volume de titulante gasto, como a média dos três volumes obtidos;
- d) Com base nos valores obtidos em b) e c) calcular o total de cálcio da água, em miligrama de Ca por litro.

#### **4.6. DETERMINAÇÃO DO MAGNÉSIO**

De acordo com o referido na introdução calcular o teor de  $\text{Mg}^{2+}$ .

#### **5. QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS**

- a) Porque razão se aumento o pH da água de 10 para aproximadamente 13 na determinação do cálcio, realizado em 4.5?
- a) Como classifica a dureza desta água.



## **BIBLIOGRAFIA**

- ◆ Manual escolar.
- ◆ Eaton, A. D.; Clesceri, L. S. e Greenberg, A. E., (1995), “Standard Methods for the examination of water and wastewater”, 19<sup>th</sup> edition, Washington.
- ◆ Baccan, N.; Andrade, J.C.; Godinho, O.E.S. e Barone, J.S. (2001) “Química Analítica Quantitativa e Elementar”, Editora Edgard Blücher, 3<sup>a</sup> Edição, São Paulo.



## **Anexo V – Protocolo Experimental: Método Espectroscópio de Absorção Atómica**

### **1. OBJECTIVO**

Medir e comparar as absorvâncias de cálcio, magnésio e ferro totais, contidos em várias soluções de concentração conhecida, depois de atomizados, com as das amostras, também no estado atómico; avaliar a aplicação da lei de Lambert-Beer em espectroscopia de absorção atómica; determinar a concentração de cálcio, magnésio e ferro numa água.

### **2. INTRODUÇÃO**

A espectroscopia de absorção atómica trata do estudo da absorção da energia radiante nas zonas do visível e ultravioleta, por átomos neutros no estado gasoso, directamente proporcional à concentração de átomos neutros no estado gasoso da espécie em estudo.

As técnicas de espectroscopia atómica são largamente usadas na determinação de muitos elementos pois são técnicas sensíveis, rápidas, selectivas e de fácil aplicação. A grande desvantagem desta técnica é o facto de ser necessário usar um tipo de fonte de radiação diferente para cada elemento.

O primeiro passo da técnica de espectroscopia atómica é a atomização, isto é, obtenção de átomos no estado gasoso a partir de uma amostra sólida, líquida ou em solução. A atomização é uma das etapas mais importantes da técnica de espectroscopia atómica, pois a sua eficiência determina a precisão, sensibilidade e exactidão do método.

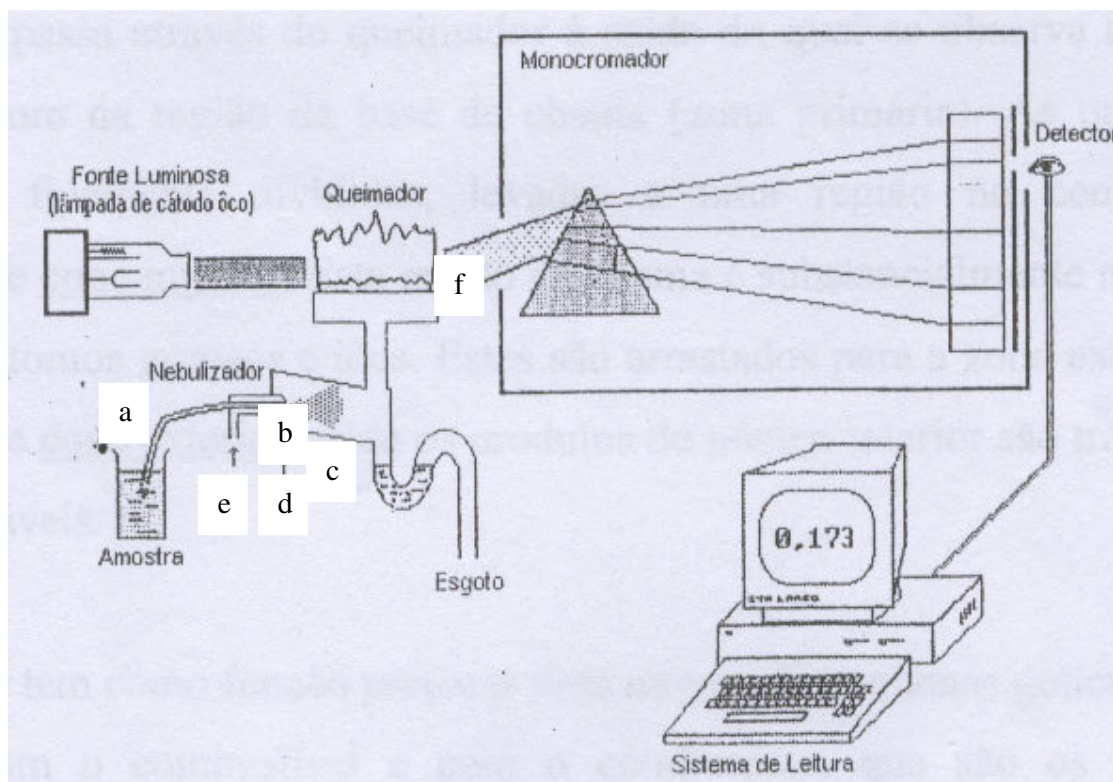
Assim, um equipamento para espectroscopia atómica além de ter os mesmos componentes básicos que um espectrofotómetro para medir a absorção molecular de soluções necessita ainda de um componente que permita obter atomização.

O sistema de emissão consiste numa fonte de radiação que emite o espectro do elemento a analisar. A radiação emitida é direccionada para o meio absorvente formado pelos átomos da amostra. Existem vários tipos de fontes de radiação, entre as quais se destaca a lâmpada de cátodo oco:





Para grande parte dos elementos utiliza-se o sistema de atomização por chama. Na figura está esquematizado um equipamento deste tipo.



A amostra é sugada através de um capilar (a) e é dispersa no nebulizador (b), formando uma fina nuvem de gotículas (c), que se mistura com os gases combustível (d) e oxidante (e), sendo dirigida para o queimador (f) à saída do qual se dá a combustão. O solvente evapora na região da base da chama (zona primária) e as partículas sólidas resultantes e finamente divididas são levadas para uma região no centro da chama (cone interior). Nesta região da chama, substancialmente mais quente, são formados os átomos gasosos e iões que ao serem arrastados para a zona externa da chama (cone exterior), formam por reacção com o oxigénio compostos estáveis como por exemplo óxidos.

No entanto, a atomização também pode ser conseguida com um atomizador electotérmico, sendo o mais vulgar a fornalha de grafite aquecida electricamente.



### **3. QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS**

- a) Porque razão a ionização é considerada uma interferência negativa neste método?
- b) Diga o que entende por precisão e exactidão do método.
- c) Apresente os cálculos necessários para preparar as soluções referidas em 5.a) e 5.b).

### **4. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **4.1. MATERIAL E EQUIPAMENTO**

- ♦ 18 Balões volumétricos de 100 mL
- ♦ Pipetas volumétricas
- ♦ Esguicho
- ♦ Pompete
- ♦ Espectrofotómetro de absorção atómica
- ♦ Lâmpadas de cátodo oco de cálcio, magnésio e ferro
- ♦ Botija de acetileno
- ♦ Compressor
- ♦ Computador e software para tratamento de dados (Excel)

#### **4.2. REAGENTES**

- ♦ Água destilada
- ♦ Solução de nitrato de cálcio 1000 ppm
- ♦ Solução de nitrato de magnésio 1000 ppm
- ♦ Solução de nitrato de ferro 1000 ppm



### 4.3. PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES PADRÃO

- a) Soluções stock de cálcio, magnésio e ferro: preparar em balões volumétricos de 100 mL, por diluição com água destilada, soluções padrão de cálcio, magnésio e ferro 20 ppm.
- b) A partir das soluções anteriores preparar em balões volumétricos de 100 mL, por diluição com água destilada, soluções padrão de cálcio, magnésio e ferro com as concentrações:

	Cálcio	Magnésio	Ferro
Concentração (ppm)	0,2	0,02	0,4
	1,6	0,4	1,5
	2,6	1	2,5
	4	1,5	4
	5	2	5

- c) Se a amostra de água apresentar partículas, filtrar num funil de büchner.

### 4.4. PREPARAÇÃO DO EQUIPAMENTO

- a) Colocar no suporte a lâmpada referente ao elemento em estudo (cálcio, magnésio ou ferro) e submetê-la a uma corrente de intensidade apropriada;
- b) Acertar o comprimento de onda específico do elemento;
- c) Ligar o compressor e abrir a botija de acetileno às pressões indicadas pela professora;
- d) Ligar o exaustor e acender a chama;
- e) Aspirar uma solução e otimizar as condições de funcionamento do equipamento de acordo com as instruções da professora.



#### **4.5. TRACADO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO**

a) Aspirar para o nebulizador o branco, água destilada, e realizar o auto zero do aparelho;

b) Aspirar para o nebulizador, sucessivamente, cada uma das soluções padrão de cálcio preparadas em 4.3.b) e registrar o valor da absorvância;

**Nota:** Entre cada leitura deve ser sempre realizado o auto zero.

c) Aspirar para o nebulizador a amostra e ler e registrar o valor da absorvância;

d) Depois de alteradas as condições de trabalho indicadas em 4.4.a), 4.4.b) e 4.4.e) aspirar para o nebulizador o branco e realizar o auto zero do aparelho;

e) Aspirar para o nebulizador, sucessivamente, cada uma das soluções padrão de magnésio preparadas em 4.3.b) e registrar o valor da absorvância;

**Nota:** Entre cada leitura deve ser sempre realizado o auto zero.

f) Aspirar para o nebulizador a amostra e ler e registrar o valor da absorvância;

g) Depois de alteradas as condições de trabalho indicadas em 4.4.a), 4.4.b) e 4.4.e) aspirar para o nebulizador o branco e realizar o auto zero do aparelho;

h) Aspirar para o nebulizador, sucessivamente, cada uma das soluções padrão de ferro preparadas em 5.b) e registrar o valor da absorvância;

**Nota:** Entre cada leitura deve ser sempre realizado o auto zero.

i) Aspirar para o nebulizador a amostra e ler e registrar o valor da absorvância;

j) Usar o computador e o programa *Microsoft Excel* para traçar os gráficos absorvância versus concentração dos padrões de cada um dos metais.



### **5. QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS**

- a) Porque razão pode ser necessário filtrar a amostra?
- b) Neste trabalho utilizou a água destilada como branco. Porquê?
- b) Justifique porque fez entre cada leitura o auto zero.
- c) Verifique se os resultados obtidos obedecem à Lei de Lambert-Beer.
- d) Determine a concentração de cálcio, magnésio e ferro na amostra.

### **BIBLIOGRAFIA**

- ◆ Manual escolar.
- ◆ Harvey, I. M. e Baker, R. M. (2002) “Chemical Analysis in the Laboratory – A Basic Guide”, Royal Society of Chemistry, Inglaterra.



## **Anexo VI – Protocolo Experimental: Método Espectroscópio de Absorção Molecular**

### **1. OBJECTIVO**

Medir as absorvâncias de várias soluções de concentração conhecida e verificar a aplicabilidade da lei de Lambert-Beer; determinar a concentração de ferro numa água.

### **2. INTRODUÇÃO**

A espectroscopia molecular no ultravioleta e no visível é muito usada na quantificação de muitas substâncias inorgânicas e orgânicas, por aplicação da Lei de Lambert-Beer que afirma que a absorvância de uma espécie absorvente, quando atravessada por uma radiação, é directamente proporcional à quantidade de substância absorvente.

$$A = \epsilon bc$$

onde  $A$  é a absorvância (grandeza adimensional),  $\epsilon$  é a absorvidade molar, em  $\text{mol}^{-1} \text{L cm}^{-1}$ ,  $b$  é o comprimento do percurso, em cm e  $c$  é concentração da substância absorvente,  $\text{mol L}^{-1}$ .

Para se calcular a concentração da solução em estudo constrói-se um gráfico da absorvância em função da concentração, a partir de um conjunto de soluções-padrão de diferentes concentrações na espécie em estudo. O gráfico, ou seja a representação da absorvância de um sistema absorvente em função da concentração molar da espécie absorvente, deve ser uma linha recta que passa na origem dos eixos à qual se chama recta ou curva de calibração.

A determinação de ferro numa água para consumo humano pode fazer-se por espectroscopia usando radiação de comprimento de onda de 320 nm, à qual corresponde o máximo de absorção para soluções aquosas com  $\text{Fe}^{2+}$ . Contudo, um método mais rigoroso envolve a combinação de  $\text{Fe}^{2+}$  com a fenantrolina para formar um complexo alaranjado. Este método é muito sensível, permitindo determinar teores da ordem dos 0,05 a 0,2  $\text{mg dm}^{-3}$ .

Para determinar o teor de ferro total numa água, reduz-se o ferro (III) a ferro (II) com cloreto de hidroxilamónio. O ferro (II) reage com fenantrolina formando um complexo corado cuja concentração é determinada por espectrofotometria. A intensidade da cor é independente



da acidez no intervalo de pH de 2 a 9, mas o pH deve ser mantido entre 2,5 e 4,5 para garantir que todo o  $\text{Fe}^{3+}$  seja reduzido a  $\text{Fe}^{2+}$ .

Por interpolação da absorvância da amostra na curva de calibração pode determinar-se a sua concentração. Caso a coloração da amostra não esteja compreendida na gama de coloração das soluções padrão dever-se-ão realizar as diluições necessárias de modo a obter uma coloração comparável com a coloração das soluções padrão.

### **3. QUESTÕES PRÉ-LABORATORIAIS**

- a) Calcule a quantidade de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  que terá de pesar para preparar 500 mL de uma solução padrão de  $\text{Fe}^{2+}$  28 mg/L.
- b) Diga como poderia preparar a solução tampão de acetato  $2 \text{ mol dm}^{-3}$ .
- b) Porque razão é necessário ajustar o pH para um valor compreendido entre 2,5 e 4,5?

### **4. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **4.1. MATERIAL E EQUIPAMENTO**

- ♦ 7 Balões volumétricos de 100 mL
- ♦ 1 Balão volumétrico de 250 mL
- ♦ 2 Balões volumétricos de 500 mL
- ♦ 1 Pipeta volumétrica de 1 mL
- ♦ 2 Pipetas volumétricas de 5 mL
- ♦ 2 Pipetas volumétricas de 10 mL
- ♦ Gobelés
- ♦ Vidros de relógio
- ♦ Varetas e vidro
- ♦ Espátulas
- ♦ Esguicho
- ♦ Pompete
- ♦ Balança analítica
- ♦ Espectrofotómetro
- ♦ Computador e software para tratamento de dados (Excel)



## 4.2. REAGENTES

- ♦ Água destilada
- ♦  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- ♦ 1,10-Fenantrolina monohidratada
- ♦ Solução tampão de acetato  $2 \text{ mol dm}^{-3}$  ( $\text{pH} \cong 4,5$ )
- ♦ Ácido ascórbico
- ♦ HCl concentrado
- ♦ Amostra de uma água

## 4.3. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PADRÃO DE $\text{Fe}^{2+}$ E SOLUÇÕES REAGENTES

- a) Preparar, para um balão volumétrico de 500 mL, uma solução padrão de  $\text{Fe}^{2+}$  28 mg/L, por dissolução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  em água desionizada. Para se manter esta solução estável durante mais tempo, adicionar 1 mL de HCl concentrado;
- b) Preparar, para um balão volumétrico de 250 mL, de uma solução aquosa de ácido ascórbico 1% (m/v). Colocar a solução num frasco devidamente rotulado e mantida ao abrigo da luz;
- c) Preparar, para um balão volumétrico de 500 mL, uma solução aquosa de 1,10-fenantrolina 0,10% (m/v).

## 4.4. TRAÇADO DO ESPECTRO DE ABSORÇÃO DE $\text{Fe}^{2+}$ COM FENANTROLINA PARA OBERO

$\lambda_{\text{máx}}$

- a) Adicionar, para um balão volumétrico de 100 mL, 10 mL de solução padrão de  $\text{Fe}^{2+}$  28 mg/L, 10 mL de solução tampão acetato  $2 \text{ mol dm}^{-3}$ , 5 mL de solução de ácido ascórbico 1% e 5 mL de solução de fenantrolina 0,10%. Perfazer o volume do balão volumétrico com água destilada. Deixar em repouso durante 15 minutos;



- b) Preparar a solução de “branco” num balão volumétrico de 100 mL, por adição de 10 mL de solução tampão acetato  $2 \text{ mol dm}^{-3}$ , 5 mL solução de ácido ascórbico 1% e 5 mL de solução de fenantrolina 0,10%. Perfazer o volume do balão volumétrico com água desionizada. Deixar em repouso durante 15 minutos;
- c) Regular o espectrofotómetro para medidas de absorvâncias;
- d) Ajustar a absorvância a zero usando a solução de “branco”;
- e) Medir e registar a absorvância da solução preparada em 4.4.a) para comprimentos de onda de 5 em 5 nm. Em cada medição ajustar a absorvância a zero usando a solução de “branco”;
- f) Usar o computador e o programa *Microsoft Excel* para traçar o gráfico Absorvância versus comprimento de onda e obter o espectro de absorção do  $\text{Fe}^{2+}$  com fenantrolina. Confirmar que o  $\text{Fe}^{2+}$  com fenantrolina apresenta absorção máxima para o comprimento de onda 510 nm.

#### 4.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FERRO NUMA AMOSTRA DE ÁGUA

- a) Além da solução preparada em 4.4.a), preparar mais 4 soluções padrão de  $\text{Fe}^{2+}$  de diferentes concentrações, em balões volumétricos de 100 mL, de acordo com as instruções presentes na tabela abaixo. Completar o volume de cada balão com água destilada e deixar repousar durante 15 minutos;

Solução padrão	Volume de solução padrão de $\text{Fe}^{2+}$ 28 mg/L (mL)	Volume de solução tampão 2 mg/L (mL)	Volume de solução de ácido ascórbico 1% (mL)	Volume de solução de fenantrolina 0,10% (mL)
1	1	10	5	5
2	2	10	5	5
3	5	10	5	5
4	7	10	5	5



b) Pipetar, para um balão volumétrico de 100 mL, 10 mL da amostra de água, 10 mL de solução tampão acetato  $2 \text{ mol dm}^{-3}$ , 5 mL de solução de ácido ascórbico 1% e 5 mL de solução de fenantrolina 0,10%. Perfazer o volume do balão volumétrico com água desionizada. Deixar em repouso durante 15 minutos;

c) Seleccionar no espectrofotómetro o comprimento de onda 510 nm;

d) Medir e registar a absorvância das soluções padrão de diferentes concentrações preparadas e da solução da amostra de água. Em cada medição ajustar a absorvância a zero usando a solução de “branco”.

**Nota:** Nas medições efectuadas usar sempre as mesmas células de absorção, uma célula de absorção para a solução “branco” e outra para a solução em análise.

### **5. QUESTÕES PÓS-LABORATORIAIS**

a) Porque razão realizou as medições de absorvância a 510 nm?

b) Justifique porque motivo utilizou sempre a mesma célula para as várias soluções padrão e para a solução amostra.

c) Trace a curva de calibração das absorvâncias das soluções padrão em função das respectivas concentrações e determine o seu coeficiente de correlação.

d) Justifique se a relação que obteve obedece a Lei de Lambert-Beer.

e) Determine a concentração de ferro (II) na amostra.

### **BIBLIOGRAFIA**

♦ Manual escolar.

♦ Harvey, I. M. e Baker, R. M. (2002) “Chemical Analysis in the Laboratory – A Basic Guide”, Royal Society of Chemistry, Inglaterra.