



## QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ZONAS COSTEIRAS caso de estudo do aquífero livre de Esposende – Vila do Conde (NW de Portugal)

**Pedro FONSECA**

*Licenciado em Geologia, Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal, geol.pgf@gmail.com*

**Alberto da Silva LIMA**

*Doutor em Hidrogeologia, Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal, aslima@dct.uminho.pt*

### RESUMO

As regiões costeiras são áreas que têm sido intensamente ocupadas pelos aglomerados populacionais, pela agricultura e pelo turismo, pelo que as solicitações de água nestas zonas são, em geral, elevadas. Do ponto de vista hidrogeológico, estas regiões apresentam algumas peculiaridades, por constituírem áreas predominantemente de descarga aquífera e por se situarem próximas do oceano, onde o equilíbrio da interface água doce/água salgada pode facilmente ser alterado. O sector estudado encontra-se inserido na Zona Vulnerável de Esposende – Vila do Conde, uma das oito zonas vulneráveis identificadas em Portugal continental. Estas zonas são definidas como "...aquelas que drenam para águas poluídas ou susceptíveis de serem poluídas por nitratos, se não forem tomadas medidas" (Directiva 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991). Na área em estudo, o abastecimento de água de consumo às populações é feito maioritariamente a partir da rede pública. No entanto, as águas subterrâneas constituem importantes recursos hídricos, particularmente para a actividade agrícola, muito intensa na região. Na zona em estudo, as águas subterrâneas associadas ao aquífero livre costeiro apresentam mineralizações anormalmente elevadas, traduzindo-se por valores de condutividade eléctrica entre 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Apresentam maioritariamente pH no domínio alcalino, aparentemente devido ao uso intensivo de corretores da acidez natural dos solos. Pela mesma razão, os teores de bicarbonato e de cálcio são muito elevados. De um modo geral, as águas subterrâneas estudadas não apresentam qualidade compatível com o uso agrícola. Não obstante a proximidade ao mar, a influência marinha apresentou-se de pouca relevância.

PALAVRAS – CHAVE: masseiras, águas subterrâneas, ambiente costeiro, nitratos, agricultura.

## 1. INTRODUÇÃO

As regiões costeiras são áreas que têm sido intensamente ocupadas pelos aglomerados populacionais, pela agricultura e pelo turismo, pelo que as solicitações de água nestas zonas são, em geral, elevadas. Do ponto de vista hidrogeológico, estas regiões apresentam algumas peculiaridades, por constituírem áreas predominantemente de descarga aquífera e por se situarem próximas do oceano, onde o equilíbrio da interface água doce/água salgada pode facilmente ser alterado.

O sector em estudo encontra-se inserido na Zona Vulnerável nº1 (Zona Vulnerável de Esposende – Vila do Conde), uma das seis zonas vulneráveis identificadas em Portugal continental. Estas zonas são definidas como “...aquelas que drenam para águas poluídas ou susceptíveis de serem poluídas por nitratos, se não forem tomadas medidas” (Directiva 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991). Na área em estudo, o abastecimento de água de consumo às populações é feito maioritariamente a partir da rede pública, a qual capta água superficial no Rio Cávado. No entanto, as águas subterrâneas constituem importantes recursos hídricos, particularmente para a actividade agrícola, muito intensa na região.

De facto, uma boa parte dos produtos agrícolas consumidos nas áreas envolventes provém de explorações agrícolas do sector Póvoa de Varzim – Esposende. Algumas destas explorações são as tradicionais “masseiras”, uma forma de agricultura única no mundo, de concepção muito simples, tirando o máximo proveito dos recursos naturais da região, que surgiu devido à necessidade de grandes quantidades de água para que se pudesse cultivar esses solos. Podem ser caracterizadas como campos escavados em areias de duna até se encontrar o nível freático, envoltas por muros de areia denominados valos, que protegem os campos que vão ser cultivados e que lhes dá a sua forma característica (JFE, 2009). Na actualidade, este tipo de agricultura está a ser substituído por campos abertos e por estufas, em parte devido à pressão urbanística e económica nas áreas dunares, restringindo a área disponível para a prática daquela forma de agricultura tradicional (MELO, 1992). Contudo, tanto as estufas como as “masseiras” e os campos abertos exigem grandes quantidades de água para irrigação.

No presente estudo pretende-se efectuar uma caracterização hidrogeológica da região costeira do sector Póvoa de Varzim – Esposende, dando particular relevo à questão da qualidade das águas subterrâneas e dos mecanismos envolvidos na sua mineralização.

Para a concretização do objectivo geral antes enunciado definem-se os seguintes objectivos operacionais: (i) identificação dos mecanismos mineralizadores do aquífero livre deste sector que se encontra com forte influência de agricultura intensiva; (ii) avaliação da qualidade das águas subterrâneas locais, tendo em conta o actual uso do solo; (iii) proposta de medidas de mitigação do impacto da actividade agrícola sobre os recursos hídricos subterrâneos locais.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Localização

O presente trabalho enquadra-se geograficamente no concelho da Póvoa de Varzim, em que a área de estudo está definida entre as freguesias da Estela, no lugar de Rio Alto, e de Aguçadoura, no lugar da Barranha.

A freguesia de Estela encontra-se a cerca de sete quilómetros da Póvoa de Varzim, apresenta uma área aproximada de 11,73 quilómetros quadrados e uma extensão de quase quatro quilómetros

de praias. Encontra-se limitada, a norte, por Esposende e Barcelos, a este pela freguesia de Laúndos, a sul pelas freguesias de Aguçadoura, Navais e Terroso e a oeste pelo Oceano Atlântico (Figura 1).

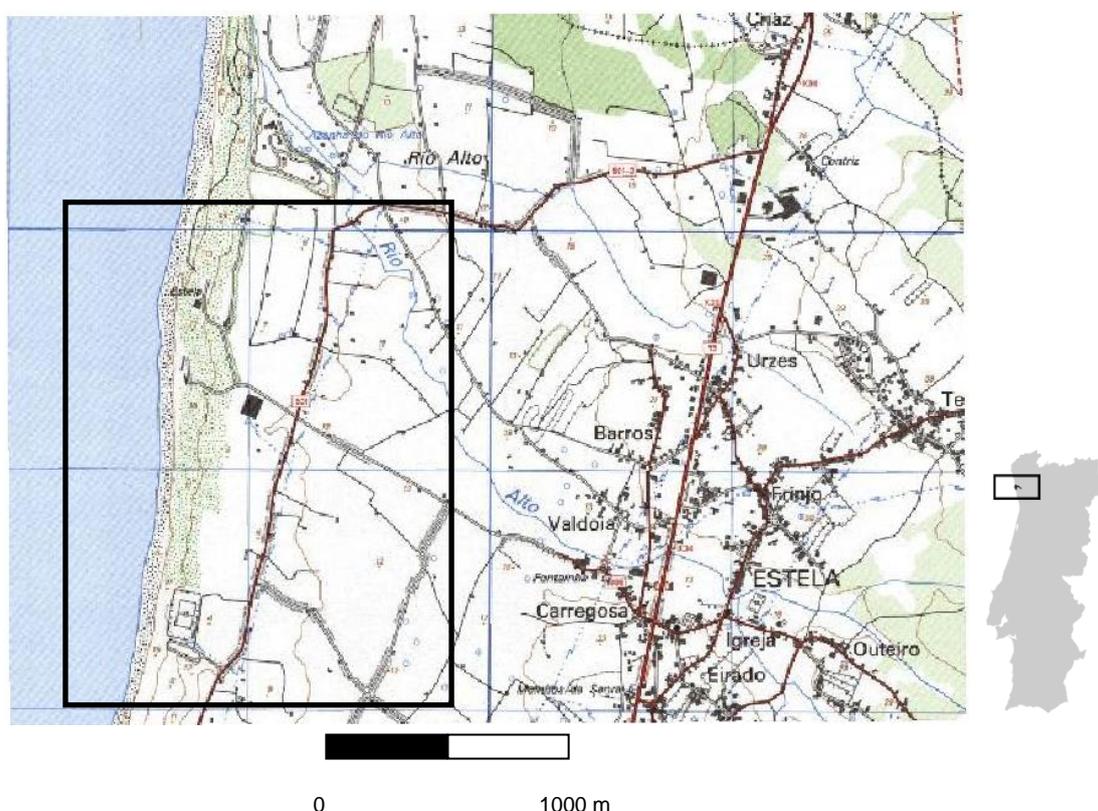


Figura 1 – Extracto da folha 82 da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000 (IGE, 1997), com indicação da área em estudo.

Do ponto de vista histórico, a freguesia de Estela remonta aos tempos de D. Afonso Henriques, à qual concedeu a carta de “Couto” aos frades Bentos de Tibães, em 1140, tornando-a assim *uma das terras mais antigas do concelho da Póvoa de Varzim* (JFE, 2009). No entanto, a ocupação do solo deu-se muito antes, durante o Período Castrejo (por volta de 1500 a.C.), seguida de ocupação romana, desde o século I a.C. até ao século VI d.C. (CARDOSO, 2007).

A freguesia de Aguçadoura encontra-se a seis quilómetros da cidade da Póvoa de Varzim, com uma área aproximada de 3,63 quilómetros quadrados, limitada a norte pela Estela, a leste por Navais e a sul por Aver-o-Mar. É constituída pelos lugares de Aldeia, Areosa, Barranha, Caturela, Codixeira, Granjeiro, Parau, Santo André de Cima e Santo André de Baixo (CMPV, 2000).

## 2.2. Perfil climático

As características climáticas que, de certa forma, “moldaram” a paisagem desta faixa litoral, continuam a ter forte impacto nesta região.

De todos os agentes modeladores, o mar é de todos o maior regulador das condições físicas, transporta consigo os ventos de oeste carregados com humidade e geradores de precipitações abundantes, praticamente durante todo o ano. Os ventos de norte também têm uma grande influência na região, sendo sobretudo ventos de grande intensidade e mais frios que os de oeste, daí a designação local para estes ventos de “nortadas”. Estes ventos influenciaram o formato característico dos campos “maseira” (COSTA, 1987).

O sector Póvoa de Varzim – Esposende, no qual está enquadrada a área em estudo, é caracterizado por apresentar um clima temperado e húmido, apresentando uma humidade relativa média de 80%, com temperaturas médias anuais entre 14 °C e 16 °C, geadas e nevoeiros esporádicos, ventos fortes, precipitações médias anuais entre 1000 mm e 1600 mm, que sugerem uma evapotranspiração alta (M.A. *et al*, 2005).

### 2.3. Perfil geológico e geomorfológico

De um modo geral, a área em estudo apresenta relevos fracos ou aplanados, algumas linhas de água secundárias e é dominada por uma extensa superfície de abrasão marinha, coberta por alguns depósitos de praia antiga, cordões dunares e pontuais depósitos de aluvião (TEIXEIRA E MEDEIROS, 1965).

Na Figura 2 está representado o enquadramento geológico da área em estudo.

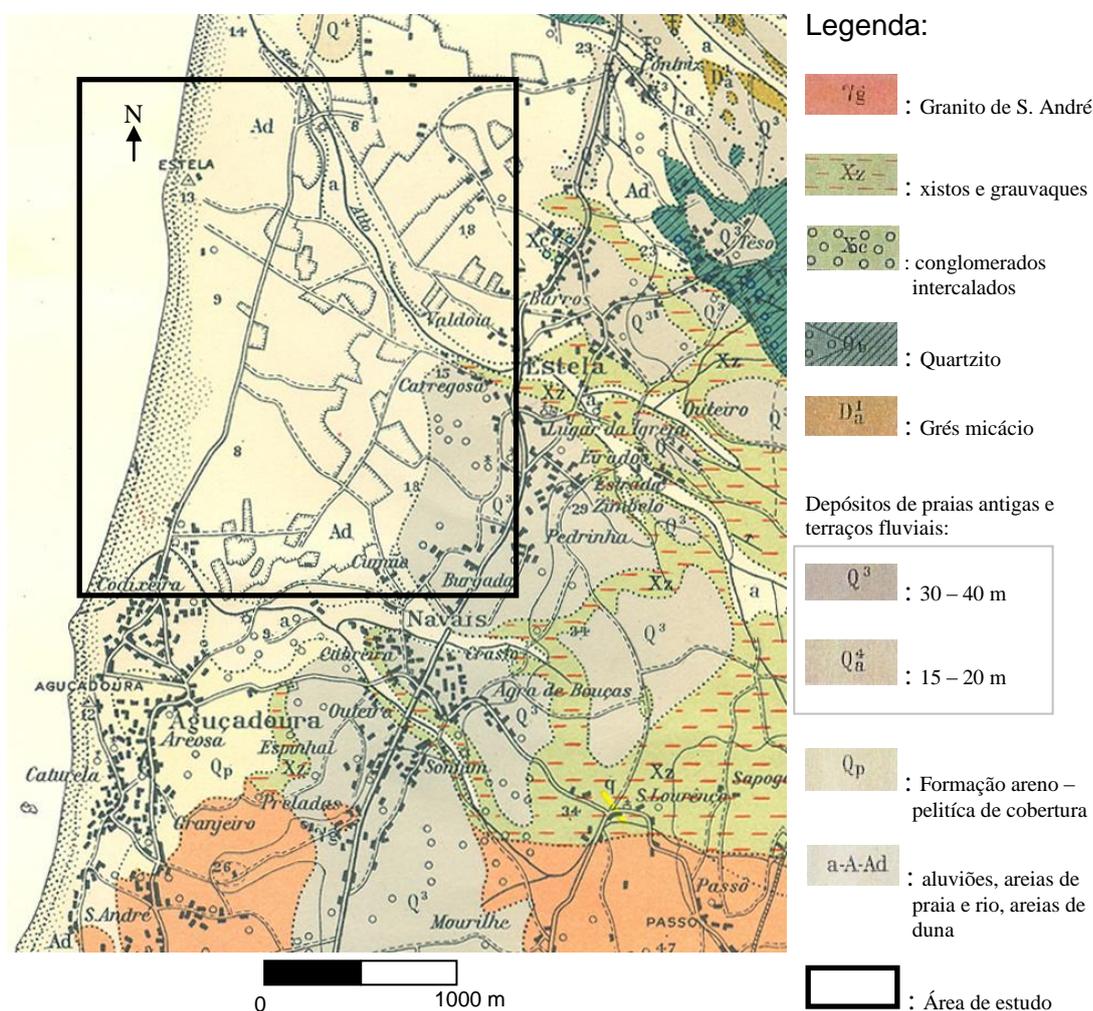


Figura 2 – Enquadramento geológico da área de estudo (adaptado de TEIXEIRA E MEDEIROS, 1965).

A unidade litostratigráfica mais antiga que se encontra na região é o Complexo Xisto – Grauvaquico, na qual se destaca a mancha de Laúndos – Estela, que começa na região de Rates, alarga progressivamente para NW, desaparecendo na região costeira, sob uma espessa cobertura de depósitos de praia e areias de duna. Esta, encontra-se limitada, a sul, pelo granito do Porto, mais

concretamente o granito porfiróide de Santo André, que se encontra parcialmente coberto por depósitos de praia.

As rochas predominantes são os xistos que, nas orlas de contacto com o granito, apresentam-se muito metamorfizados. Além dos xistos, estão presentes grauvaques e, por vezes, bancadas compactas de conglomerados silicificados, quartzosos, com elementos de pequenas dimensões.

Seguindo a ordem crono-estratigráfica, temos o Ordovícico, representado pelos quartzitos com bilobites e por conglomerados, que surgem sob a forma de bancadas intercaladas. Esta formação, junto ao litoral, encontra-se, a partir do Teso, coberta por depósitos de praia e areias de duna.

O Silúrico não se encontra representado nos limites da área de estudo. No entanto, o Devónico Inferior já se encontra dentro desses limites. Esta unidade encontra-se pouco representada na área de estudo, sobretudo na secção NE e é caracterizada por xistos argilo-micáceos, grés finos, micáceos e por grés quartzíticos, onde poderá ocorrer a presença de alguns fósseis.

Não se observam evidências das restantes unidades crono-estratigráficas até ao Terciário. O Quaternário encontra-se bem representado, sobretudo por depósitos de praias antigas do Plio-Plistocénico, depósitos de aluvião e areias de duna modernas ou Holocénicas. Nas areias, existe predominância do quartzo, mas também poderão conter outros minerais, tais como: feldspato, granada, magnetite, hornoblenda, piroxena, turmalina e micas (TEIXEIRA e MEDEIROS, 1965).

## **2.4. Uso do solo**

Do ponto de vista textural, os solos da região em estudo caracterizam-se pela predominância de areias grosseiras com alguma areia fina, classificando-se como arenosos. Neste sector, uma grande área de solo está ocupada por culturas hortícolas intensivas, quer sob a forma de masseiras ou campos abertos, quer sob a forma de estufas. Esta área está incluída na RAN (Reserva Agrícola Nacional). Por sua vez, a orla costeira pertence à REN (Reserva Ecológica Nacional), como se pode ver na Figura 3 (CMPV, 2000). Segundo o Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), estas áreas estão implantadas numa Área de Protecção Costeira, por terem sido consideradas fundamentais para a estabilidade do Litoral Norte, do ponto de vista ambiental e económico (FBO e INAG, 1999).

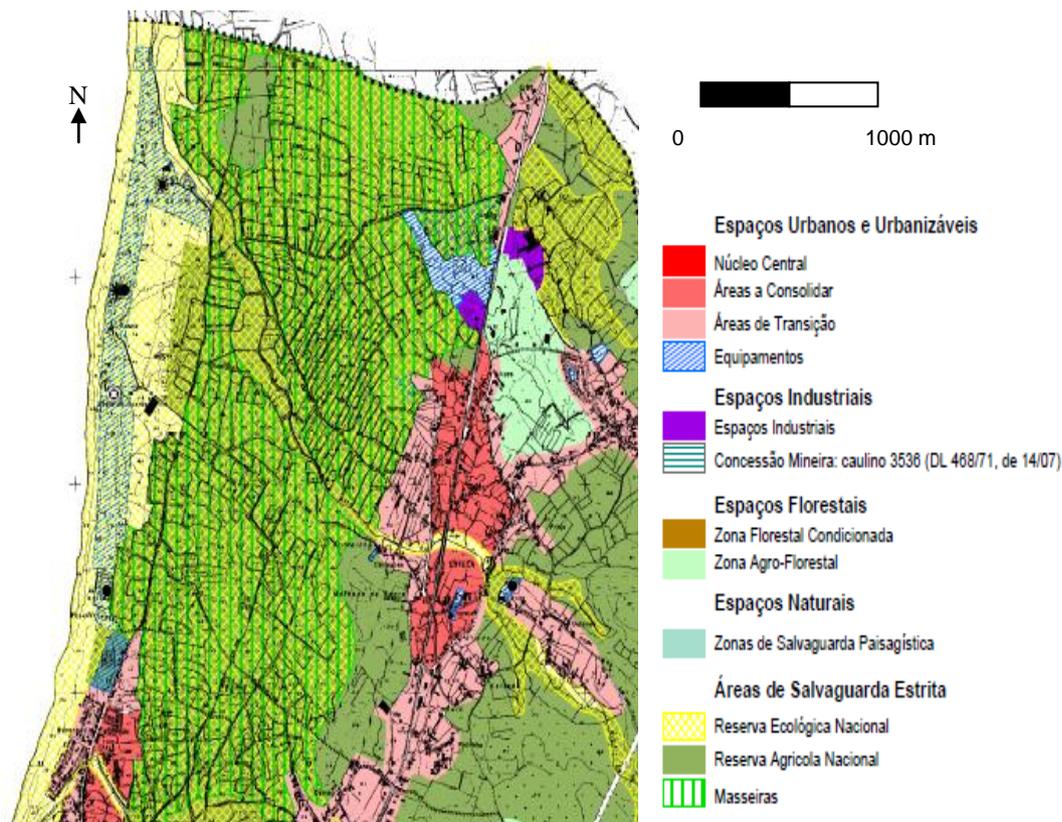


Figura 3 – Mapa de ocupação do solo de Aguçadoura e Estela ([www.cm-pvarzim.pt](http://www.cm-pvarzim.pt)).

## 2.5. Perfil socioeconómico

A população da área de estudo depende fortemente da agricultura, sendo esta a sua principal actividade económica. O tipo de agricultura praticado nesta região é sobretudo de carácter familiar e de cultura intensiva, principalmente a horticultura a céu aberto, como é o caso das masseiras, a horticultura em estufa, a floricultura e, para o interior, a cultura forrageira.

As masseiras, de acordo com as fontes históricas, remontam aos finais do séc. XIX. Devido à pressão populacional crescente em Aguçadoura e um cada vez mais reduzido número de terrenos disponíveis para a prática agrícola, a população viu-se forçada a procurar novos terrenos para cultivo. Deparou-se com os campos dunares a norte e áreas de pinhal plantadas pelos monges de Tibães até ao séc. XIX, que iniciavam a existência de solo fértil e água a pouca profundidade.

As masseiras tiveram o seu desenvolvimento no século XX, principalmente durante as décadas de 20, 30 e 40. Nas décadas de 50 e 60 começaram a entrar em declínio, devido à extracção de areias para comercialização. Nos dias de hoje, esse tipo de cultura típica está em vias de desaparecer, sendo substituído pelas mais rentáveis estufas e por campos abertos (JFE, 2009).

A escavação ou descoberta de uma masseira consiste em escavar a areia para os lados, de modo a dar-lhe a forma característica, continuando até encontrar a camada de argila, que se encontra ligeiramente acima do nível freático. Pode-se, de modo sucinto, descrever a sucessão estratigráfica das camadas, sendo a mais superficial a das areias de duna de espessura variável, seguida pelas areias finas com cerca de 1,80 m, logo a seguir 30 cm de areias ferruginosas e, por último, a camada das argilas, estas de cor negra, resultantes da alteração dos xistos.

Uma masseira é constituída por vários elementos (Figura 4). O primeiro é formado durante o processo de escavação do campo, onde as areias acumuladas dos lados formam uma espécie de

barreira protectora contra os ventos e retardam a evaporação da humidade. Estes taludes são designados por valos. Para ajudar a fixar estas areias, antigamente plantavam-se vinhas mas actualmente plantam-se sebes. Os restantes elementos encontram-se na parte inferior da masseira, dividida em talhões, organizados longitudinalmente com cerca de 4 metros de largura e separados por pequenas valas ou regueiros, na qual se faz a drenagem ou “sangração” da água em excesso, para um canal de drenagem principal, denominado por sangradouro principal, que a conduz para fora dos campos (COSTA, 1987).

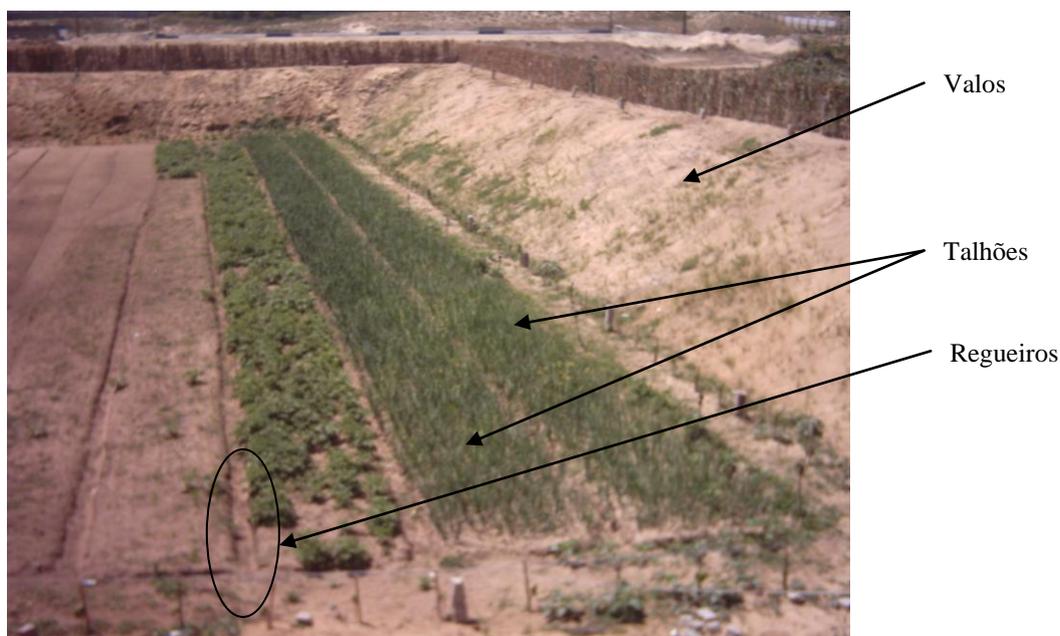


Figura 4 – Aspecto geral de uma masseira na freguesia de Estela.

### 3. Metodologia

São milhares os pontos de água existentes na Zona Vulnerável Esposende – Vila do Conde. No âmbito deste estudo, foi efectuado um reconhecimento de alguns destes pontos, localizados nas freguesias de Estela e Aguçadoura (Figura 5).

Durante a fase de reconhecimento dos pontos de água assinalados na Figura 5, foram medidos os seguintes parâmetros: condutividade eléctrica, temperatura, pH e Eh da água e profundidade das captações e do nível freático. Posteriormente, foram seleccionados 30 pontos, onde foram efectuadas colheitas de amostras de água para análises físico-químicas de parâmetros globais, elementos maiores, menores e vestígias.

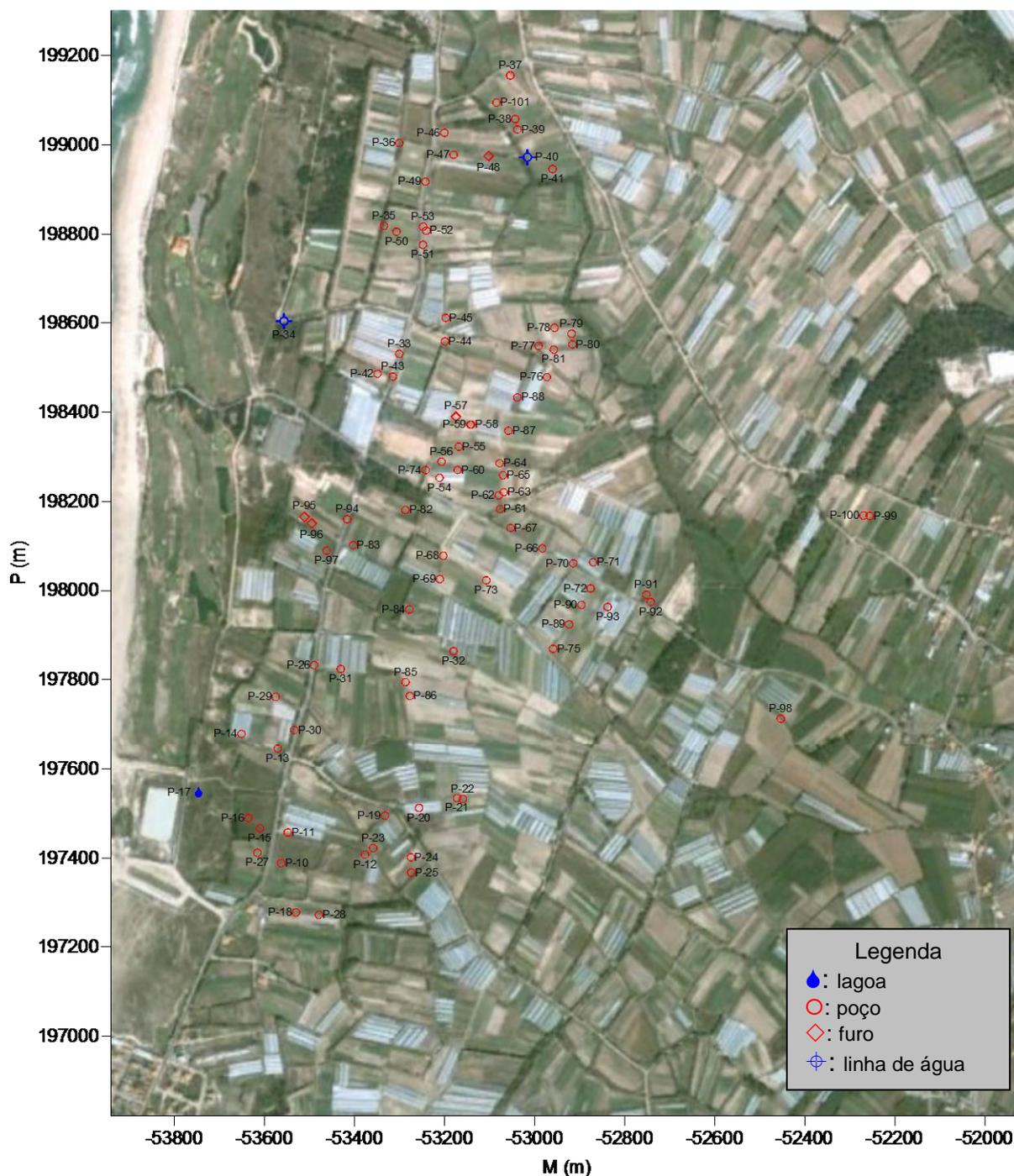


Figura 5 – Localização dos pontos de água incluídos neste estudo.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Caracterização hidroquímica

#### 4.1.1. Parâmetros globais e elementos maiores

Na Figura 6 apresenta-se o histograma dos valores da condutividade eléctrica das amostras de água estudadas. Analisando o histograma, verifica-se que a classe modal está compreendida entre os 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e os 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cerca de 6,5% das amostras apresentam valores inferiores a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

entre os 600  $\mu\text{S/cm}$  e 1200  $\mu\text{S/cm}$  situam-se 77,2%; as restantes 16,3% possuem valores de condutividade compreendidos entre os 1200  $\mu\text{S/cm}$  e os 1600  $\mu\text{S/cm}$ .

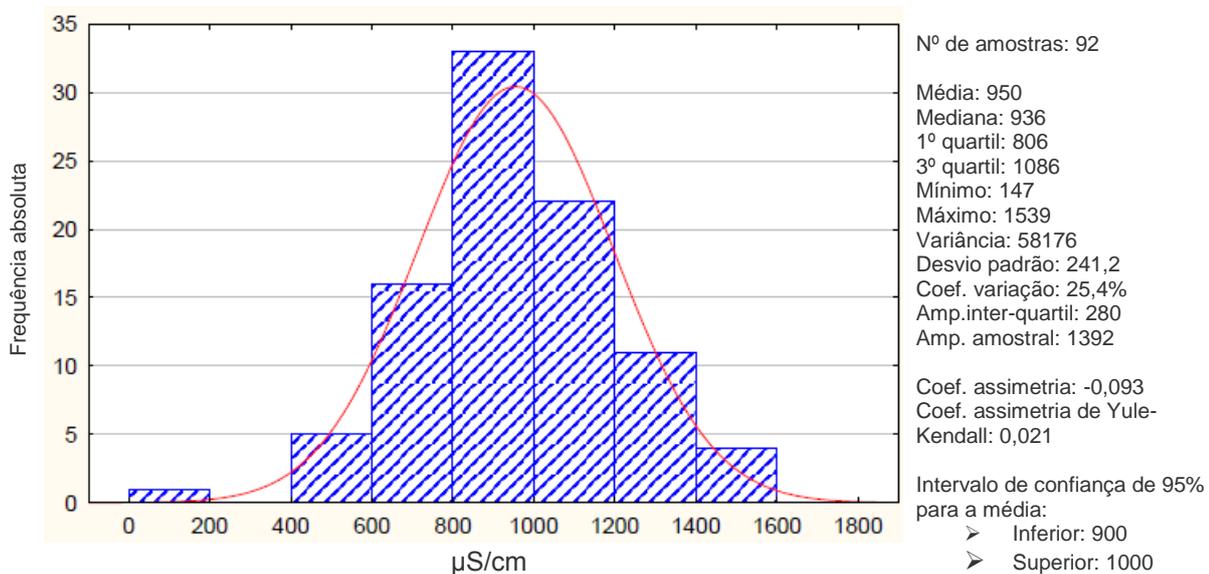


Figura 6 – Distribuição dos valores da condutividade eléctrica das amostras de água estudadas.

A análise estatística efectuada mostra a presença de dois outliers moderados, sendo um deles, correspondente à amostra com o valor mínimo de condutividade (147  $\mu\text{S/cm}$ ) e o outro ao valor máximo de 1539  $\mu\text{S/cm}$ . De um modo geral, os valores de condutividade são muito elevados, considerando o ambiente hidrogeológico regional, pouco favorável à dissolução de minerais. Como tal, a mineralização das águas deverá estar essencialmente dependente de processos não naturais, nomeadamente a prática agrícola intensiva da região.

O pH das águas analisadas é, em média, ligeiramente alcalino (7,7), variando entre 6,2 e 8,4. À semelhança da condutividade eléctrica, também os valores de pH são genericamente elevados, facto para o qual concorre a adição de fertilizantes e pesticidas.

A distribuição dos valores de cálcio das águas analisadas está representada na Figura 7, onde se incluem também alguns parâmetros estatísticos. Os valores distribuem-se segundo um modelo aproximadamente normal, apresentando um valor médio 121 mg/l. Identifica-se um outlier moderado, correspondendo ao teor máximo de cálcio de 216 mg/l. Estas concentrações não são explicadas por processos naturais.

Os teores de cálcio das águas analisadas apresentam uma correlação significativa com os valores de condutividade eléctrica, definindo-se duas tendências distintas (Figura 8). Uma delas inclui a maioria dos pontos analisados e a outra compreende apenas 5 pontos. A condutividade destes últimos pontos é menos influenciada pelos teores de cálcio que a condutividade dos pontos que definem a primeira tendência.

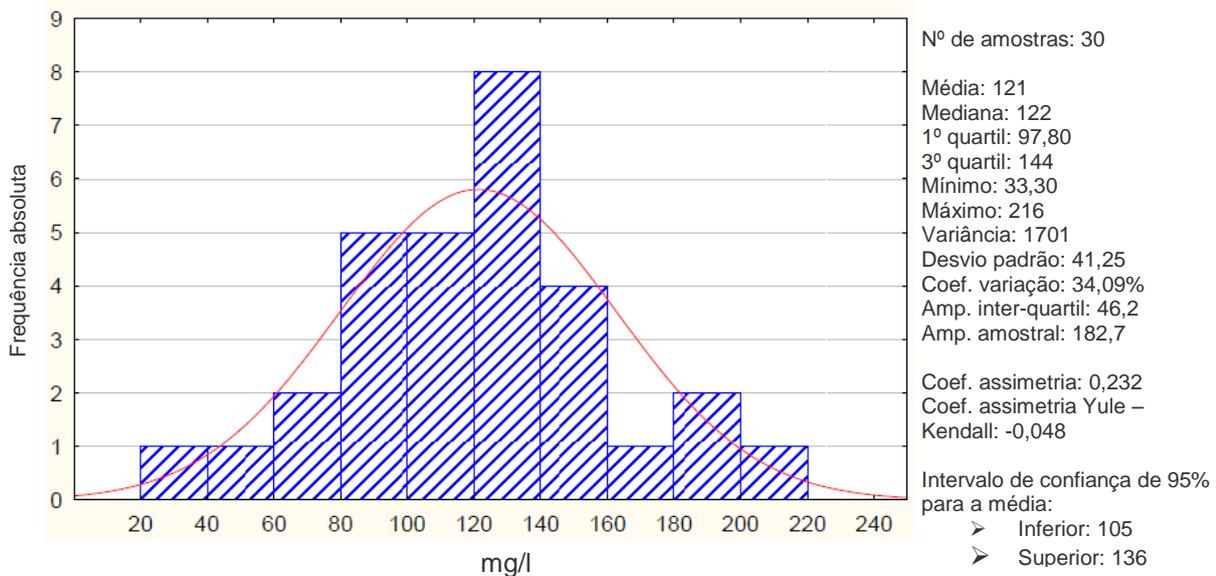


Figura 7 – Distribuição dos teores de cálcio das amostras de água estudadas.

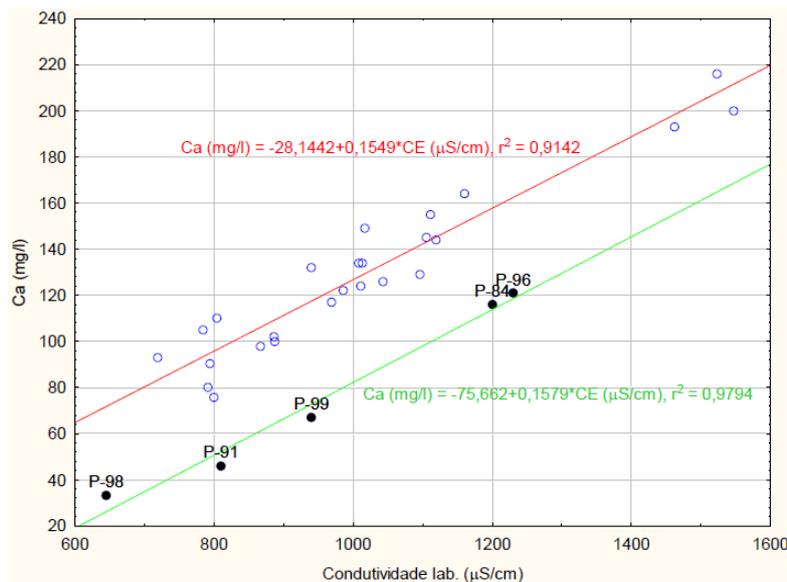


Figura 8 – Diagrama de dispersão dos teores de cálcio e dos valores de condutividade eléctrica.

O magnésio é um elemento que apresenta um comportamento muito semelhante ao do cálcio (INIAP – LQARS, 2006), sendo absorvido pelas plantas como  $Mg^{2+}$  (SALISBURY e ROSS, 1992). É comum vir associado ao cálcio em fertilizantes, dado serem dois macronutrientes importantes para o crescimento das plantas, especialmente o magnésio, para o processo da fotossíntese. A deficiência deste elemento no solo pode levar a cloroses nas plantas e ocorre usualmente quando o magnésio disponível para troca catiónica baixa para além de 5% da capacidade de troca catiónica total (REIMANN E CARITAT, 1998). A distribuição dos teores de magnésio das águas analisadas está representada na Figura 9, oscilando entre 7,48 mg/l e 40,80 mg/l. São identificados 4 outliers em relação aos valores mais elevados, sendo três deles considerados moderados e um severo.

Os teores encontrados nas amostras revelam que estas águas não são muito ricas em magnésio, em comparação com os restantes elementos maiores. A principal proveniência deste elemento é a partir dos fertilizantes agrícolas.

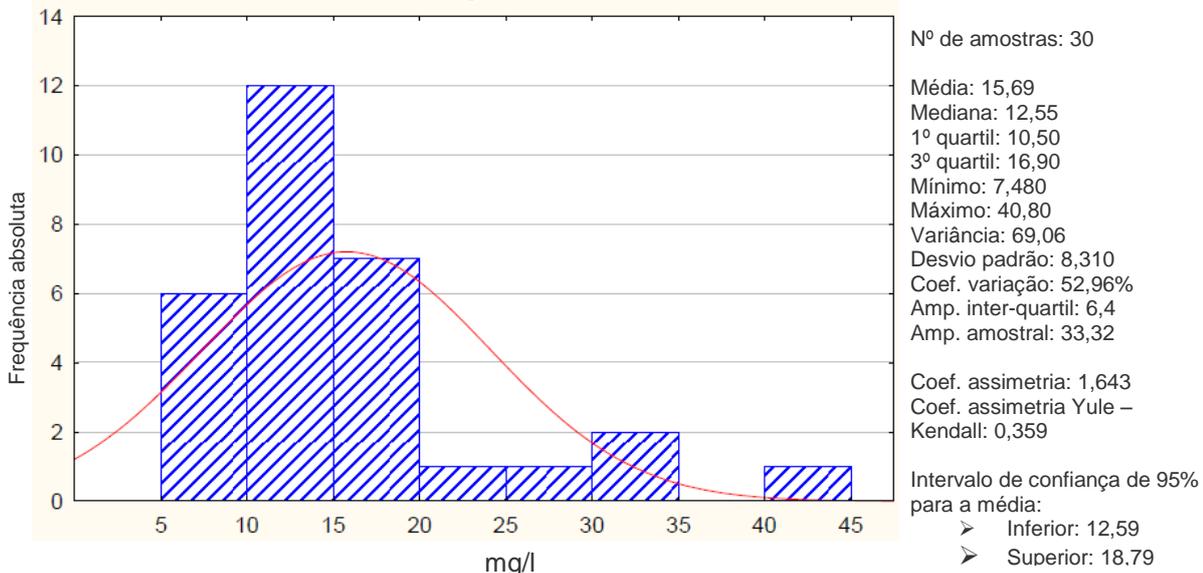


Figura 9 – Distribuição dos teores de magnésio das amostras de água estudadas.

O sódio é um elemento muito comum nas águas subterrâneas, em especial em ambientes marinhos. É muito solúvel e está frequentemente envolvido em processos de troca catiónica. No entanto, no âmbito do desenvolvimento das plantas, não é considerado um elemento essencial e as suas funções ainda são fruto de debate entre a comunidade científica (SALISBURY e ROSS, 1992). Nas águas estudadas, os teores de sódio variam entre 20,70 mg/l e 81,80 mg/l, apresentando um valor médio de 35,82 mg/l (Figura 10). Atendendo ao ambiente costeiro em que se insere a área em estudo, os teores referidos são considerados normais.

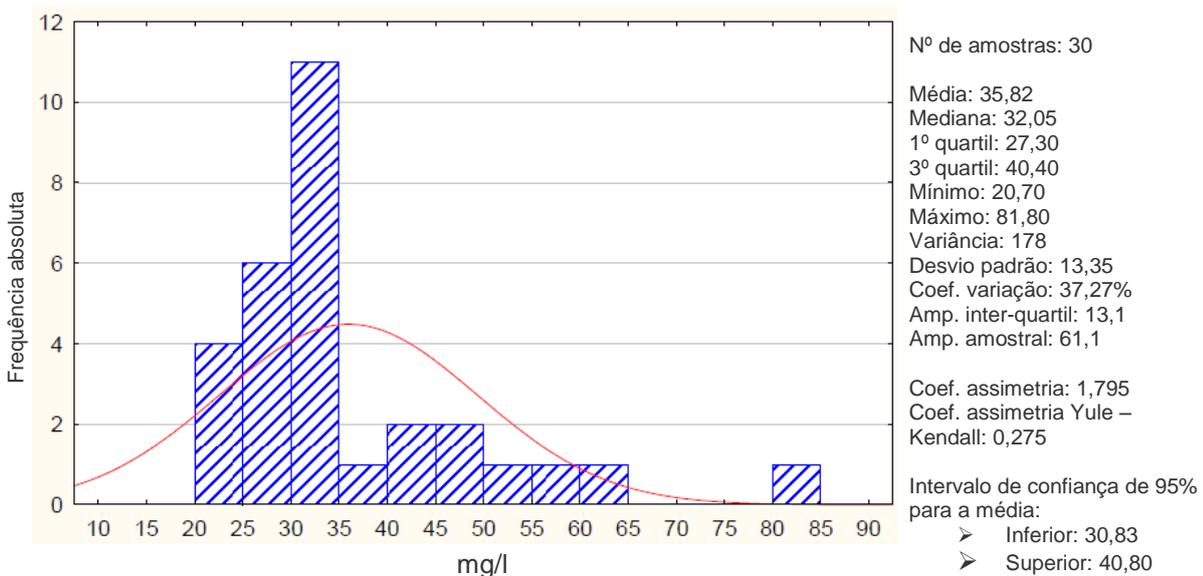


Figura 10 – Distribuição dos teores de sódio das amostras de água estudadas.

Os solos cultivados apresentam naturalmente teores elevados de potássio, excepto aqueles derivados de areias e arenitos, em que o mineral dominante é o quartzo. Grande parte do potássio

presente no solo encontra-se sob formas não assimiláveis pelas plantas, fazendo parte de minerais primários e secundários, que constituem a grande reserva de potássio do solo. Uma pequena percentagem encontra-se adsorvida no complexo de troca e outra, ainda menor, dissolvida na solução do solo (INIAP – LQARS, 2006).

O potássio é normalmente muito solúvel, difícil de precipitar e é frequentemente absorvido de forma pouco reversível por argilas (CUSTODIO e LLAMAS, 1983), mas também apresenta alguma resistência à lixiviação havendo, por isso, alguma retenção deste elemento nos solos. Como tal, na maioria das águas naturais, a concentração de potássio é muito baixa, raramente excedendo 10 mg/l (DAVIS e DEWIEST, 1971).

É um activador de muitas enzimas essenciais para a fotossíntese e a respiração das plantas (SALISBURY e ROSS, 1992) e, caso exista excesso de potássio no solo, poderá conduzir a desequilíbrios com outros nutrientes, nomeadamente com o magnésio (INIAP – LQARS, 2006). Nas águas subterrâneas estudadas, os teores de potássio variam entre 5,8 mg/l e 65,2 mg/l (Figura 11), sendo por isso muito elevados. Estas concentrações não podem ser explicadas por processos naturais, nomeadamente a interacção água – rocha. Assim, tratando-se de um elemento essencial ao desenvolvimento vegetal, o potássio faz parte de diversos fertilizantes, sendo utilizado com muita frequência na produção agrícola da região. Desta forma, não obstante a sua fixação quase irreversível em minerais argilosos, o potássio ocorre nas águas subterrâneas da região em concentrações anormalmente elevadas, até porque os solos são predominantemente arenosos, com uma fracção argilosa diminuta.

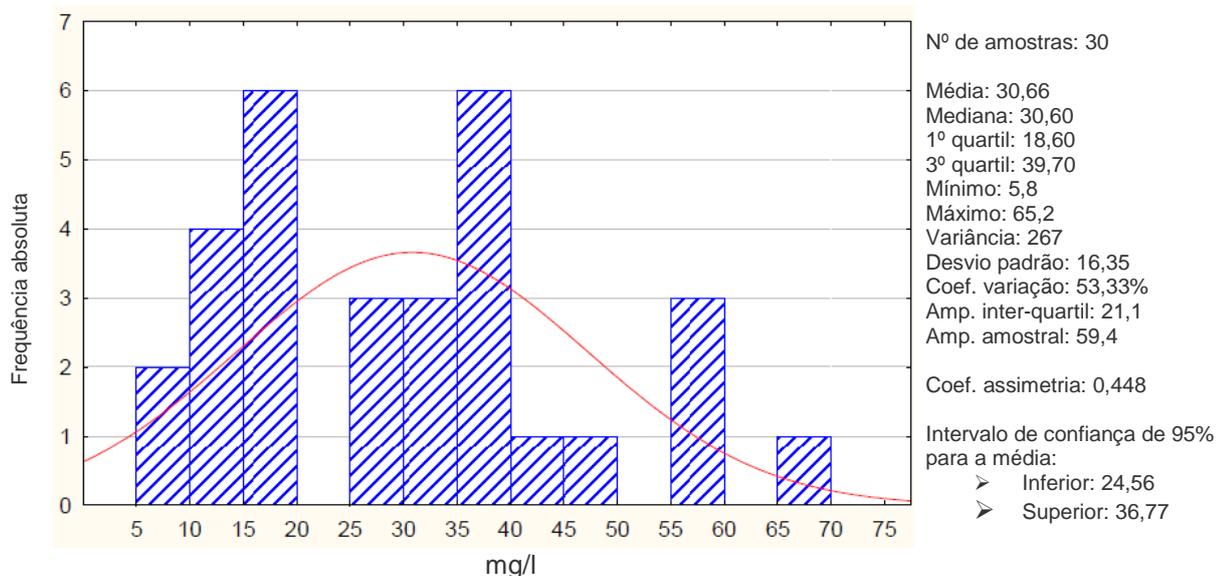


Figura 11 – Distribuição dos teores de potássio das amostras de água estudadas.

Relativamente aos aniões da componente maioritária das águas, particular destaque merecem os nitratos e os sulfatos.

A distribuição dos teores de nitrato nas águas estudadas está representada na Figura 12. Os valores estão compreendidos entre 0,04 mg/l e 367 mg/l, com um valor médio de 88,27 mg/l. Apesar da concentração média ser por si elevada, o valor máximo registado é considerado um outlier severo. Com efeito, este valor (367 mg/l) é muito superior ao valor imediatamente abaixo (153 mg/l). Importa ainda salientar que a maioria (93%) das amostras apresenta teores de nitratos iguais ou inferiores a 150 mg/l. De igual modo, é pertinente sublinhar que 70% das amostras possuem concentrações de nitratos

superiores a 50 mg/l, que é o valor máximo recomendado para águas destinadas a rega (Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto).

Os teores de sulfato nas águas subterrâneas analisadas variam entre 29 mg/l e 309 mg/l, apresentando um valor médio de 106 mg/l (Figura 13). Aquele valor máximo, apesar de anormalmente elevado, é bastante inferior ao máximo recomendável no diploma legal antes referido.

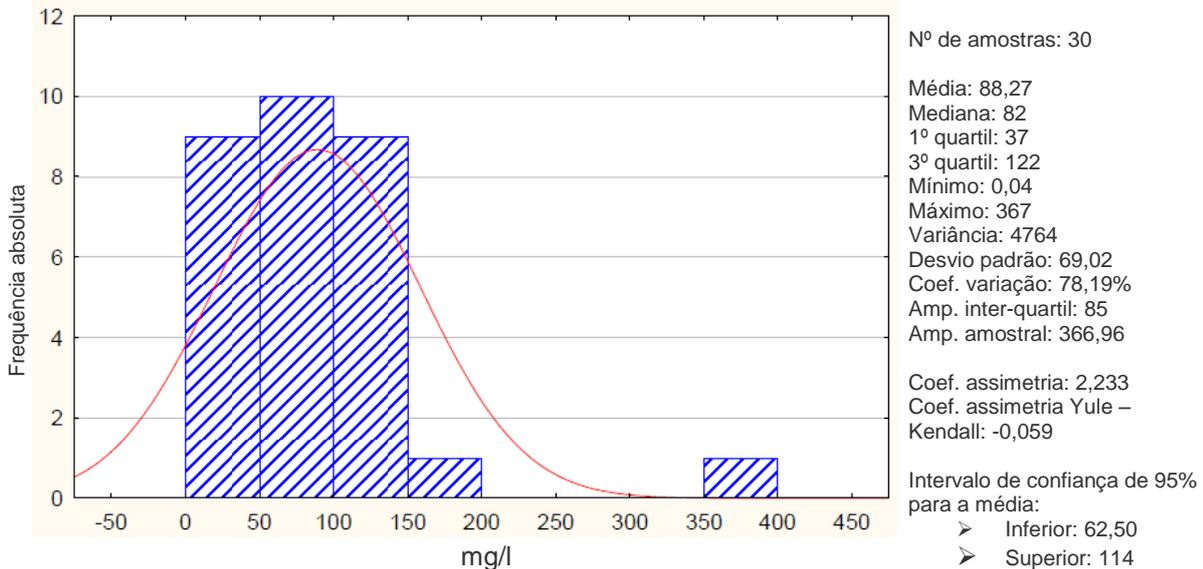


Figura 12 – Distribuição dos teores de nitrato das amostras de água estudadas.

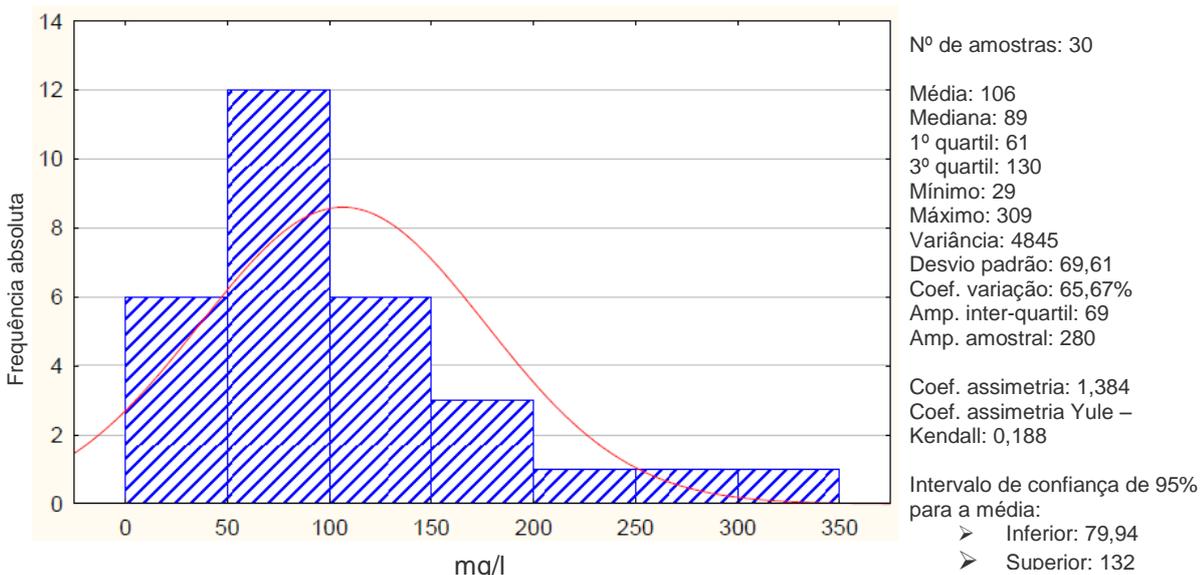


Figura 13 – Distribuição dos teores de sulfato das amostras de água estudadas.

Em face do exposto, as concentrações inusitadas de nitrato e sulfato estão, pelo menos em parte, indiscutivelmente relacionadas com a actividade agrícola da região.

#### 4.1.2. Elementos menores e vestigiais

Os constituintes maiores são fundamentais para a avaliação da qualidade da água e constituem macronutrientes para as plantas. No entanto, outros constituintes, ditos menores ou vestigiais, são também de extrema importância, não só porque alguns são micronutrientes para as

plantas, mas também porque, mesmo em concentrações reduzidas, podem limitar o desenvolvimento vegetal.

Na pesquisa de elementos menores e vestígias efectuada às águas subterrâneas em estudo, uma boa parte destes elementos não foi detectada pelos métodos analíticos utilizados. Tal não significa que os mesmos não possam estar presentes em concentrações muito reduzidas. Na Tabela 1 apresenta-se uma síntese estatística das concentrações dos restantes elementos menores e vestígias.

Tabela 1 – Principais parâmetros estatísticos relativos aos elementos menores e vestígias (valores em µg/l).

| Símbolo                      | Máximo | Mínimo  | Média  | Mediana |
|------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| F <sup>-</sup>               | 200    | < 10    | 63     | 65      |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | 900    | < 10    | 242,67 | 200     |
| Sr                           | 1630   | 290     | 830,67 | 790     |
| Br                           | 1220   | 178     | 497,37 | 432,5   |
| I                            | 867    | 16      | 83,77  | 49,5    |
| Ti                           | 16     | 0,6     | 3,44   | 1,75    |
| V                            | 19,3   | <0,1    | 2,29   | 1,55    |
| Mn                           | 138    | 1,2     | 30,19  | 10,95   |
| Ni                           | 9      | 0,8     | 2,21   | 1,8     |
| Cu                           | 72,4   | 0,9     | 11,22  | 8,7     |
| Zn                           | 92,2   | 3,6     | 10,29  | 5,85    |
| As                           | 89,3   | 0,25    | 12,61  | 4,77    |
| Se                           | 2,4    | < 0,2   | 0,75   | 0,6     |
| Rb                           | 24,3   | 3,75    | 10,57  | 8,65    |
| Y                            | 0,199  | 0,017   | 0,05   | 0,035   |
| Zr                           | 0,45   | < 0,01  | 0,09   | 0,055   |
| Mo                           | 6,7    | < 0,1   | 3,20   | 2,95    |
| Cd                           | 0,19   | < 0,01  | 0,036  | 0,03    |
| Sb                           | 5,44   | 0,03    | 1,02   | 0,855   |
| Li                           | 10     | <1      | 4,43   | 4       |
| Cs                           | 0,114  | 0,013   | 0,04   | 0,03    |
| Ba                           | 56,5   | 11,2    | 27,72  | 26,8    |
| La                           | 0,075  | 0,003   | 0,015  | 0,007   |
| Ce                           | 0,035  | 0,004   | 0,012  | 0,01    |
| Yb                           | 0,032  | 0,003   | 0,010  | 0,008   |
| W                            | 0,39   | < 0,02  | 0,061  | 0,04    |
| Re                           | 0,032  | 0,002   | 0,007  | 0,006   |
| Tl                           | 0,085  | < 0,001 | 0,02   | 0,015   |
| Pb                           | 0,13   | 0,03    | 0,077  | 0,07    |
| U                            | 5,99   | 0,014   | 1,68   | 1,12    |

Entre os elementos menores, os que apresentam valores médios mais elevados são o estrôncio e o brometo, cuja proveniência poderá estar relacionada com os fertilizantes usados na agricultura. Seguem-se o nitrito, o iodo, o fluoreto, o manganês, o bário, o arsénio, o cobre, o rubídio e o zinco, todos com concentrações ponderais médias superiores a 10 µg/l. Com concentrações entre 1 µg/l e 10 µg/l estão o titânio, o vanádio, o níquel, o molibdénio, o antimónio, o lítio e o urânio. Finalmente, os restantes elementos surgem nas águas com concentrações médias inferiores a 1 µg/l, sendo que o valor médio mais baixo é relativo ao rénio.

#### 4.2. Qualidade da água

O conceito de qualidade da água está relacionado com o uso a que a água se destina. No caso do presente estudo, as águas são quase exclusivamente utilizadas na agricultura. Os critérios de

qualificação das águas para uso agrícola dependem do tipo de planta, do volume de rega, da qualidade do solo e do clima local (DAVIS e DEWIEST, 1971). Existem varias classificações para as águas destinadas a rega. Uma das mais utilizadas é do “U.S. Salinity Laboratory Staff” que se baseia na salinidade das águas, avaliada através da condutividade eléctrica, e na concentração do sódio em relação ao cálcio e ao magnésio, através de um parâmetro designado “taxa de adsorção de sódio”. Na Figura 14 estão projectados os pontos das amostras analisadas, em função destes dois parâmetros.

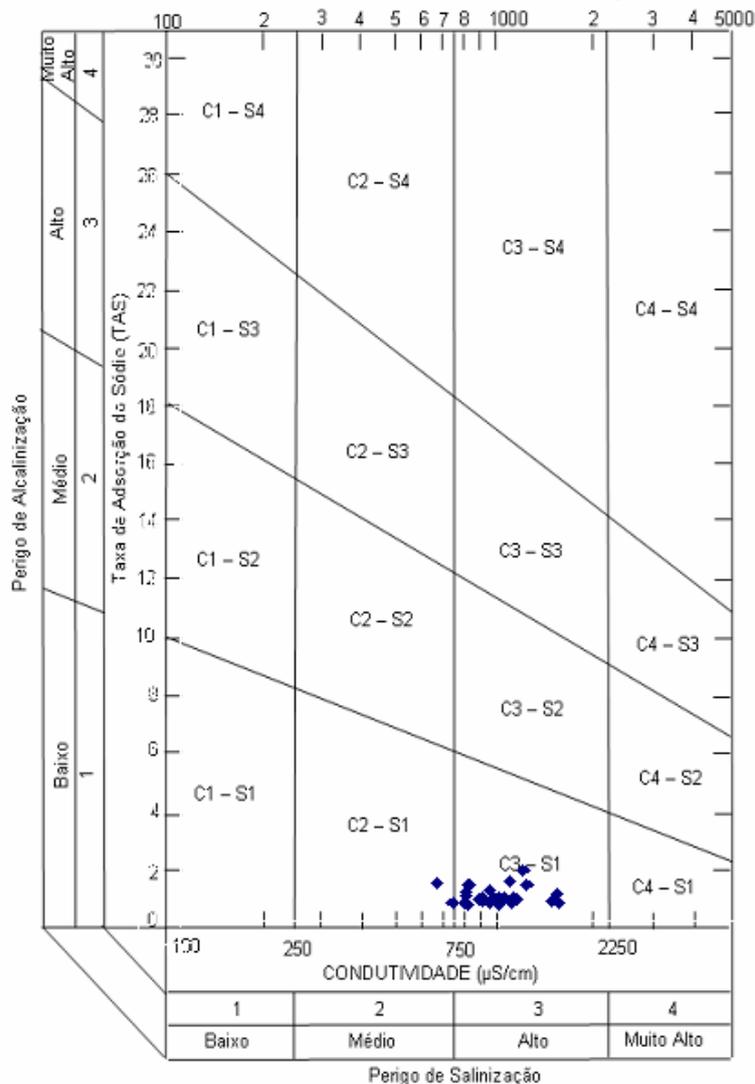


Figura 14 – Qualidade das águas para uso agrícola.

Como se observa, os pontos representativos das amostras distribuem-se por dois sectores (C2 – S1 e C3 – S1), mas a grande maioria das amostras encontra-se no sector C3 – S1. Assim, as águas da região apresentam baixo perigo de alcalinização do solo e alto perigo de salinização, pelo que podem apenas ser utilizadas para rega de culturas com alta tolerância aos sais.

Para além dos parâmetros antes referidos, procedeu-se à avaliação da qualidade das águas para uso agrícola com base no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Na Figura 15 apresentam-se os valores relativos aos parâmetros, condutividade eléctrica, cloreto e nitrato, uma vez que é nestes parâmetros que algumas amostras apresentam valores acima dos máximos recomendáveis (VMR). Além disso, verifica-se que algumas amostras apresentam teores de molibdénio superiores ao VMR (5

µg/L). Em relação à condutividade eléctrica, o VMR (1000 µS/cm) é ultrapassado em 50% das amostras. No nitrato, é ainda maior a proporção de amostras que estão acima do VMR (50 mg/L), uma vez que 21 das 30 amostras analisadas, ou seja 70%, ultrapassam aquele valor. Relativamente ao cloreto, o panorama é mais favorável, já que apenas 6 amostras (20%) apresentam teores superiores ao respectivo VMR (70 mg/L).

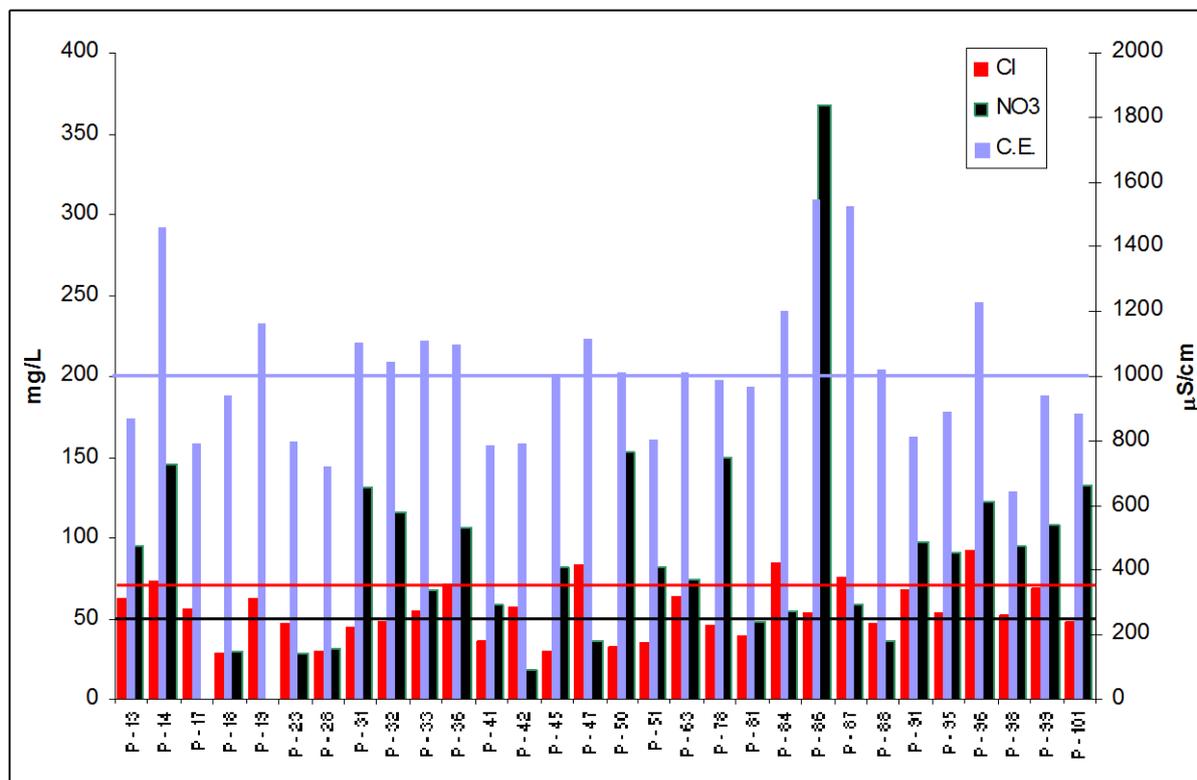


Figura 15 – Teores de cloreto (Cl) e nitrato (NO<sub>3</sub>) e valores de condutividade eléctrica (C.E.) das amostras analisadas. As linhas horizontais assinalam os respectivos valores máximos recomendáveis.

## 5. Conclusão

O estudo da qualidade das águas subterrâneas do aquífero livre da Zona Vulnerável nº 1 (Esposende – Vila do Conde) pós em destaque a contaminação destas águas, a qual é resultante, pelo menos em parte, da agricultura intensiva que aí se pratica. A textura dos solos agrícolas da região proporciona permeabilidades elevadas que favorecem a percolação das águas de rega até à zona saturada, arrastando consigo os fertilizantes adicionados aos solos. Nestas condições, a composição das águas subterrâneas está essencialmente controlada pela prática agrícola, acabando por apresentar mineralizações muito superiores ao que seria expectável, tendo em conta o contexto geológico em que ocorrem. Teores anormalmente elevados de alguns constituintes como o cálcio, o magnésio, os sulfatos e os nitratos, não podem ser explicados por processos naturais, nomeadamente a interacção água – rocha, havendo necessidade de considerar influências antrópicas. Não obstante a proximidade ao mar, a mineralização das águas subterrâneas em estudo não parece estar condicionada de forma significativa pelos sais marinhos, quer através de aerossóis atmosféricos, quer por meio da intrusão salina.

Em síntese, as águas do aquífero livre em estudo apresentam, de um modo geral, elevado perigo de salinização dos solos e mostram-se pouco adequadas à prática agrícola. A adopção de boas

práticas agrícolas, concretamente as relacionadas com a fertilização dos solos, poderia reverter o processo de degradação da qualidade das águas subterrâneas, sem impacto significativo sobre a produtividade agrícola. Além disso, a alteração da textura quase exclusivamente arenosa dos solos, pela adição de componentes mais finos, aumentaria a capacidade da reserva utilizável, diminuindo a frequência da rega e a quantidade de água gravítica.

## Bibliografia

CÂMARA MUNICIPAL DA PÓVOA DE VARZIM (2000). *Plano de Urbanização de Aguçadoura*. Relatório do Estudo Prévio. Póvoa de Varzim.

CARDOSO, A. (2007). *Litoral Poveiro: perspectiva ambiental*. Coleção “ Na linha do horizonte – Biblioteca Poveira” 15. Câmara Municipal da Póvoa de Varzim. Setembro de 2007. 158p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXERCITO (1997). *Carta Militar de Portugal, 1:25 000, folha nº 82 (Póvoa de Varzim)*.

COSTA, M.A. (1987). *Aguçadoura e campos em masseira: dinâmica da relação entre o sistema de habitat e o sistema produtivo*. Seminário de Pré – Profissionalização. Tema 4. “Paisagem e o Povoamento rural na região norte”. FAUP.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. (1983). *Hidrologia Subterrânea*. Segunda edição, Ediciones Ómega, S.A., 1095 pp.

DAVIS, S.N.; DE WIEST, R. (1971). *Hidrogeologia*. Ed. Ariel, Barcelona, 563 pp.

FBO; INAG (1999). *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Caminha – Espinho*. Elementos complementares. Fevereiro de 1999.

INIAP – LQARS (2006). *Manual de fertilização das culturas*. INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. Lisboa. 282 pp.

JUNTA DE FREGUESIA DA ESTELA (2009). *Estela, Terra e Mar*. Junta de freguesia da Estela.

LENCASTRE, A; FRANCO, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*. 2ª Edição revista. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Abril de 1992. 451 pp.

MELO, M.M. (1992). *Masseiras: um sistema agrícola criado em areias de duna*. Trabalho de fim de curso, Universidade de Évora.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2005). *Aplicação de práticas agrícolas para redução da lixiviação de nitratos na Zona Vulnerável do aquífero livre de Esposende e Vila do Conde*. Projecto AGRO 35. Relatório Geral. Parte 1. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento local e das Pescas. Abril de 2005. 152 pp.

REIMANN, C.; DE CARITAT, P. (1998). *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 398 pp.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, 682 pp.

TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A. C. (1965). *Notícia explicativa da folha 9 – A (Póvoa de Varzim) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 47 pp.