



## IX-032 - ESTADO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ORIGEM SUBTERRÂNEA NO CONCELHO DE ALCOCHETE COM UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS SIG

### **Victor Cavaleiro<sup>(1)</sup>**

Prof. Catedrático, Investigador do GeoBioTec, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior.

### **Claudio Casinhas<sup>(2)</sup>**

Técnico Superior, Divisão de Obras Municipais e Rede Viária, Câmara Municipal de Alcochete. Doutorando em Engenharia Civil.

### **António Albuquerque<sup>(1)</sup>**

Prof. Auxiliar, Investigador Colaborador do GeoBioTec, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior.

### **António Carvalho<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior. Doutorando em Engenharia Civil.

### **Flora Silva<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança. Doutoranda em Engenharia Civil

### **Sanderson A. M. Leitão<sup>(4)</sup>**

Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Engenheiro Agrícola, Presidente da CTCT-CNRH, Coordenador de Recursos Hídricos, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI/Seped).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Edifício 2 das Engenharias – Calçada Fonte do Lameiro – Covilhã - CEP: 6200-001 - Portugal - Tel: +351 (275) 319700 - e-mail: [cavaleiro@ubi.pt](mailto:cavaleiro@ubi.pt); [ajca@ubi.pt](mailto:ajca@ubi.pt); [antonio.j.j.carvalho@gmail.com](mailto:antonio.j.j.carvalho@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Largo de S. João – Alcochete – CEP: 2894-001 - Brasil - Tel: +351 (21) 2348600 - e-mail: [claudiocasinhas@gmail.com](mailto:claudiocasinhas@gmail.com)

**Endereço<sup>(3)</sup>:** Campus de Santa Apolónia - Apartado 1134 - 5301-857 Bragança – Portugal - Tel: +351 (273) 303000 - e-mail: [flora@ipb.pt](mailto:flora@ipb.pt)

**Endereço<sup>(4)</sup>:** MCTI – Esplanada dos Ministérios, bloco E, sala 233 - Brasília - DF - CEP: 70.067-900 - Brasil - Tel: + 55 (61) 3317.7612 / 8570 - e-mail: [sanderson.leitao@mct.gov.br](mailto:sanderson.leitao@mct.gov.br)

## RESUMO

A maior parte da água necessária para atividades domésticas, agrícolas, lúdicas e industriais no concelho de Alcochete (Portugal) provêm de origens subterrâneas. Contudo, subsistem dúvidas sobre o estado da sua qualidade e a sua aptidão para as utilizações atuais. O estudo da hidrogeoquímica permite estabelecer relações entre o meio aquoso e o meio geológico, refletindo a influência da litologia local e dos solos na qualidade da água. Permite, ainda, determinar sentidos de escoamento, áreas de recarga e descarga e conhecer unidades aquíferas, bem como identificar focos de poluição e estabelecer medidas para a utilização sustentável da água.

Foram recolhidas amostras em 67 captações utilizadas como origens de água para várias utilizações. Dada a quantidade e complexa informação que foi necessário recolher, manusear e interpretar, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi de grande utilidade para georreferenciar dados, criar bases de dados relacionais e gerar cartas de aptidão para a utilização das águas subterrâneas. As águas captadas em poço, essencialmente do tipo cloretadas cálcicas, na generalidade, não apresentam qualidade mínima para serem captadas para produção de água para consumo humano, enquanto que 70,7% das origens de águas oriundas de furos, essencialmente cloretadas sódicas, apresentam qualidade mínima para aquela utilização. Ambos os tipos de água apresentam qualidade para utilização na rega agrícola, mas poucas amostras cumprem os valores recomendados para esta utilização. Assim, é urgente a implementação de uma estratégia de gestão dos recursos hídricos no concelho, afim de melhor proteger estas origens de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas subterrâneas, qualidade da água, SIG.



## INTRODUÇÃO

O concelho de Alcochete situa-se na margem esquerda do rio Tejo, tem uma área de 128,5 km<sup>2</sup> e insere-se na Área Metropolitana de Lisboa. O uso do solo está muito fragmentado, coexistindo retalhos de áreas edificadas, intercaladas com áreas de parcelas de culturas anuais ou permanentes e extensas áreas de coberto arbóreo e arbustivo com graus de intervenção humana muito variável. Os recursos hídricos são tão importantes para o desenvolvimento do concelho que se torna indispensável inventariá-los, caracterizá-los de forma a implementar um sistema de gestão mais racional e encontrar um abastecimento de água adequado ao município, preservando acima de tudo a sua qualidade.

A bacia sedimentar dos rios Tejo e Sado é constituído por dois sistemas aquíferos distintos. Um inferior que inclui os aquíferos que ocorrem nas formações calcário-detríticas do Burdigaliano e Helveciano inferior e no complexo argilo-detrítico do Miocénico médio e superior do tipo cativo, registando rendimentos específicos da ordem dos 3 a 8 l/s e existindo captações com caudais variando de 40 a 100 l/s, e com valores de transmissividade da ordem dos 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s, variando os coeficientes de armazenamento entre 3x10<sup>-4</sup> e 7x10<sup>-4</sup> (Rodrigues *et al.*, 1989). O segundo sistema aquífero corresponde a formações do Pliocénico e do Quaternário (aluviões e terraços fluviais) e são do tipo livre. As espessuras destes aquíferos são variáveis e por vezes difíceis de definir, não ultrapassando normalmente os 120 m. A transmissividade varia entre 1,5x10<sup>-2</sup> a 3x10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s e o coeficiente de armazenamento entre 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-3</sup> (Rodrigues *et al.*, 1989).

Os aluviões ocupam o fundo dos vales largos e pouco profundos, fundamentalmente do denominado Rio das Enguias. Estão classificados como Aluviões Quaternários Antigos (A11) e Aluviões Quaternários Recentes (A12). A espessura destes materiais é muito variável, podendo atingir os 60 metros como apontam as sondagens geotécnicas e hidrogeológicas realizadas para as fundações da Ponte Vasco da Gama (INETI, 2005). A formação de Santa Marta pertencente ao Pliocénico, é das unidades mais representativas da área em estudo e das zonas envolventes ao concelho de Alcochete. A sua composição são areias de calibre variável de finas a grosseiras pouco consolidadas, quase sempre arcóscicas com estratificação entrecruzada, aparecendo leitos de argila acinzentada. A cor é variável, desde o branco (areias de Coima) até ao vermelho e amarelo de Alcochete. A espessura é variável, atingindo cerca de 320m de profundidade em Pinhal Novo, decrescendo para Norte junto ao litoral, onde não ultrapassam os 40 metros.

De acordo com Simões (1998), a orientação da fracturação e deformação dos estratos parecem evidenciar a existência de dois episódios tectónicos distintos. Um o mais antigo, onde a fracturação segue uma orientação predominantemente NW-SE, e outro mais recente, onde a fracturação segue uma orientação NE-SW. Este último coincide com a inclinação do troço atual do rio Tejo e com a orientação das falhas de Benavente. Já Pais *et. al* (2006), refere, na área de estudo, que as principais macro-estruturas presentes são a denominada falha do “Gargalo do Tejo” e a falha de Pinhal Novo – Alcochete. Esta última, não apresenta expressão morfológica significativa, uma vez que a topografia local se caracteriza por um relevo de fraca amplitude, correspondendo provavelmente a uma superfície de erosão.

O estudo da hidrogeoquímica permite estabelecer relações entre o meio aquoso e o meio geológico, refletindo a influência da litologia local e dos solos na qualidade da água. Permite, ainda, determinar sentidos de escoamento, áreas de recarga e descarga e conhecer unidades aquíferas, bem como identificar focos de poluição e estabelecer medidas para a utilização sustentável da água.

Dada a quantidade e complexa informação que é necessário recolher, determinar, manusear e interpretar, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é de grande utilidade para georreferenciar dados, criar bases de dados relacionais e gerar cartas de aptidão para a utilização das águas subterrâneas.

Este estudo pretende dar uma contribuição para a avaliação da qualidade da água subterrânea no concelho de Alcochete, onde se tenta colmatar uma falha no que concerne à identificação do tipo de águas disponíveis nesta região e, ao mesmo tempo, alertar para a possibilidade de contaminação e degradação da qualidade dos aquíferos, tendo em atenção que são sistemas vulneráveis para os quais é imperioso adaptar-se políticas preventivas, como a planificação da localização das captações, restrição do uso dos solos e monitorização da qualidade das águas.



## MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira fase do trabalho envolveu a caracterização da zona de estudo e a identificação de origens de água. Utilizou-se, para o efeito, informação cartográfica (extratos de cartas militares à escala 1:25000), cartas de ocupação e uso do solo, e elementos sobre a geomorfologia, geologia, tectónica e hidrogeologia (“*Carta Geológica de Portugal*”, folha 34, INETI (2005), escala 1:50000, bem como informação recolhida no Instituto Geológico e Mineiro de empresas de sondagens que efetuaram trabalhos na área de estudo). Foi gerada uma carta com o modelo digital do terreno (escala 1:100000), bem como uma nova carta de ocupação do solo para a área de estudo, tendo por base o software *ArcGis v.9.0*.

Simultaneamente, foram recolhidas informações sobre as captações registadas no concelho de Alcochete e suas características (caudais características físicas, químicas e microbiológicas existentes) e principais utilizações. A partir destes dados foram selecionadas 67 captações (26 poços e 41 furos) que foram georreferenciadas (Figura 1), bem como a definição de um programa de amostragem para as captações com menos dados disponíveis. A campanha de recolha de amostras envolveu a recolha quinzenal de amostras durante 4 meses para determinação dos seguintes parâmetros: nível de água, alcalinidade, bicarbonatos, cálcio, cloretos, cobre, chumbo, crómio, condutividade eléctrica, dureza, ferro, fosfatos, magnésio, mercúrio, níquel, nitratos, oxigénio dissolvido (OD), potássio, pH, potencial redox (ORP), resistividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos (STD), sódio, sílica, sulfatos, e temperatura. A colheita das amostras foi efetuada através de bombeagem (após 15 minutos de extração) utilizando para o efeito frascos de polietileno esterilizados. Todas as análises foram feitas de acordo com o métodos standards (APHA-AWWA-WEF, 1999).

Os resultados dados foram interpretados do ponto de vista qualitativo, tendo igualmente sido realizada uma análise estatística com utilização de histogramas de distribuição de valor. Elaboraram-se cartas de teores totais para os diversos parâmetros através do software *ArcGIS v.9.0*, de forma a ser possível efetuar uma comparação quantitativa e averiguar a existência de correlações em termos espaciais.

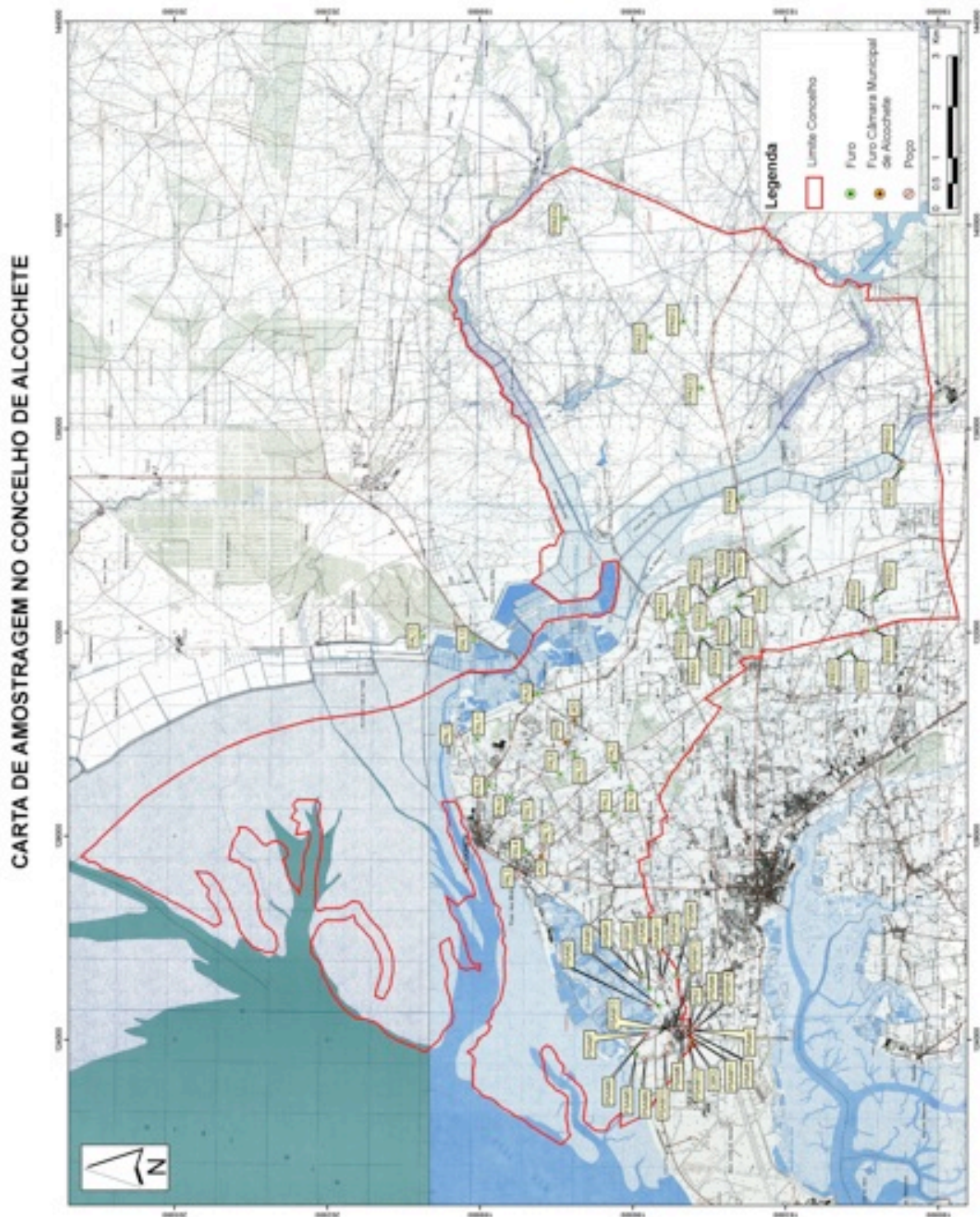
Finalmente, realizou-se um estudo hidrológico com dados de precipitação, temperatura e radiação da estação udométrica/meteorológica de Alcochete, para o período compreendido entre o ano hidrológico de 1931/32 até 2004/05.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A zona de estudo, segundo o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), integra-se na grande Unidade Hidrogeológica da Bacia do Tejo – Sado. De acordo com o estudo *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental* (Almeida *et al.*, 2000), foram considerados nesta unidade quatro sistemas aquíferos: Sistema Aluvionar do Tejo, Margem Direita, Bacia de Alvalade e Margem Esquerda, da qual faz parte toda a área investigada.

O modelo conceptual elaborado para a Península de Setúbal, pelo projeto PNUD/POR/77/06, considerava apenas um aquífero freático separado por um aquífero semi-confinado. Admitia-se que, ao contrário do aquífero superior no qual se considera o estuário do Tejo, como a principal zona de descarga, o aquífero mais profundo prolonga-se sob o estuário do Tejo, através do aquífero situando-se a principal descarga a Oeste no Oceano.

O aquífero é constituído por várias camadas porosas, em geral confinadas ou semi-confinadas, resultantes da complexidade estrutural e alternância litológica. Os sedimentos do Pliocénico constituídos quase exclusivamente por areias com intercalações lenticulares de argilas, constituem a principal unidade hidrogeológica da zona. Contudo, é de considerar o topo desta formação Pliocénica constituída por materiais detríticos mais recentes, que se caracteriza por um aquífero livre e constitui a segunda unidade hidrogeológica presente na zona, atingindo no máximo 60 metros de profundidade.



**Figura 1: Carta com localização das captações.**

O estudo da precipitação permitiu concluir que os meses de maior pluviosidade são Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro com 55% do valor total anual. Ao invés, os de menor precipitação são os de Junho, Julho, Agosto e Setembro, apresentando apenas 8% de contribuição para a precipitação anual. Os dados de temperatura indicam que a zona de estudo apresenta um clima temperado, com temperatura média anual de 16.1 °C, e temperaturas mínimas e máximas de 9.8 °C e 22.8 °C respectivamente.

A partir dos dados de temperatura, radiação e precipitação (P), determinou-se a evapotranspiração potencial (ETP), tendo sido utilizado o método de Thornthwaithe (Lencastre e Franco, 2003), cujos resultados são apresentados na Tabela 1. A partir destes valores, foi então calculado o balanço hidrológico para a área em estudo (Tabela 2 e Figura 2).

**Tabela 1: Evapotranspiração potencial (ETP) para a zona de estudo.**

| Parâmetro             | JAN     | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT  | NOV  | DEZ  |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| T [°C]                | 9.8     | 10.9 | 13.0 | 14.6 | 17.2 | 20.6  | 22.4  | 22.8  | 21.0  | 16.9 | 13.3 | 10.5 |
| i                     | 2.76    | 3.24 | 4.23 | 5.04 | 6.46 | 8.48  | 9.63  | 9.89  | 8.73  | 6.29 | 4.38 | 3.07 |
| ETP <sub>0</sub> [mm] | 27.8    | 33.5 | 45.8 | 56.2 | 75.1 | 103.2 | 119.7 | 123.5 | 106.8 | 72.8 | 47.7 | 31.4 |
| K                     | 0.80    | 0.89 | 0.99 | 1.10 | 1.20 | 1.25  | 1.23  | 1.15  | 1.04  | 0.93 | 0.83 | 0.78 |
| ETP [mm]              | 22.2    | 29.8 | 45.3 | 61.8 | 90.1 | 129.0 | 147.2 | 142.0 | 111.1 | 67.7 | 39.6 | 24.5 |
| I                     | 72.20   |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |
| a                     | 1.76657 |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |

**Tabela 2: Balanço hidrológico sequencial mensal (valores em mm).**

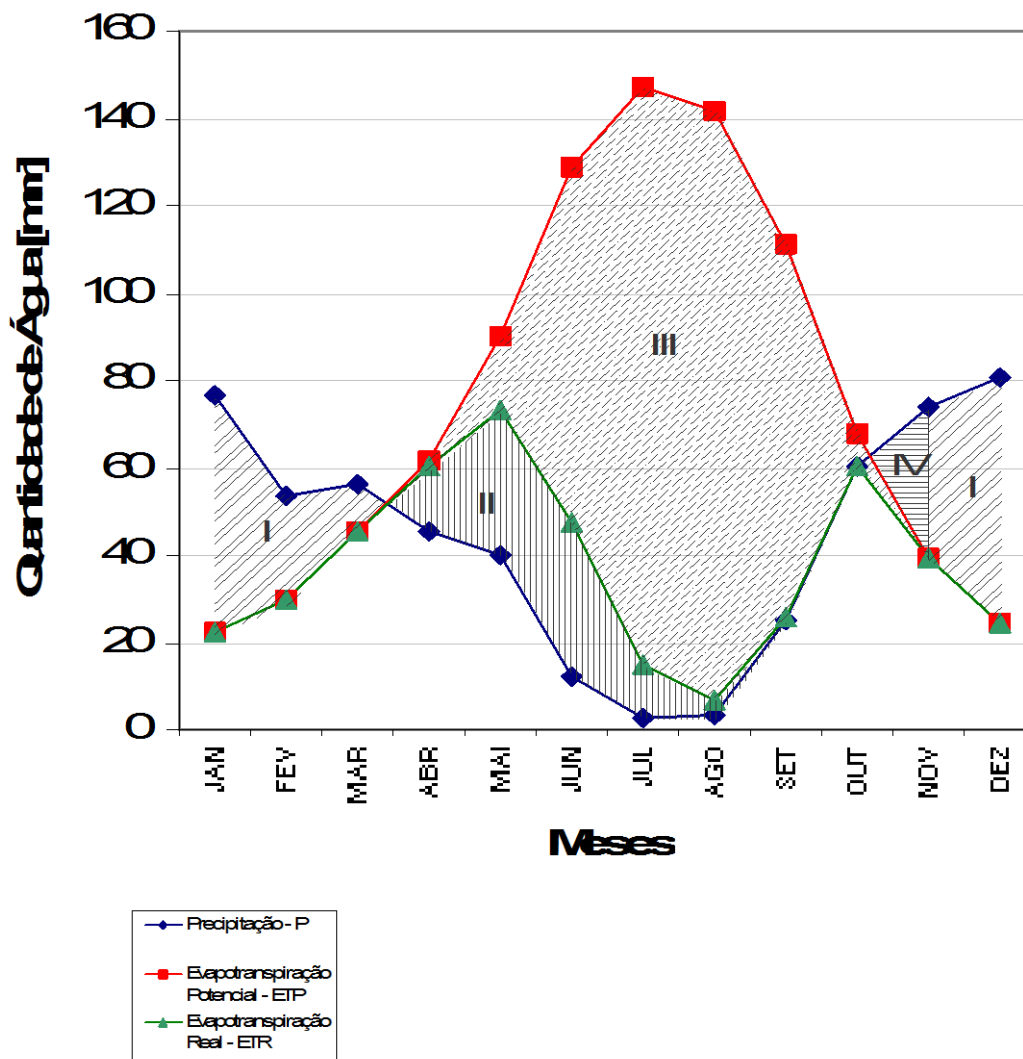
| Parâmetro | JAN    | FEV    | MAR   | ABR    | MAI    | JUN     | JUL     | AGO     | SET     | OUT     | NOV   | DEZ   | Ano    |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| 1) P      | 76.30  | 53.40  | 56.00 | 45.10  | 39.80  | 12.30   | 2.50    | 3.70    | 25.10   | 60.40   | 74.10 | 80.60 | 529.3  |
| 2) ETP    | 22.23  | 29.85  | 45.32 | 61.82  | 90.08  | 129.05  | 147.23  | 142.03  | 111.08  | 67.67   | 39.56 | 24.48 | 910.4  |
| 3) P-ETP  | 54.07  | 23.55  | 10.68 | -16.72 | -50.28 | -116.75 | -144.73 | -138.33 | -85.98  | -7.27   | 34.54 | 56.12 | -381.1 |
| 4) L      | -      | -      | -     | -16.72 | -67.00 | -183.74 | -328.48 | -466.81 | -552.78 | -560.06 | -     | -     | -560.1 |
| 5) Sso    | 100.00 | 100.00 | 91.00 | 84.61  | 51.17  | 15.92   | 3.74    | 0.94    | 0.40    | 0.37    | 34.91 | 91.03 | -      |
| 6) ΔSso   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | -6.39  | -33.43 | -35.25  | -12.18  | -2.81   | -0.54   | -0.03   | 34.54 | 56.12 | 0.0    |
| 7) ETR    | 22.23  | 29.85  | 45.32 | 51.49  | 73.23  | 47.55   | 14.68   | 6.51    | 25.64   | 60.43   | 39.56 | 24.48 | 441.0  |
| 8) DH     | -      | -      | -     | 10.32  | 16.85  | 81.50   | 132.56  | 135.52  | 85.44   | 7.25    | -     | -     | 469.4  |
| 9) SH     | 54.07  | 23.55  | 10.68 | -      | -      | -       | -       | -       | -       | -       | 0.00  | 0.00  | 88.3   |

P: precipitação, ETP: evapotranspiração, L: perda potencial de água, Sso: valores mensais de armazenamento de água no solo; DH: défice hídrico; SH: superavit hídrico

A zona I (Novembro a Março) corresponde a excedentes, que se traduzirá em escoamento superficial e infiltração. A zona II (Abril e Maio) corresponde à diminuição de reservas de água no solo, enquanto que a zona III (Maio a Outubro) representa o período de défice hídrico. Finalmente, a zona IV (Outubro a Novembro) representa a restituição das reservas.

Os resultados da campanha de amostragem (características físicas e químicas nas 67 origens de água apresentadas na Tabela 3) foram analisados em termos da sua qualidade mínima para ser utilizada para produção de água para consumo humano e para utilização em rega agrícola, tendo em atenção os valores máximos admissíveis (VMA) e valores máximos recomendados (VMR) apresentados no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto (sobre qualidade da água para diferentes usos), tendo as origens com qualidade mínima para serem utilizadas sido assinaladas a cinzento (ver Tabela 3).

As águas captadas em poços, correspondem, na sua maioria, a águas cloretadas cálcicas, embora em alguns pontos as suas fácies hidroquímicas já correspondam a águas bicarbonatadas cálcicas. As águas captadas em furos podem considerar-se águas cloretadas sódicas, surgindo alguns pontos com fácies hidroquímicas correspondentes a águas cloretadas cálcicas e águas bicarbonatadas sódicas.



**Figura 2: Expressão gráfica do balanço hidrológico para a zona em estudo.**

De um modo geral, verifica-se que apenas dois poços (PSAM9 e PPAS1, 7,6% do total dos pontos de amostragem em poço) apresentam uma qualidade mínima (*i.e.*, cumprem todos os VMA definidos para cada parâmetro de qualidade) que permite a sua captação para produção de água para consumo humano, enquanto que o número de furos que podem ser utilizados diretamente para aquele fim ascende a 29 (70,7% do total de pontos de amostragem em furo). Esta diferença era esperada dada a maior exposição dos poços à contaminação antropogenia. No entanto, existem 12 furos que apresentam contaminação significativa em termos de nitratos e ferro, o que reflete a vulnerabilidade dos aquíferos mais profundos para serem contaminados.

Em relação à utilização da água para rega agrícola, verifica-se que nenhuma das origens de água viola os VMA para cada parâmetro. No entanto, olhando para os VMR, verifica-se que apenas um poço (PS2) e quatro furos (PS2, FREG2, FREG3 e FPAS8) apresentam qualidade recomendada para rega. Os parâmetros que apresentam maior preocupação são a condutividade, cloretos e nitratos nos poços, e o pH e nitratos nos furos. Assim, o risco de salinidade (valores de condutividade, SDT e SAR) e toxicidade (Na e Cl) pode aumentar em dez poços e quatro furos. Os valores do índice de adsorção de sódio (SAR) indicam que doze poços e a generalidade dos furos apresentam uma água que apresenta risco de sodicidade para o solo, podendo, no futuro, tornar-se inapropriadas para irrigação.



Verificam-se concentrações elevadas de sílica nas captações profundas (com um valor médio de 27 mg/L e um máximo de 48 mg/l na zona de Camarate – Bela Vista). Em 23 poços (88,5% das amostras) e 7 furos (17% das amostras) a concentração de nitratos foi superior a 50 mg/L, VMA para a água poder ser captada para produção de água para consumo humano e VMR para rega agrícola de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98. No poço PREG1 registou-se a concentração mais elevada (760 mg/L). Estes resultados mostram a vulnerabilidade dos aquíferos para serem contaminados com nitratos que têm origem na fertilização dos campos agrícolas e da descarga de efluentes de agropecuárias em linhas de água e até no solo.

As concentrações de metais pesados não apresentam risco para a utilização da água, embora se tenham registado para o cobre valores acima do VMA (produção de água para consumo humano) em cinco poços e dois furos.

Assim, a generalidade das águas dos poços só pode ser utilizada para rega agrícola e algumas origens mais profundas (furos) denotam já uma vulnerabilidade preocupante à contaminação por nitratos, sendo urgente a implementação de medidas para o controlo da lixiviação daquele elemento, nomeadamente o controlo da utilização de fertilizantes na agricultura ou a descarga de efluentes em cursos de água ou no solo.







## CONCLUSÕES

O concelho de Alcochete apresenta disponibilidade de águas subterrâneas que poderiam satisfazer os usos mais correntes (rega agrícola e abastecimento público e industrial). Contudo, a generalidade das águas provenientes de poços não apresentam qualidade físico-química mínima para a produção de água para abastecimento, essencialmente por estarem contaminadas com nitratos e cloretos, enquanto que a generalidade das águas captadas em furo apresenta qualidade mínima para esta utilização. Ambas as origens apresentam qualidade físico-química mínima para serem utilizadas para rega (cumprem os valores máximos admissíveis para todos os parâmetros físico-químicos analisados), contudo, a generalidade dos parâmetros físico-químicos apresenta valores superiores aos máximos recomendados para esta utilização. Assim, afim de garantir a utilização sustentável destes recursos, é essencial a implementação de medidas que protejam as origens de água, nomeadamente para os aquíferos livres.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA C., MENDONÇA M., JESUS M., GOMES A. Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, Lisboa, 2000.
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, EUA, 1999.
3. LENCASTRE A., FRANCO F. M. Lições de Hidrologia. Fundação Armando Lencastre, Lisboa, Portugal, 2003.
4. PAIS J., MONIZ C., CABRAL J., CARDOSO J., LEGOINHA P., MACHADO S., MORAIS M., LOURENÇO C., RIBEIRO M., HENRRRIQUES P., FALÉ P. CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL. Notícia explicativa da folha 34-D, 2ª EDIÇÃO. INETI, Lisboa. 2006.
5. RODRIGUES J. D. Caracterização Sumária dos Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal. MONOGRAFIA, LNEC, Lisboa, Portugal, 1989.
6. SIMÕES M. M. Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Lisboa, Portugal, 1998. Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa 1998.