

4.2 Caracterização Hidrogeológica

As características geológicas das formações que ocorrem numa qualquer região, constituem o principal factor que condiciona a possibilidade de armazenarem de água e permitirem que ela circule nesse ambiente subterrâneo. Ou seja, a Geologia é o aspecto mais importante na consideração de unidades hidrogeológicas e na definição de formações aquíferas, boas ou pobres, aquíferos, aquíferos, etc.

Uma simples observação da cartografia geológica da área referente aos onze municípios da AMRia, permite destacar nitidamente duas unidades hidrogeológicas separadas pelo grande alinhamento tectónico Porto –Tomar:

- a Leste um conjunto de formações metassedimentares e eruptivas do Maciço Hespérico - ambientes de baixa permeabilidade, com escassa aptidão aquífera, muito pobres, em geral livres, descontínuos, de produtividade muito baixa, meio que é tradicionalmente designado por CRISTALINO. Desenvolve-se pela parte nascente dos concelhos de Ovar, Estarreja, praticamente a totalidade dos concelhos de Albergaria-a-Velha e Sever do Vouga, e, mais a Sul, Águeda e uma estreita faixa do concelho de Oliveira do Bairro.
- a Oeste formações sedimentares da Orla Mesocenozóica Ocidental - do ponto de vista hidrogeológico são verdadeiros aquíferos, de boa produtividade e com marcada importância regional. Desenvolve-se na faixa mais litoral dos concelhos de Ovar e Estarreja, na totalidade dos concelhos de Murtosa, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira e a parte mais a Oeste do concelho de Oliveira do Bairro.

4.2.1 Maciço Hespérico

4.2.1.1 *Cristalino*

Caracterização hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica do "cristalino" da bacia do rio Vouga baseia-se em relatórios de construção de captações de água de qualidade medíocre ou mesmo má, com dados nem sempre fiáveis, o que, por si só, condiciona de forma drástica esta análise. Não chega a uma centena o conjunto de relatórios analisados que foram obtidos na ex-Direcção Regional do Ambiente-Centro e recolhidos em outras fontes.

Tendo em conta critérios essencialmente geológico/litológicos, foram considerados no cristalino os seguintes grandes grupos:

- Rochas eruptivas (principalmente granitos e tipos litológicos afins);
- Rochas metamórficas (nomeadamente xistos).

São formações constituídas por tipos litológicos duros, onde a água subterrânea se armazena e flui em fracturas, superfícies de diaclasamento ou de xistosidade, quando a rocha se apresenta sã. Quando são importantes os fenómenos de alteração, essas funções relativas à água subterrânea podem ter lugar entre os poros intergranulares resultantes dessa alteração. Frequentemente os dois tipos hidráulicos

coexistem, havendo trocas entre as fracturas e os poros intergranulares.

Apesar das condições manifestamente desfavoráveis, alguns concelhos recebem certa contribuição de água com origem subterrânea do cristalino para assegurar os respectivos abastecimentos. Por outro lado, verifica-se que muitíssimos abastecimentos individuais, principalmente nas áreas rurais, são garantidos por exploração de captações instaladas no cristalino (poços, furos, minas), para além de uma importante parcela dos regadios tradicionais.

São raros os casos reconhecidos de captações no cristalino com produtividades elevadas: com os dados disponíveis pode ver-se que apenas há uma captação com o caudal de 8 L/s, mas deve advertir-se que se trata de caudal obtido em ensaio e não de caudal de trabalho.

Para uma avaliação global das aptidões aquíferas dos dois grandes tipos litológicos ocorrentes para Leste do alinhamento Tomar-Porto, foi efectuado um estudo comparativo das respectivas produtividades, representadas não pelo caudal de exploração, mas pelo caudal de ensaio constante nos relatórios de construção, uma vez que a informação sobre os caudais de trabalho das captações aqui tidas em conta é escassa. Convém ainda alertar que raramente há indicações sobre o número de captações improdutivas, lacuna que compromete seriamente esta análise.

No Quadro 4.6 apresentam-se as estatísticas principais que caracterizam estes grupos. Em termos de produtividade pode deduzir-se que as captações que exploram os xistos são melhores.

Quadro 4.6 – Principais estatísticas das rochas eruptivas e metamórficas.

	Volume amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Coef. Variação (%)	Q ₁	Q ₃	Minim o	Máxim o
Rochas eruptivas (granitos)	70	0,5	0,3	1,0	196,6	0,15	0,5	0,02	8,0
Rochas metamórficas (xistos)	27	1,1	0,67	1,4	120,7	0,67	1,0	0,6	6,9

Apresenta-se na Figura 4.6 o respectivo gráfico comparativo entre as duas distribuições empíricas.

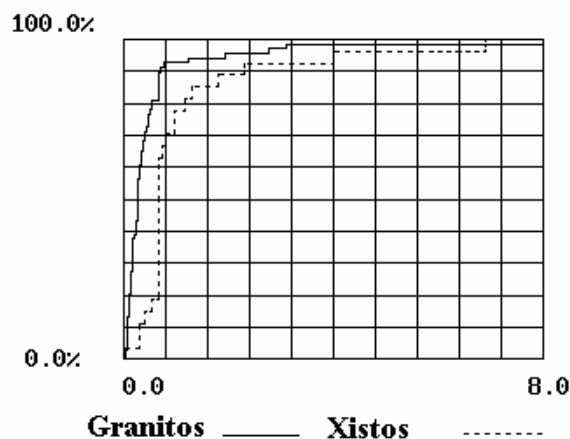


Figura 4.6 - Distribuição empírica das produtividades de granitos e xistos

Análise da piezometria e funcionamento hidráulico.

Os dados de piezometria disponíveis são muito dispersos e não permitem a construção de uma rede de fluxo que seja significativa face à área total ocupada pelas formações do Maciço Hespérico nesta zona da Bacia do Vouga. Os níveis correspondem ao próprio nível freático, já que, do ponto de vista hidráulico, o cristalino tem o comportamento de aquífero livre.

Pode dizer-se que os níveis freáticos acompanham, grosso modo, a topografia. Nas zonas de vale a profundidade da zona saturada é muito menor que nas zonas mais elevadas: da ordem dos 3 a 5 metros nas primeiras e a mais de 15 metros nas segundas.

As oscilações sazonais são do mesmo sentido em ambos os casos, mas com valores diferentes: nos vales a variação entre os períodos húmidos e secos situa-se entre os 2 e os 5 metros, ao passo que nas zonas mais altas a variação é maior, havendo casos que superam os 15 metros. Esta variação não depende apenas da recarga infiltrada, pois está muito influenciada pela porosidade da formação receptora. O cristalino apresenta, normalmente, valores baixos de porosidade eficaz, embora em áreas de forte tectonização a porosidade secundária possa ser já considerável.

O funcionamento hidráulico é muito simples: recarga pelas precipitações, escoamento superficial e hipodérmico importantes, armazenamento e fluxo subterrâneos deficientes, quer devido à natureza dos terrenos e condições de baixa permeabilidade, quer à delgada espessura do manto de alteração.

As linhas de fluxo direccionam-se a favor da rede hidrográfica, com pequenas excepções muito localizadas perto de emergências sem grande expressão. Mesmo nos períodos húmidos, quando os níveis nos rios se encontram altos, o efeito de recarga rio/formações do cristalino é efémero. O mesmo não se passa nos terraços aluvionares adjacentes aos rios, completamente dependentes do nível e dos caudais do rio.

4.2.1.2 Terraços Aluvionares

Estes terraços encontram-se quase sempre enquadrados no Maciço Hespérico, dispersos por diferentes pontos e, para além dos que se vão referir, muitos outros haverá e que não conhecemos ou que nunca foram explorados. São de pequena dimensão instalados nos leitos de alguns cursos de água e deles directamente dependentes. Embora de formação geológica recente, serão aqui considerados apenas por uma questão de mera sistemática.

A sua importância reside no facto de proporcionarem a instalação de captações de grande produtividade que, em certas zonas, são quase a única origem de água para abastecimento público. Por outro lado, porque possibilitam explorações de volumes consideráveis que são “exportados” para outras regiões, permitem que se possa diminuir ou mesmo anular a sobre-exploração das unidades aquíferas dessas regiões, como é o caso do Carvoeiro.

O tipo de captação que mais se utiliza nestas unidades é um poço com drenos, mas também há casos de furos verticais que têm excelentes rendimentos. No entanto,

neste tipo de terraços ligados a rios, a drenagem na horizontal é particularmente adequada.

Os aproveitamentos mais importantes situam-se nos locais e rios a seguir indicados:

- Assequins - Águeda, em terraço adjacente ao rio Águeda, havendo dois poços com drenos que, em conjunto, permitem a extracção de 150 L/s;
- Ponte da Redonda, Águeda;
- Macinhata, parte Norte do concelho de Águeda, poço com dreno em aluviões do rio Vouga, desconhecendo-se o caudal de exploração;
- Moinho da Ribeira, em Salreu-Estarreja, 2 furos de captação que podem explorar cada um 30 L/s de terraço adjacente ao rio Antuã.

Carvoeiro, na parte Norte do concelho de Águeda, onde o terraço fluvial do rio Vouga é explorado por várias captações que, no seu conjunto, podem em condições de rotina debitar o caudal de 600 L/s. Há dois poços com drenos horizontais que, em condições óptimas com o nível do rio alto (período de cheias), foram ensaiados com caudais de 265 L/s e 230 L/s, mas que são utilizados actualmente com caudais de trabalho menores, da ordem de 200 L/s. Foram construídos 5 furos verticais, com diâmetros de 0,5 metros e que, em ensaio, debitaram caudais entre 80 L/s e 50 L/s e actualmente trabalham com caudais idênticos.

Caracterização hidrogeológica

Estes terraços são constituídos, em regra, por areias grosseiras e cascalheiras, com eventuais passagens de areias finas e de lodos, mas de configuração lenticular. Apresentam-se fora do leito menor das linhas de água e ficam submersos em períodos de cheias, mas servem normalmente de “fundo” à própria linha de água. É na zona de meandros que ficam emersos, nomeadamente na convexidade.

São sempre holocénicos, muito recentes, e há casos em que a sua configuração espacial sofre modificações de um ano para outro, como resultado de fenómenos de erosão ou de sedimentação do próprio rio.

Há certas diferenças entre os sedimentos acumulados nestes terraços fluviais nos vários rios, dependendo, obviamente, das litologias predominantes em cada bacia. Quando são abundantes granitos e tipos afins, os sedimentos são mais “limpos”, mais grosseiros e, por conseguinte, com melhores características de permeabilidade. É o caso, por exemplo, do terraço do Carvoeiro. Se predominam os xistos, os clastos são de tamanho inferior e com proporções consideráveis de finos que frequentemente são argilosos, o que confere a esses depósitos piores condições de exploração.

As espessuras podem variar entre 5 e 15 metros e, como se disse anteriormente, de ano para ano a espessura pode sofrer modificações. Junto à linha de água, porém, a espessura diminui no leito menor do rio e adelgaça em direcção às margens.

A característica hidrogeológica mais importante destes depósitos aluvionares é a estreita ligação hidráulica rio/aquífero. Constituem aquíferos livres, limitados por bordos impermeáveis (as duas margens do rio) e por um limite permeável que é o próprio rio.

Dadas as pequenas dimensões destes depósitos, é evidente que a sua capacidade de armazenamento é praticamente insignificante face à recarga induzida a partir do rio para o aquífero quando as captações se encontram em funcionamento.

Apenas se dispõe dos resultados de um ensaio realizado nos poços do Carvoeiro. O valor da permeabilidade que melhor ajusta os dados experimentais a um modelo teórico é de 0,001 m/s, que corresponde a cerca de 86 m/dia (Marques da Silva et al., 1996). Mas valores de 100 m/dia são normais quando os sedimentos se apresentam “limpos”, muito embora desçam significativamente até uma ordem de grandeza ou mesmo algo mais, quando a fracção argilosa é importante e a granulometria é menor. O ensaio põe em evidência que a produtividade das captações é extremamente dependente do caudal do rio, nomeadamente da posição do nível da superfície da água, facto confirmado pela prática do dia a dia.

Funcionamento hidráulico.

Nestes casos é óbvio que o funcionamento hidráulico existente implica que em condições de repouso os níveis piezométricos sejam iguais aos dos rios adjacentes aos terraços. Quando as captações se encontram em exploração, ao constituir-se uma depressão do nível piezométrico centrada no ponto de bombagem, cria-se um gradiente hidráulico que força uma recarga induzida rio – aquífero – captação. A produtividade da captação, para além do valor dos parâmetros hidráulicos dos terraços aluvionares explorados e da eficiência da própria captação, depende justamente deste gradiente. Por esta razão o nível da água no rio e a profundidade da posição da zona drenante, são fundamentais para o bom funcionamento hidráulico do sistema. Após qualquer bombagem a recuperação é rápida.

4.2.2 Orla Mesozóica Ocidental

Como já foi referido, a Orla Mesozóica Ocidental ocupa toda a área a Poente da falha Porto – Tomar, nomeadamente a faixa mais litoral dos concelhos de Ovar e Estarreja, a totalidade dos concelhos de Murtosa, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira e a parte mais a Oeste do concelho de Oliveira do Bairro. Nela podem ser consideradas três grandes conjuntos hidrostratigráficos:

- Formações carbonatadas do Liásico a Norte do Mondego, que constituem o AQUÍFERO CÁRSICO DA BAIRRADA;
- Formações greso-argilosas cretácicas, que configuram o SISTEMA MULTIAQUÍFERO CRETÁCICO; e
- Depósitos sedimentares quaternários, que formam o SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO.

4.2.2.1 Aquífero Cársico da Bairrada

Caracterização hidrogeológica

As formações do Liásico a Norte do Mondego são essencialmente carbonatadas e desenvolvem-se pela parte Sul da área. Têm produtividades por vezes elevadas, como é o caso das captações de Anadia (algumas com caudais da ordem dos 100 L/s) ou dos Olhos da Fervença (concelho de Cantanhede, com poços de 100 e 200

L/s), embora na zona de Oliveira do Bairro sejam nitidamente menores (inferiores a 10 L/s).

Trata-se de aquíferos carsificados e a sua produtividade está directamente relacionada com o maior ou menor desenvolvimento do carso. A vulnerabilidade a contaminações é elevada, dada a facilidade de “entrada” pelo carso.

No caso aqui tratado, este sistema apenas interessa aos concelhos de Oliveira do Bairro e de Águeda (Zona de Fermentelos).

Do ponto de vista hidrogeológico, as unidades liásicas que se apresentam com maior interesse dada a sua produtividade, são as designadas “Camadas de Coimbra” e os “Calcários margosos de Lemedede”. Entre ambos existe um conjunto essencialmente margoso conhecido por “Margas e calcários margosos de Vale das Fontes” e que funciona como aquífero.

- ***Camadas de Coimbra***

É uma formação tipicamente carbonatada, constituída na base por calcários compactos com aspecto de bancos espessos. Na parte superior há alternância dos calcários com margas xistificadas, encimando todo o conjunto camadas de calcários compactos. A NW de Cantanhede, já perto dos Olhos da Fervença, as Camadas de Coimbra apresentam-se em pequenos afloramentos dolomitizados. Pode atingir espessuras da ordem dos 110 m.

É o nível aquífero mais produtivo do Jurássico, principalmente por se encontrar carsificado, por vezes com cavernas de dimensões consideráveis, como acontece na zona da exurgência de Arcos (Anadia), um dos pontos de descarga natural do sistema.

- ***Margas e Calcários Margosos de Vale das Fontes***

Litologicamente este conjunto caracteriza-se pela alternância de margas e calcários margosos, tendo, localmente, bancadas de calcário compacto pouco espesso, margas xistosas ou grumosas. Estas características, associadas à sua espessura da ordem dos 70 metros (embora nem sempre completos, obviamente), conferem ao conjunto condições para ser considerado como aquífero cuja função é a de separar as Camadas de Coimbra dos Calcários de Lemedede, não sendo muito evidente que permita a transmissão de recarga, por fenómenos de drenância, de uma para outra das referidas unidades.

- ***Calcários Margosos de Lemedede***

Constituídos por alternâncias de calcários argilosos, muito compactos, cinzento - amarelados ou esbranquiçados, em bancos mais ou menos espessos, com finos leitos de margas a fazer a separação. Também são conhecidos fenómenos de carsificação, o que estará na base da produtividade exibida. As espessuras máximas andarão por cerca de 50 metros.

- ***Margas Calcárias de S. Gião***

Do ponto de vista litológico é formada por margas, calcários margosos, calcários sublitográficos compactos, calcários margosos nodulares ou compactos com níveis

margosos, ou alternantes com margas cinzentas e margas com intercalações de bancadas finas de calcário margoso. O seu principal papel hidrogeológico é o de constituir o tecto impermeável do sistema, conferindo-lhe características de confinamento. No entanto, para além disso, tem uma grande importância na protecção natural do Jurássico produtivo, já que impede ou pelo menos dificulta a entrada de contaminações.

Esta é das unidades jurássicas mais espessas, com um total de cerca de 300 metros se considerássemos o desenvolvimento completo.

Ainda pertencentes ao sistema do Liásico a Norte do Mondego, devem ser tidas em conta as formações do Dogger, embora sem grande importância hidrogeológica.

São escassos os dados de ensaios obtidos e de qualidade duvidosa, já que há caudais seguramente mal determinados, níveis medidos sem garantia de retorno da água extraída à captação ensaiada, etc. Por outro lado e como é típico de meios cársicos, a dispersão de valores dos parâmetros hidráulicos é elevada, tal como (e, de resto, como consequência de) a produtividade das captações construídas. Efectivamente é normalmente alta a percentagem de insucessos de furos de captação executados ou de furos de baixa produção, mesmo em zonas adjacentes a pontos onde se conseguiram caudais de importância. E quando não há apoio técnico este panorama é ainda pior.

Assim há captações que permitem a extracção de caudais que se podem considerar elevadíssimos, como é o caso das que servem para abastecer o concelho de Anadia (95 L/s e 100 L/s) ao lado de outras localizadas perto e que foram abandonadas por serem praticamente improdutivas. Também na região dos Olhos da Fervença as captações da Câmara Municipal de Cantanhede produzem caudais superiores a 100 L/s, mas em furos executados a distâncias próximas os caudais são muito pequenos, por vezes inferiores a 1 L/s.

Uma análise sumária das características, produtividade e caudais específicos das várias captações incluídas nos relatórios disponíveis, permite esboçar algumas tendências espaciais, não devendo, contudo, ser esquecida a dispersão características dos meios cársicos já referida. Na zona Anadia – Curia encontram-se os furos mais produtivos, a par de poços junto aos Olhos da Fervença. Note-se que em ambos os casos há exurgências importantes do sistema, sendo também evidentes episódios de carsificação notável. Na estreita franja do Liásico que se desenha até Mealhada não se encontram furos de captação de alta produtividade, tal como mais para Norte, já no concelho de Oliveira do Bairro e até Fermentelos. No concelho de Oliveira do Bairro o furo com maior produtividade apresenta um caudal de ensaio de 36L/s, os restantes furos apresentam caudais de ensaio com menos de 10L/s.

As estatísticas calculadas a partir de 62 dados de caudal e a distribuição empírica apresentam-se no Quadro 4.7 e na Figura 4.7.

Quadro 4.7 – Estatísticas calculadas.

Mínimo	Máximo	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação	Mediana	Q1	Q3
0,2	110	11,1	22,5	203,2%	3,2	1,8	8,5

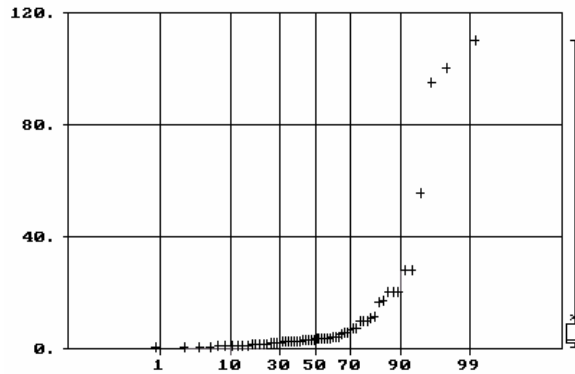


Figura 4.7 - Distribuição cumulativa dos caudais.

Análise da piezometria e funcionamento hidráulico

A partir de 1979, de forma mais ou menos regular (embora num ponto, em Anadia, se fizessem observações desde 1970) os antigos Serviços de Hidrologia (Divisão de Geohidrologia) de Coimbra controlaram a piezometria de alguns pontos do Liásico a Norte do Mondego com medições de periodicidade mensal. A análise da evolução dos níveis piezométricos permite concluir sem grandes dúvidas que:

- não há variações inter-anuais significativas;
- não se nota haver indícios de sobre-exploração;
- as variações correspondem a uma resposta hidrodinâmica à alimentação e à descarga naturais, isto é, subidas a partir dos períodos pluviosos, descidas nos períodos deficitários;
- a resposta aos períodos de entradas parece ser rápida.

Peixinho de Cristo (1985) elaborou o mapa de isopiezas que se apresenta na Figura 4.8, onde se considera a existência de uma divisória de águas subterrâneas, verificando-se descarga no sector ocidental para Oeste, na direcção de Fervença, e para noroeste, na direcção do sistema cretácico; no sector oriental, para o rio Cértima (incluindo a exsurgência de Arcos, perto de Anadia).

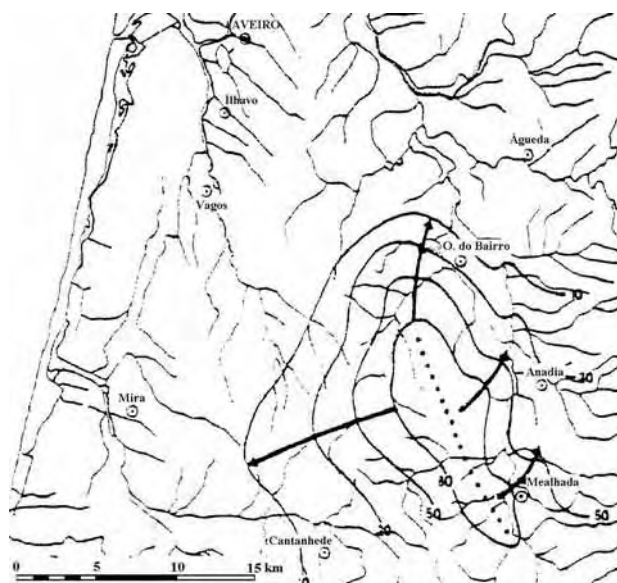


Figura 4.8 - Piezometria do Sistema Cársico da Bairrada (Peixinho de Cristo, 1985).

4.2.3 Sistema Multiaquífero Cretácico

Caracterização Hidrogeológica

O aquífero Cretácico de Aveiro é um sistema aquífero costeiro multicamada que faz parte da designada Bacia Mesocenozóica Ocidental Portuguesa. Esta Bacia apresenta uma sequência estratigráfica descontínua, variando a idade dos sedimentos desde o Triássico Superior às formações do Holocénico. Na zona contemplada neste estudo o basamento é constituído por micaxistos e xistos de idade Proterozóica, embora na zona mais a Sul ocorram formações jurássicas, sempre calcárias, subjacentes e que se apresentaram no capítulo anterior.

Os sedimentos Cretácicos fazem parte de uma espessa sequência subjacente aos depósitos Quaternários e são, na sua maioria de natureza siliciosa, compostos por grés argilosos e/ou siliciosos característicos de ambientes de deposição de transição ou continentais. A única excepção a esta sequência de natureza continental ou de transição é constituída pela deposição, durante a transgressão Cenomaniana, de sedimentos de natureza carbonatada de fácies de plataforma.

No seu conjunto estes sedimentos formam distintos depósitos estratiformes, que definem cinco unidades litoestratigráficas, sendo da mais antiga para a mais moderna:

- C1A – Grés Grosseiros Inferiores (“Belasiano”) (Grés de Palhaça, Requeixo e Carrascal);
- C2 – Formação Carbonatada (Calcários Mamarrosa, Carrajão, Tentúgal);
- C2 – Grés Micáceo (Grés do Furadouro);
- C3 – Grés Grosseiros Superiores (na base, Grés de Oiã e, no topo, Grés de Verba);
- C3 – Arenitos e Argilas de Aveiro, Vagos.

A cartografia simplificada, que se representa na Figura 4.9 contempla estas cinco unidades.

Apresentam, como é natural, diferentes granulometrias e composições mineralógicas, reflectindo-se estas diferenças no seu comportamento hidrogeológico. As unidades mais produtivas e com mais baixos teores de mineralização das águas captadas correspondem ao topo da unidade C1A, toda a unidade C2 e à base da unidade C3. A Formação Carbonatada (unidade C2), embora pouco representativa em espessura, apresenta em grande parte da zona de estudo características hidrogeológicas que permitem também a sua exploração. O topo da unidade C3 devido à sua reduzida permeabilidade é em geral considerado, do ponto de vista hidrogeológico, como aquífero.

A unidade C3 – Arenitos e Argilas de Aveiro, essencialmente argilosa, é praticamente impermeável e cobre o sistema em todo o sector ocidental. Apesar de não “produzir” água, tem grande importância hidrogeológica, porque confere condições de confinamento a todo o sistema que recobre, mas também porque o protege, de forma muito efectiva, da entrada de eventuais contaminações. Realce-se que o

sistema está sob o mar e sob a Ria de Aveiro, ambos de águas salgadas, sem que tenha sido minimamente afectado.

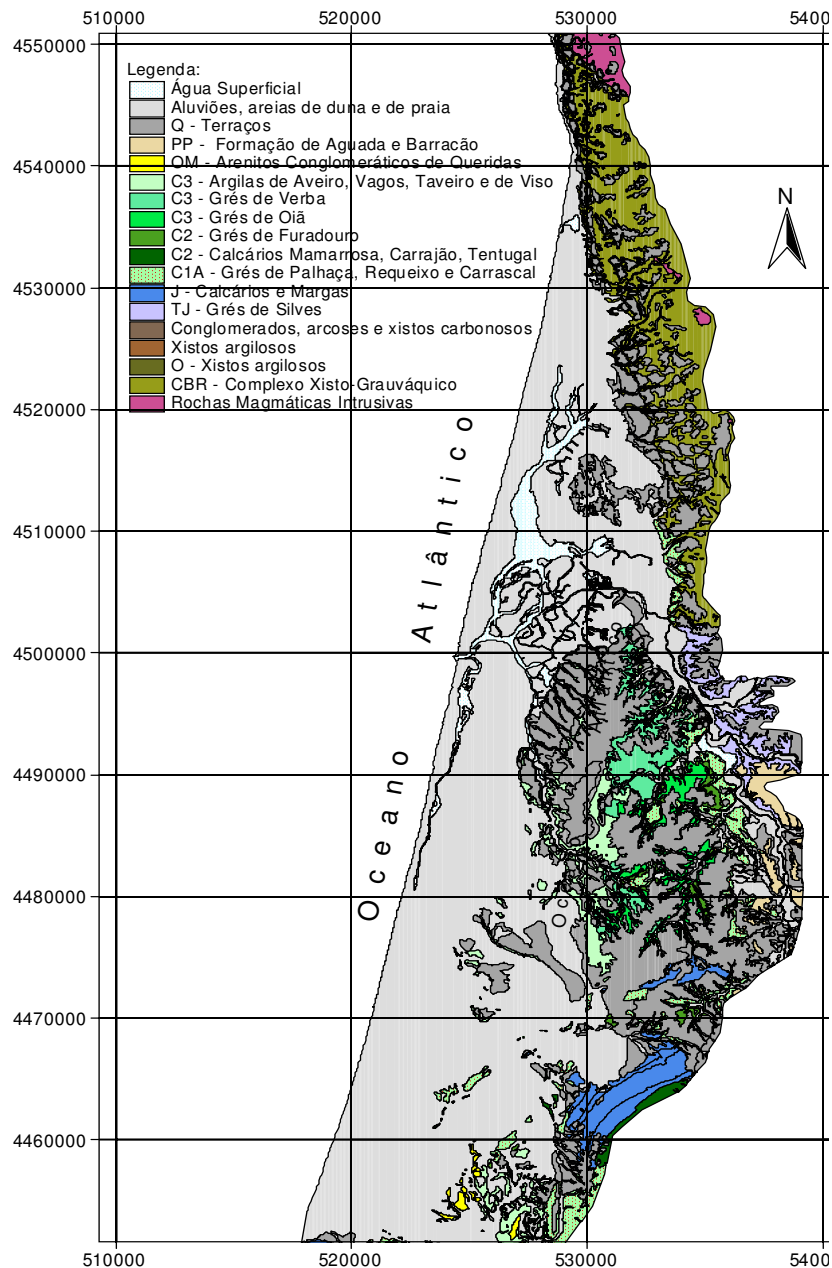


Figura 4.9 - Mapa geológico da zona de estudo (Condoso de Melo, 2002).

As diversas camadas inclinam ligeiramente para NW sob a actual linha de costa. Falhas de direcção aproximadamente N-S afectam na sua totalidade a sequência de sedimentos Cretácicos e compartimentam o aquífero numa parte confinada a Ocidente, e outra não confinada localizada a Sul/ Sudeste na zona de estudo (Figura 4.10). A não existência da camada confinante de Argilas de Aveiro (C3) neste sector Sul/Sudeste do aquífero define uma zona de afloramento do Cretácico hidrogeologicamente produtivo, que constitui a principal zona de recarga do aquífero.

A recarga ao aquífero é deficiente e resulta da infiltração de água da chuva. Foi estimada entre 110 mm a⁻¹, quando calculada com base em estudos de zona não saturada, e 123 mm a⁻¹, com base no método de balanço de cloretos (Condesso de Melo, 2002). Estes valores correspondem a cerca de 10% da precipitação média anual.

No entanto, estes cálculos referem-se à parte não confinada do aquífero e secções transversais baseadas em dados geológicos e geofísicos mostram que falhas N-S podem actuar como barreira à recarga natural da parte confinada do aquífero. Por outro lado, a ser assim, também a protecção à entrada de qualquer contaminante é ainda maior.

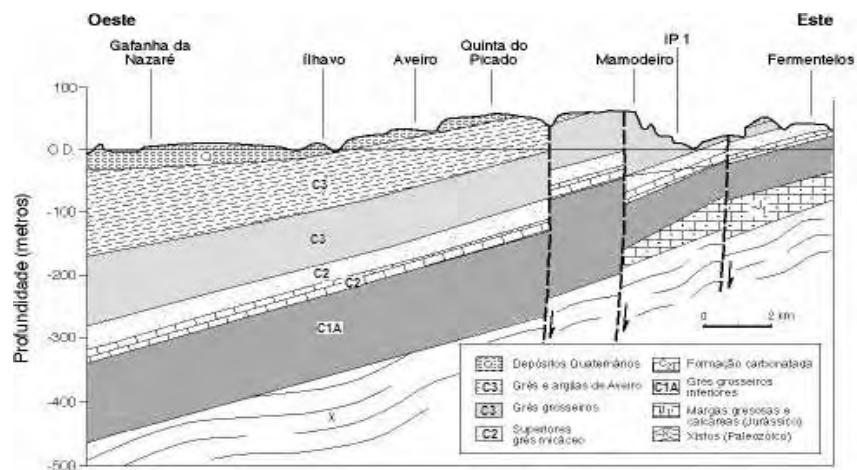


Figura 4.10 - Secção transversal W-E do sistema multiaquífero Cretácico (Condesso de Melo, 2002).

Embora os sedimentos Cretácicos permeáveis aflorem on-shore não há qualquer testemunho de afloramento no off-shore. Deduz-se, no entanto, que tal possa acontecer, quer ao longo do limite da plataforma continental, a cerca de 50 km da actual linha de costa, quer mesmo devido a falhas tectónicas.

A extensão do aquífero na plataforma continental adjacente é, portanto, desconhecida, mas sondagens de exploração petrolífera, localizadas a cerca de 20 km da costa, intersectaram níveis Cretácicos cobertos por sedimentos Terciários.

Parâmetros hidráulicos

A interpretação de mais de duas centenas de ensaios de bombagem permitiu estimar valores médios de transmissividade para o sistema aquífero. Estes valores foram representados graficamente na Figura 4.11 para melhor ilustrar a sua variabilidade espacial.

A parte central do aquífero apresenta os valores de transmissividade mais elevados (entre Ílhavo, Aveiro e Cacia), enquanto na área restante os valores de transmissividade sofrem um decréscimo significativo. A Figura 4.11 coloca ainda em evidência as reduzidas transmissividades (< 50 m d⁻¹) observadas na zona de recarga do aquífero, o que poderá indicar dificuldades para que a água de recarga natural atinja a parte profunda e confinada do aquífero.

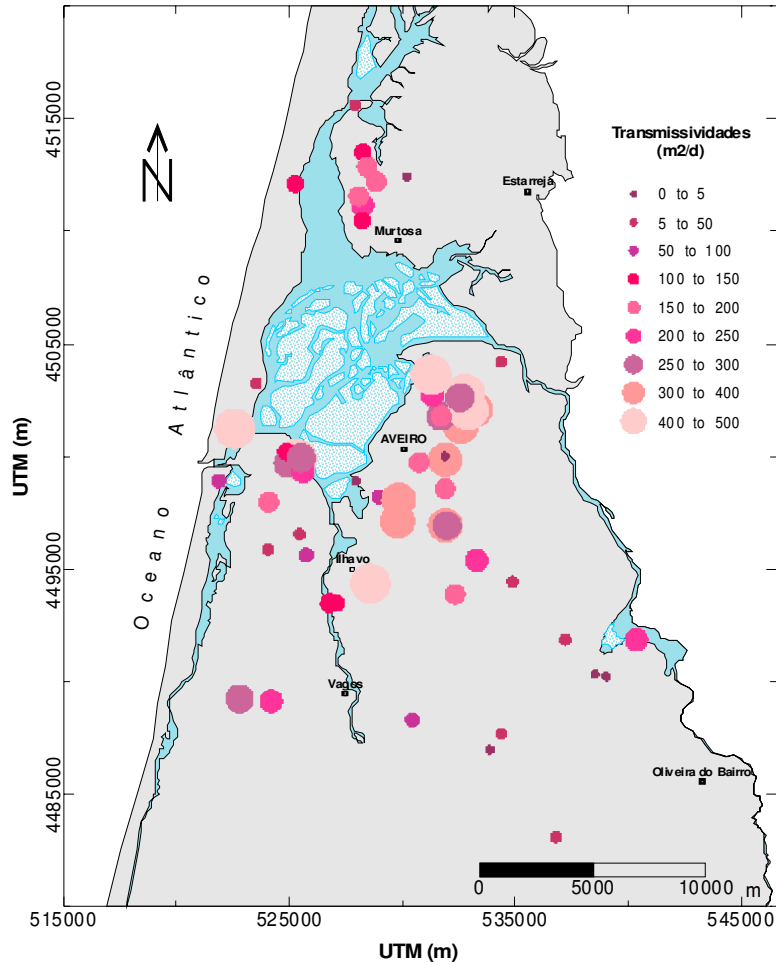


Figura 4.11 – Valores de transmissividade do sistema aquífero Cretácico de Aveiro (Condesso de Melo, 2002).

A partir da análise dos ensaios de bombagem foi ainda possível verificar que a formação do Grés Micáceo é, de longe, a mais produtiva do aquífero contribuindo com cerca de 60% do caudal total das captações.

No sector livre oriental, porém, onde não existe o tecto argiloso, o sistema terá características de aquífero freático, mas este efeito não pôde até agora ser comprovado por não se dispor de ensaios realizados nesse sector.

Para efeitos de caracterização estatística, foram eliminados todos os ensaios hidráulicos que oferecessem dúvidas quanto aos caudais referidos, por apresentarem anomalias de difícil interpretação (barreiras, paragens e arranques de captações próximas, etc.). Também não foram considerados os ensaios analisados por modelos analíticos quando houve dúvidas quanto à sua adequação às condições reais. As estatísticas principais, que constam do quadro seguinte, foram calculadas a partir de 92 dados. Para algumas captações foram considerados diferentes resultados, quando existia mais do que um ponto de observação.

Quadro 4.8 – Ensaio no Cretácico.

n	Média	D. padrão	Coef. Var.	Q ₁	Mediana	Q ₃	Mínimo	Máximo
92	338	178	53%	216	340	420	11	850

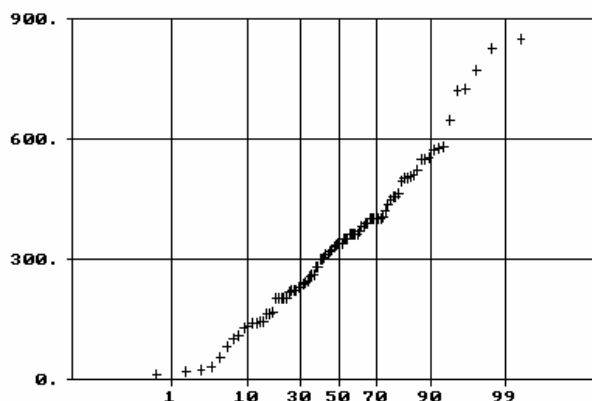


Figura 4.12 - Distribuição cumulativa de transmissividades.

Os ensaios de bombagem também permitiram obter 65 valores de coeficiente de armazenamento, cujas estatísticas principais se apresentam no quadro seguinte e que são característicos de um aquífero confinado.

Quadro 4.9 – Valores de coeficientes de armazenamento do Cretácico.

n	Média	D. padrão	Coef. Var.	Q1	Mediana	Q3	Mínimo	Máximo
65	$3,1 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	383%	$4,8 \times 10^{-5}$	1×10^{-4}	7×10^{-4}	$4,5 \times 10^{-6}$	$8,2 \times 10^{-2}$

De forma sucinta, pode dizer-se que a hidrogeologia, a geoquímica e a mineralogia destas formações, revelou tratar-se de um sistema aquífero costeiro ainda em processo de lixiviação, confinado em $\frac{3}{4}$ da sua extensão na área continental e com uma recarga natural muito limitada. A sua extensão submarina é, em rigor, desconhecida.

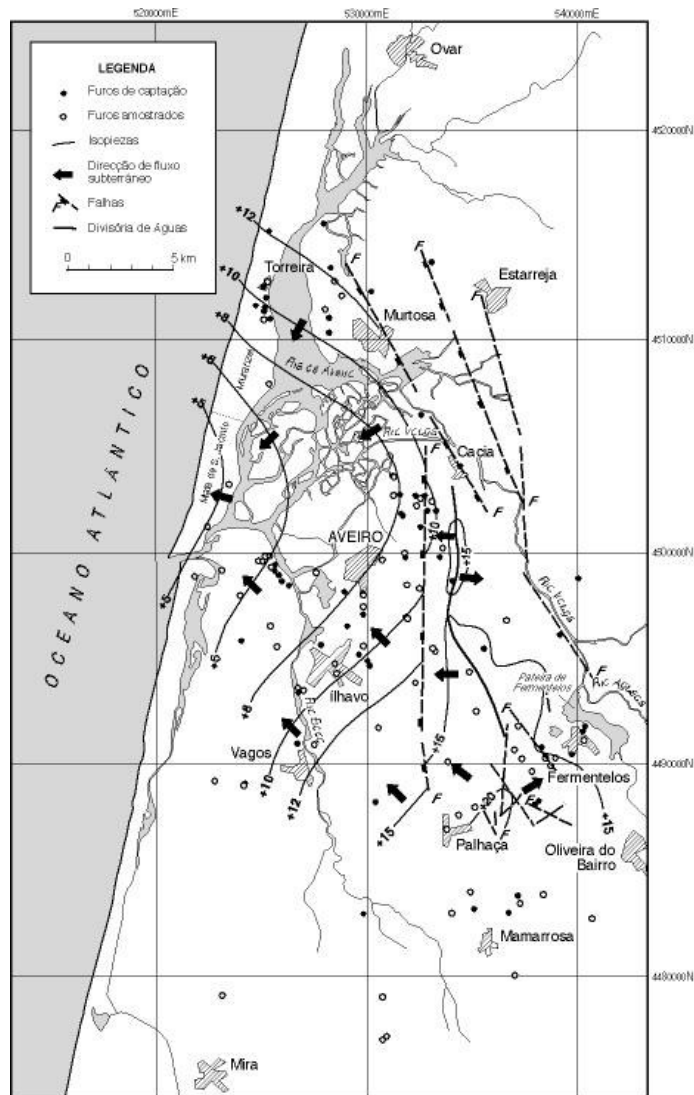
Análise da piezometria e funcionamento hidráulico

A direcção de fluxo natural na zona de estudo é da zona de recarga, a Este, para o mar, com um gradiente da ordem de 0,0015, tal como se pode verificar por análise do mapa piezométrico representado na Figura 4.13. No entanto, desde meados da década de 60 e até à entrada em pleno funcionamento do Sistema Inter-Municipal do Carvoeiro, em 1996/97, que o abastecimento de água para uso urbano e industrial na região de Aveiro foi garantido na sua maioria mediante a exploração do sistema multiaquífero Cretácico que existe na área. A intensa exploração deste recurso de água subterrânea conduziu gradualmente a um declínio dos níveis piezométricos regionais, atingindo na parte central do aquífero valores ainda hoje sob o nível médio do mar. Este facto, porque tem lugar num aquífero costeiro e com uma limitada recarga natural, pode levar à deterioração da qualidade de água subterrânea, quer por fenómenos de intrusão marinha, quer por mistura com águas de unidades aquíferas profundas com elevado grau de mineralização e que actualmente apresentam maiores potenciais hidráulicos que as principais unidades aquíferas exploradas.

É importante salientar que a grande maioria das variações observadas nos níveis piezométricos do sistema aquífero a nível regional são precisamente uma resposta a variações no regime de exploração do aquífero. Os níveis piezométricos no aquífero rebaixam em geral durante os meses de verão devido a um aumento da exploração,

e ao longo da costa podem mesmo apresentar variações diárias devido à influência das marés.

O impacto da recarga do aquífero é mínimo e só é possível observar-se na zona Este do aquífero, onde afloram as formações Cretácicas permeáveis e onde se observa a recuperação dos níveis durante os meses de Inverno. No resto da região, o fluxo subterrâneo encontra-se actualmente alterado ou mesmo invertido devido à intensa exploração do sistema aquífero (Figura 4.13). Os valores de níveis mais elevados observam-se agora na parte Sudeste junto à zona de recarga do aquífero, e no limite Sul do aquífero.



Nota: Os valores dos níveis piezométricos são dados em relação ao nível médio do mar.

Figura 4.13 – Piezometria do aquífero Cretácico de Aveiro na ausência de exploração (anos 50) segundo Marques da Silva (1990).

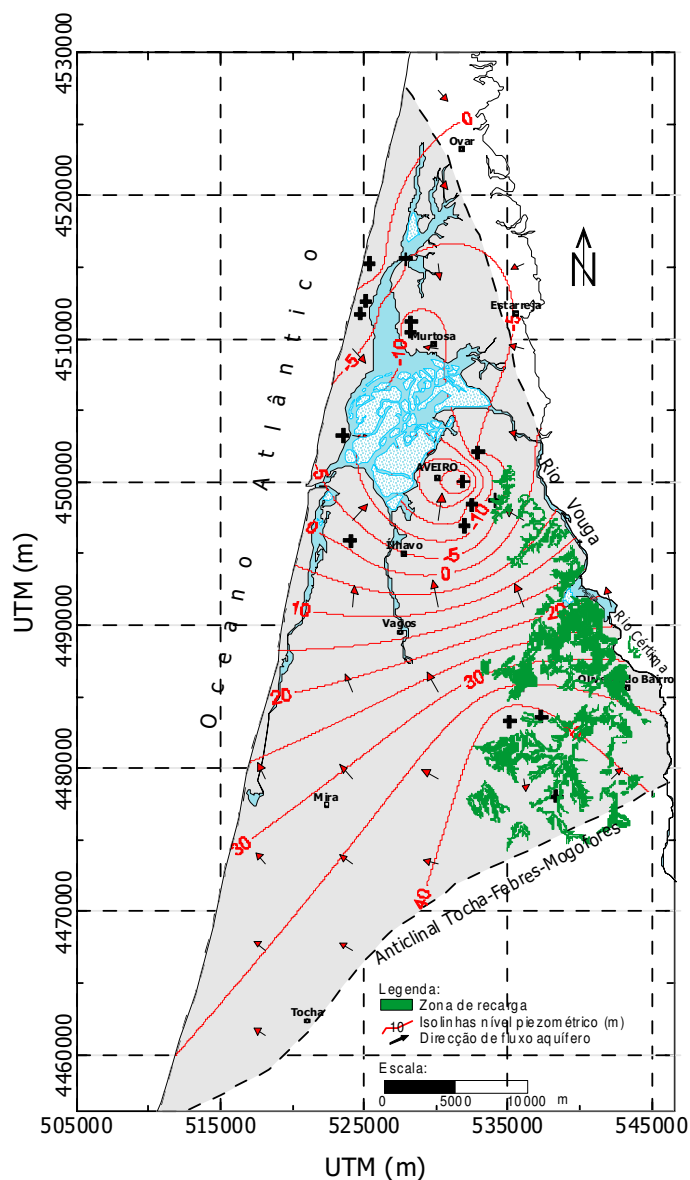
A distribuição dos níveis piezométricos não demonstram qualquer contribuição significativa a partir do rio Vouga, mas sim parece indicar uma contribuição da Pateira de Fermentelos, uma lagoa natural localizada na parte Oriental do aquífero.

De acordo com Barra (1998) a lagoa está sobre formações gresosas do Triássico e não do Cretácico. No entanto, parece haver contacto lateral, o que pode implicar que,

dependendo da estação do ano, a lagoa actuará como limite de recarga ou descarga do sistema aquífero.

A distribuição dos níveis piezométricos não demonstram qualquer contribuição significativa a partir do rio Vouga, mas sim parece indicar uma contribuição da Pateira de Fermentelos, uma lagoa natural localizada na parte Oriental do aquífero.

De acordo com Barra (1998) a lagoa está sobre formações gresosas do Triássico e não do Cretácico. No entanto, parece haver contacto lateral, o que pode implicar que, dependendo da estação do ano, a lagoa actuará como limite de recarga ou descarga do sistema aquífero.



Nota: Os valores dos níveis piezométricos são dados em relação ao nível médio do mar.

Figura 4.14 – Representação da superfície piezométrica regional e das principais direcções de fluxo actualmente no aquífero Cretácico de Aveiro.

A análise de todos os elementos disponíveis, permite apresentar o seguinte modelo hidrogeológico conceptual para o escoamento regional e para as condições de funcionamento hidráulico de todas as captações (Figura 4.15):

- Tipo de aquífero: sistema aquífero considerado regionalmente confinado;
- Zona de recarga: área muito limitada com cerca de 52 km² e localizada na parte Sudeste da zona de estudo. A alimentação natural está limitada por falhas que afectam a totalidade da coluna cretácica na zona de recarga;
- Circulação regional: a direcção de fluxo natural na zona de estudo é da zona de recarga a Este para o mar, com um gradiente da ordem de 0,0015. Actualmente o fluxo encontra-se alterado ou mesmo invertido na região de Ílhavo-Aveiro-Murtosa devido a uma depressão dos níveis na parte central do aquífero.
- Idades: aquífero com paleoáguas, com idades que variam desde os 5,9 ka BP (5 900 anos) no furo AC9 no Mamodeiro, junto da zona de recarga, até mais de 20 ka BP (20 000 anos) no furo JK1 São Jacinto, na zona mais próxima da costa.

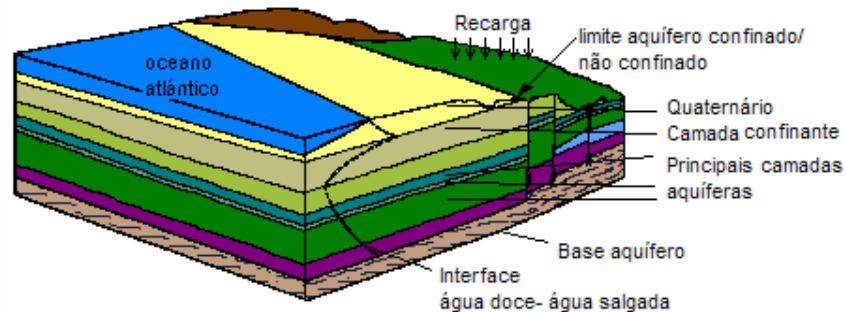


Figura 4.15 – Modelo conceptual do sistema aquífero Cretácico de Aveiro (Condesso de Melo, 2002).

4.2.4 Sistema Aquífero Quaternário

Do ponto de vista geológico as formações quaternárias são as de deposição mais recente, razão porque ocorrem sobre as mais antigas, apresentadas anteriormente.

A sua fácil explorabilidade, dado aflorarem superficialmente, faz com que sejam intensamente exploradas, principalmente nas regiões mais litorais: Ovar, Murtosa, Estarreja, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira. Há, nestes municípios, inúmeros poços disseminados por toda a região, sendo comum, nas zonas rurais, que qualquer casa ou parcela agricultada tenha um poço ou outro tipo de captação.

Apesar de ainda não haver concordância entre os investigadores sobre a separação das formações quaternárias em Portugal, considera-se neste trabalho como Plistocénicos os depósitos post-pleiocénicos e ante-flandrianos, ou seja, limitados superiormente pela grande regressão grimaldiana relacionada com a glaciação “Würm”; e Holocénicos os do Quaternário recente, isto é, os post-glaciários:

- Depósitos Plistocénicos, de terraços fluviais e praias antigas;
- Depósitos Holocénicos, actuais, com duas unidades aquíferas sobrepostas:
 - a) a Base do Quaternário; e
 - b) um manto eólico, essencialmente de areias de duna.

4.2.4.1 Depósitos Plistocénicos

Os depósitos Plistocénicos correspondem a sedimentos de praias antigas e terraços fluviais, que se apresentam escalonados em diferentes níveis pelo que foram cartografados por critérios topográfico/geomorfológicos. Este escalonamento resultou do facto de não ter sido contínuo o movimento regressivo que se seguiu à transgressão calabriana. Com efeito, é mais correcto designar por oscilações regressivas ante-flandrianas as acções que se relacionam com a deposição destes níveis de praias antigas e terraços fluviais associados e que, por isso mesmo, se apresentam com esse dispositivo em plataformas escalonadas.

Do ponto de vista litológico apresentam-se normalmente com composição muito grosseira, conglomerática a arenosa, com calhaus mais ou menos rolados e frequentes intercalações argilosas. A própria matriz é igualmente muito heterogénea e estes depósitos raramente se apresentem cimentados. Os terraços fluviais costumam apresentar granulometria mais fina. Alguns trabalhos referem episódios de eolização (Soares de Carvalho, 1949, 1951, 1953).

Dispõem-se quer sobre os xistos paleozóicos (na parte Norte, nomeadamente desde Esmoriz, Ovar até Estarreja e Salreu), quer sobre o Cretácico superior (como acontece nas extensas plataformas de Cacia, Aveiro, Oliveirinha, até ao Sul de Vagos), quer mesmo sobre o Jurássico, já nas regiões da Bairrada e da Gândara, etc.).

Estes depósitos, apesar da importante extensão de afloramento que exibem, não se apresentam com grande desenvolvimento vertical. Com efeito, mesmo em logs de sondagens onde são completamente atravessados, as espessuras situam-se entre 10 e 20 metros, raramente chegando a valores da ordem dos 30 metros. Verifica-se, contudo, que na parte Norte do litoral da bacia, muito especialmente quando recobrem os xistos antigos, as espessuras são menores do que na parte central ou mais para Sul. Por outra parte, também na zona setentrional as plataformas destes depósitos encontram-se mais recortadas por pequenas linhas de água que, em trabalho de erosão, escavaram o seu leito até aos próprios xistos.

Caracterização hidrogeológica

A sua constituição muito heterogénea faz destes depósitos aquíferos não muito produtivos. No entanto, são intensamente explorados, havendo imensas captações dispersas por toda a região e que exploram estes depósitos. São praticamente sempre poços tradicionais de grande diâmetro, escavados à mão ou, mais modernamente, com escavadoras mecânicas e sempre se encontram revestidos ou com paredes feitas de pedrinhas de xisto (os mais antigos, nos concelhos a Norte), ou por adobes (também antigos mas particularmente na zona litoral de areias), ou por tijolos, ou, mais modernamente, por manilhas de cimento.

Estes poços funcionam mais como depósitos de grande diâmetro (como as cisternas de outras regiões do País) do que propriamente como captações. E estas características resultam precisamente do facto destes depósitos serem de constituição de tal forma heterogénea que têm permeabilidades reduzidas. Note-se que a forma de utilização da água explorada também “aconselha” este tipo de poços: a água não se extrai de forma constante, mesmo a caudais baixos. Quando é para

consumo doméstico, retira-se um grande volume - por exemplo, um ou dois metros cúbicos - num curto espaço de tempo - 15 a 30 minutos. Quando é para regadio de pequena parcela a extracção realiza-se para um tanque a partir do qual é distribuída ou, muitas vezes, de forma directa para o terreno até se esgotar a captação.

Apenas se conhecem 3 aproveitamentos destes depósitos para abastecimento público e em todas as captações construídas têm a drenagem na horizontal, isto é, há um poço colector e drenos captantes horizontais, designadamente:

- Vale das Maias, situado na parte Norte do concelho de Vagos mas que abastece Aveiro. Foi construído em 1945 e debita caudais que variam entre 17 e 35 L/s, indo a água por gravidade para o centro de distribuição.
- Vale da Castelhana, também construído em área de Vagos, mas a água segue, igualmente por gravidade, para abastecer Ílhavo. O caudal é da ordem de 12 L/s.
- Sosa, Vagos, cuja água é utilizada para abastecer uma pequena parte da localidade, sendo o caudal de 5 L/s.

Não se dispõe de qualquer ensaio hidráulico que possibilite quantificar de forma rigorosa os parâmetros hidráulicos destes depósitos. Do ponto de vista hidráulico, contudo, é possível afirmar que se trata de uma unidade freática, porosa, podendo arbitrar-se valores de 0,5 a 2 m/dia para a permeabilidade e de 1% a 10% para a cedência específica como valores referência. Trata-se de unidade aquífera pobre, pelo que se considera adequado o tipo de captações tradicionais que permitem a exploração de volumes razoáveis em curtos tempos de extracção e recuperações muito lentas para reposição do volume do “depósito”.

Análise da piezometria e funcionamento hidráulico

Não há registos históricos dos níveis freáticos desta unidade. Apenas existem medições pontuais em alguns poços nela instalados. No entanto, a experiência proporcionada pelo contacto directo e quase diário com esta unidade em vários pontos da região, permite estabelecer ordens de grandeza de alguns aspectos da sua piezometria.

Os gradientes são baixos na parte central dos terraços, inferiores a 10-3, aumentando ligeiramente nas bordaduras junto às linhas de água que os recortam e drenam. (A relação hidráulica mais comum entre os depósitos e as linhas de água é a de estas serem efluentes. Apenas em períodos de chuvas de alta intensidade o fluxo se faz das linhas de água para o aquífero, mas sempre de forma efémera). O fluxo regional apresenta-se sempre divergente, da parte central para as bordaduras, acompanhando, de resto, a própria superfície topográfica.

As variações sazonais atingem valores normalmente inferiores a 5 metros, principalmente nos depósitos de grande extensão. Mas há casos de variações superiores a 15 metros junto às linhas de água, nomeadamente quando se apresentam encaixadas. É nestas bordaduras, junto aos limites, que os poços são mais profundos e não raras vezes a escavação alcança os xistos inferiores em alguns metros como forma de depósito que garanta, embora de forma deficiente, os pequenos abastecimentos domiciliários nos períodos estivais. Deve acrescentar-se

que este aspecto traz como consequência a instalação de sistemas de extracção móveis, que se possam subir ou descer, de forma a tornar possível a bombagem por aspiração, já que são raríssimos os casos de utilização de bombas submersíveis.

Não há grande diferença entre os tipos das superfícies piezométricas em estado natural e influenciado: apenas as alterações normais das áreas de depressão junto às captações quando em funcionamento, mas de valores pequenos devido aos também pequenos caudais praticados e, muito em especial, ao tipo de captação de grande diâmetro utilizada.

O funcionamento hidráulico é muito simples: recarga directa pela precipitação, sendo possível estimar que 15 a 20% da chuva se possa infiltrar. Gradientes baixos, sendo o sentido do fluxo de tipo radial a favor das linhas de água que limitam as diferentes ocorrências destes depósitos. Na parte Norte, onde o substrato é de xistos, a extensão lateral destes depósitos é, como já se disse, de pequenas dimensões e as linhas de água apresentam-se encaixadas até ao impermeável inferior. Por isso a água recarregada esgota-se mais rapidamente por percolação lateral do que nas áreas central e Sul.

Por outro lado, nestas áreas meridionais, quando o substrato é constituído por formações permeáveis ou por aquitardos cretácicos ou jurássicos, há perdas para a parte inferior, sempre que os potenciais hidráulicos de cada uma das unidades o possibilitem. Em alguns casos, de resto não muito frequentes na região, há descarga por pequenas fontes, muitas vezes “construídas” por instalação de um dreno na parte inferior da unidade, mas apenas quando existe substrato impermeável (xistos antigos ou o Senoniano argiloso). Estas fontes são de pequenos caudais, e na maior parte dos casos de carácter efémero, já que em períodos de estiagem acabam por secar completamente.

Este funcionamento justifica também a grande vulnerabilidade que estes depósitos têm à entrada de contaminantes, o que se tem verificado na prática. Em algumas áreas é normal que cada casa tenha uma fossa séptica, quantas vezes mal construída e a distâncias pequenas do poço que abastece o logradouro, a que se deve acrescentar a existência de instalações de animais domésticos, mas de razoável produção de estrumes utilizados na agricultura. A juntar a estes aspectos, tem-se verificado nos últimos tempos, um incremento na utilização de pesticidas, herbicidas e outros aditivos usados na actividade agrícola. Como resultado de tudo isto poder-se-á esperar haver casos de contaminações. A mais importante e até agora a única de que há dados, é a que respeita ao teor de Nitratos e sempre associada à agricultura. Na verdade, o que se verifica em muitos casos, é que são os próprios efluentes domésticos que são utilizados como fertilizantes nas parcelas agrícolas.

4.2.4.2 Depósitos Holocénicos

Os depósitos Holocénicos ocorrem principalmente na zona litoral e, também, associados aos vales de alguns rios.

Como já foi assinalado, são consideradas duas unidades aquíferas:

- uma superficial, formada essencialmente por areias de dunas, mais ou

menos finas, sobreposta a um ou mais níveis de lodos orgânicos, por vezes conquíferos. É explorada por poços tradicionais e por pequenos furos cravados (designados por “sondas” ou “filtros”), produzindo caudais da ordem dos 5 L/s. Muito vulnerável à contaminação, está altamente poluído na área a Oeste de Estarreja por efluentes industriais e, nas zonas agricultadas, por Nitratos de origem agrícola. No contacto com a Ria e o mar é normal apresentar águas altamente cloretadas, já que a interface água doce/água salgada se apresenta muito inclinada, como pode ser comprovado com perfis geofísicos.

- a outra unidade, a mais profunda, conhecida por Base do Quaternário, e confinada pelos referidos lodos orgânicos, é constituída basicamente por uma sequência granodecrescente, de cascalheiras e areias grosseiras. É explorada intensamente em algumas áreas, principalmente por furos (mas também por “sondas” ou “filtros”), produzindo caudais já importantes (de 5 a 30 l/s). Embora quase sempre contenha Ferro em teores elevados (casos de Mira, Vagos, Avanca, Murtosa, Estarreja), casos há em que a qualidade é excelente, como em Ovar (furos do Furadouro e Cortegaça).

- **Base do Quaternário**

Em toda a parte litoral da Orla Mezocenoica, nomeadamente em relação com os vales dos principais rios da região (Vouga, Antuã, Boco, etc.) e com toda a orla costeira, suprajacente quer aos xistos antigos, na parte Norte, quer ao Cretácico, na parte central e mesmo ao Jurássico, já no concelho de Oliveira do Bairro, instalou-se extensa sequência de depósitos essencialmente conglomeráticos designada como "Base do Quaternário". São praticamente constantes desde Esmoriz até Mira seguindo mais para Sul, sempre limitados superiormente por uma ou mais camadas de lodos orgânicos, escuros, ora areno-limosos, ora de carácter mais argiloso, apresentando-se muitas vezes conquíferos, outras vezes com restos de plantas. Estes lodos diminuem de espessura para a parte oriental e acabam por desaparecer, sempre mascarados por extensa cobertura de areias de dunas recentes. Apenas se conhecem três ou quatro pontos onde estes lodos afloram, sempre junto ao mar, entre a praia de Cortegaça e a da Torreira, mas sendo visíveis somente na baixa-mar em períodos de marés vivas. Isto quer dizer que a sua parte superior se apresenta com uma certa regularidade à volta da cota zero, ou seja à cota a que ainda hoje lodos semelhantes se formam na Ria de Aveiro tal como actualmente se nos apresenta. Assim, os depósitos da Base do Quaternário encontram-se sempre a cotas negativas, pormenor que terá incidências em algumas das características e na explicação de certos fenómenos hidrogeológicos que se verificam nesta unidade.

Relacionados com a transgressão flandriana e, portanto, considerados do Holocénico, os depósitos da Base do Quaternário apresentam-se como uma sequência granodecrescente: na base muito grosseiros, às vezes com litoclastos de dimensões superiores a 20 cm, de xistos, granitos, grauvaques e liditos, abundantes calhaus rolados, gradam na parte superior para areões e areias, cada vez mais finas e argilosas, até às referidas camadas de lodos orgânicos que superiormente limitam a sequência. São frequentes intercalações argilosas lenticulares. Mais junto à actual linha de costa, é normal existirem níveis com abundantes conchas, principalmente de

lamelibrânquios (*Cardium*) e gasterópodes de águas salgadas a salobras, associados a calhaus rolados.

A instalação destes depósitos em áreas que previamente tinham sido sujeitas a forte acção erosiva (durante a regressão grimaldiana anterior ao movimento transgressivo flandriano referido atrás), justifica o diferente desenvolvimento vertical que patenteiam: na parte Norte os depósitos são muito mais espessos, nomeadamente a Oeste de Ovar e de Estarreja bem como na área de Cacia e na Gafanha da Nazaré, junto à zona do porto de Aveiro. Aqui as espessuras desta sequência podem alcançar mais de 25 metros, embora raramente se encontrem com mais de 30 metros. O substrato, neste sector setentrional, é quase sempre de xistos antigos, mas também se têm detectado em sondagens testemunhos de diferentes unidades cretácicas. Mais para Sul, nomeadamente nos concelhos de Ílhavo, Aveiro, Vagos e Mira, as espessuras são menores: entre a base, em regra constituída pelo Cretácico superior argiloso, e as camadas de lodos que a confinam a tecto, esta sequência da Base do Quaternário raramente tem mais de 15 metros de espessura. Em toda a região, porém, as espessuras são sempre mais reduzidas em toda a faixa litoral. E, como é óbvio, na parte oriental, os depósitos vão adelgaçando até desaparecerem, ou no contacto com os xistos (onde estes afloram), ou com as formações mesozóicas da Orla.

A acção erosiva prévia à instalação destes depósitos, associada à tectónica do substrato xistento (posta em evidência por recurso à Geofísica (Soares de Carvalho et al., 1995; Moura et al., 1998)) compartimentou estes depósitos ao longo de toda a região, em subunidades que apresentam alguma identidade quer ao nível da qualidade, quer também da produtividade das captações que as exploram. De Norte a Sul podem distinguir-se as seguintes subunidades:

- Parte a Norte da Ria, nomeadamente: Esmoriz-Cortegaça e Ovar-Furadouro;
- Parte a Nascente da Ria: Breja (Avanca) e Pardilhó-Estarreja-Veiros;
- Vale do rio Vouga: Cacia-S. João de Loure;
- Franja litoral e parte Sul da Ria: Torreira-S. Jacinto, Gafanhas - Ílhavo, Vagos e Mira.

Para ilustrar melhor esta disposição foi elaborado um perfil longitudinal N-S, cujo enquadramento se indica na Figura 4.16.

Como se pode apreciar analisando este perfil, o limite superior da sequência da Base do Quaternário, é constituído por uma, duas ou, raramente, mais camadas de lodos, cujo desenvolvimento varia entre menos de um metro e mais de 15 metros de espessura. Regra geral, quanto mais fina é a camada de lodos mais argilosa e mais compactada se apresenta. E também não é uniforme a respectiva composição quer no que respeita à água intersticial, quer quanto ao conteúdo fossilífero. Com efeito, tanto se detectam lodos com águas salobras (mais comuns junto aos actuais esteiros e à própria Ria) ou com águas menos mineralizadas, com e sem conchas, com e sem restos de plantas. A qualidade da água captada na Base do Quaternário, bem como a respectiva evolução devido à exploração (e à sobre-exploração em alguns sectores), está relacionada com estes aspectos dos lodos confinantes superiores. A

actual exploração desta unidade aquífera está dependente, justamente, destas características referentes à qualidade.

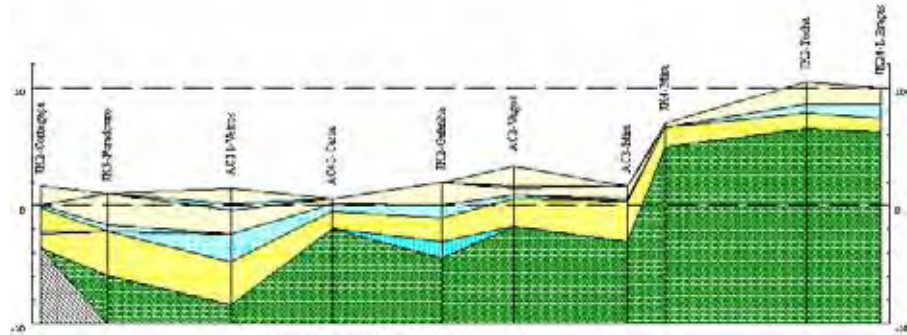


Figura 4.16 - Perfil N-S do Quaternário

Caracterização hidrogeológica

O tipo de captações construídas para explorar esta unidade, é quase sempre o furo vertical. Apenas junto ao bordo oriental existem alguns poços tradicionais que captam a Base do Quaternário, mas em número muito restrito. Em algumas regiões, porém, utiliza-se um tipo de captações designadas ou por "sondas" (área de Pardilhó) ou por "filtros" (região das Gafanhas-Vagos-Mira) que consistem num tubo com o diâmetro de 2" a 2,5" e que é cravado por injeção de água ou com a ajuda de pequena limpadeira nas passagens mais argilosas/lodosas ou de calhaus rolados. No entanto, este tipo de captação, como não admite a colocação de dispositivo de bombagem, só pode ser explorada quando o nível hidrodinâmico se situa a menos de 7 metros de profundidade, já que a água é extraída por aspiração. De facto é a própria captação que funciona como mangueira de aspiração da bomba.

A Base do Quaternário foi intensamente explorada pelas indústrias sediadas no Complexo Químico de Estarreja, desde os anos 60, tal como pela indústria da pasta de papel situada em Cacia. Para consumo humano foram levadas a cabo campanhas de pesquisa em toda a região Norte da bordadura da Ria e também no vale do Vouga (furos de S. João de Loure). E desde início que a água não foi aproveitada por apresentar teores elevadíssimos de Ferro. Os furos das indústrias de Estarreja também davam água muito férrea o que obrigou à instalação de estações de tratamento para eliminação do mesmo. O mesmo sucedeu com a água das captações mais tarde construídas para abastecimento dos municípios de Vagos e Mira que ainda hoje mantêm o tratamento para eliminação do Ferro. No entanto há captações que captam a base do Quaternário na região entre o Furadouro-Ovar e Esmoriz cuja água é de boa qualidade, como se pode deduzir pelos resultados analíticos que constam nos relatórios de construção destas captações. Por esta razão a Base do Quaternário continua a ser explorada para distribuição domiciliária nesta parte do concelho de Ovar. Em Vagos o município já possui algumas captações que exploram o Cretácico, e neste momento utiliza muito menos a água captada na Base do Quaternário. Quanto a Mira, ao que é possível saber, o abastecimento continua a ser assegurado por água desta unidade.

Na área a Poente de Estarreja, onde as indústrias começaram por construir os primeiros furos de captação, os caudais de trabalho foram inicialmente muito

elevados: de 80 a 120 m³/h. Sabe-se que a água era utilizada essencialmente para refrigeração e era lançada fora após uma simples utilização, sem ser reciclada. Esta sobre-exploração trouxe como consequência um aumento da mineralização que quase sempre se manifestava de forma rápida e se traduzia praticamente num incremento de cloretos.

Quando as concentrações em cloretos atingiam valores elevados a regra era abandonar a captação e construir outra, sempre mais para Norte, continuando-se o "ciclo". No entanto, como as produtividades das novas captações iam baixando, na medida em que as espessuras mais para Norte iam diminuindo e, por outro lado, as necessidades de água iam aumentando (por aumento da produção fabril), houve um momento em que essas empresas se viram obrigadas a reciclar a água de refrigeração, a mudarem os esquemas de arrefecimento, etc., de forma a conseguirem laborar cada vez com menos água. A situação evoluiu de tal forma que a água actualmente utilizada pela indústria instalada em Estarreja é proveniente do rio Antuã e a Base do Quaternário apenas serve de reserva para períodos críticos.

Nunca foi levada a cabo qualquer programa de investigação para esclarecimento do salgamento destas captações. A hipótese que melhor se coaduna com vários aspectos observados na salinização desta parte do aquífero é a de que a entrada de água salgada se devia a fenómenos de drenância através do tecto de lodos (que, nesta hipótese, funcionaria como aquífero) e proveniente ou da base da unidade das dunas superiores ou dos próprios lodos (neste caso contendo águas salobres). Na verdade, como veremos de seguida, há vários aspectos relativos ao funcionamento hidráulico deste aquífero que parecem confirmar esta hipótese.

Foram interpretados 90 ensaios de bombagem e de recuperação. Deste conjunto de dados, para efeitos de caracterização estatística, foram eliminados alguns por haver dúvidas quanto aos caudais referidos, ou por apresentarem anomalias de difícil interpretação (efeito de marés, barreiras, paragens e arranques de captações próximas, etc.). As estatísticas principais da transmissividade, que constam do quadro seguinte, foram calculadas a partir de 56 dados. Para algumas captações foram considerados diferentes resultados, quando existia mais do que um ponto de observação.

Quadro 4.10 - Estatística da transmissividade (m²/dia) (Base do Quaternário)

n	Média	D. padrão	Coef. Var.	Q1	Mediana	Q3	Mínimo	Máximo
56	432	117	27%	360	428	500	190	750

Dispõe-se, ainda, de 115 caudais específicos, mas alguns estão influenciados por efeito de marés, razão pela qual deverão ser tomados com algumas reservas.

Os ensaios interpretados são quase todos da área de Estarreja-Veiros-Pardilhó, provavelmente um dos sectores onde a Base do Quaternário se apresenta com maiores valores de transmissividade.

Os ensaios de bombagem também permitiram obter 28 valores de coeficiente de armazenamento, cujas estatísticas principais se apresentam no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Estatísticas de armazenamento.

n	Média	D. padrão	Coef. var.	Q1	Mediana	Q3	Mínimo	Máximo
28	2×10^{-3}	$2,6 \times 10^{-3}$	136%	$8,8 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-3}$	3×10^{-3}	1×10^{-4}	$9,4 \times 10^{-3}$

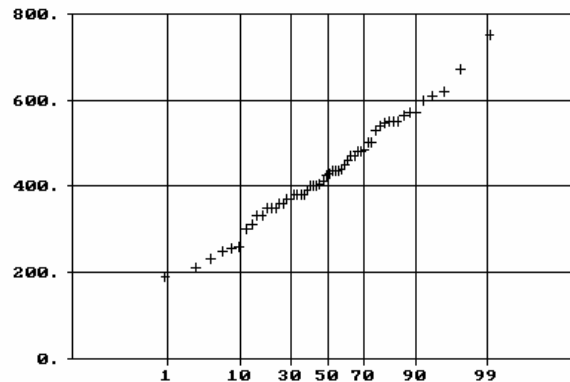


Figura 4.17 - Distribuição cumulativa das transmissividades (m^2/dia) (Base do Quaternário).

Estes resultados mostram que a dispersão é relativamente pequena tratando-se de formações sedimentares heterogéneas, com grande variabilidade espacial, resultante do próprio ambiente de formação.

Análise da piezometria e funcionamento hidráulico

As primeiras captações realizadas neste aquífero da Base do Quaternário, revelaram níveis piezométricos a cotas superiores às do tecto de lodos, havendo casos de furos repuxantes, quase sempre junto aos actuais esteiros onde as cotas do terreno são muito baixas (normalmente da ordem de 2 metros como máximo). O comportamento dos níveis observados em ensaios de bombagem, bem como as características do tecto dos lodos que limitam superiormente estes depósitos, permitem atribuir-lhes a classificação de aquífero semiconfinado, muito embora nalgumas áreas se possa considerar praticamente como confinado. No entanto, junto ao bordo oriental onde não existem os lodos, a unidade pode ter um comportamento de aquífero livre já que, na realidade, esta unidade e a que se lhe sobrepõe passam a constituir uma única unidade freática.

Mas deve ter-se em conta que os níveis hidrostáticos se situavam a cotas praticamente iguais às dos níveis freáticos da unidade superior das dunas. Isto quer dizer que não haveria transferências de água entre aquíferos ou que estas seriam mínimas. Pode dizer-se, portanto, existir um estado de equilíbrio natural.

Não foi elaborada na altura qualquer superfície piezométrica em regime não influenciado desta unidade. Os valores dos potenciais hidráulicos que se conseguem obter dos relatórios de construção das primeiras captações (e alguns que se podem deduzir, com certo rigor, por análise de relatórios de campanhas de dezenas de sondagens que foram realizadas nesse período) parecem indicar que o fluxo tinha uma direcção geral para Oeste, pelo menos em toda a região localizada a nascente da Ria. Assim se compreendia a existência de furos repuxantes junto à Ria ou até mesmo "dentro" da Ria.

Por efeito da intensa exploração a que a Base do Quaternário foi sujeita, inicialmente na zona entre Veiros e Estarreja, os níveis piezométricos começaram a acusar grandes depressões e os furos que exibiam artesianismo repuxante, pelo menos nos períodos de marés altas, deixaram de artesianar. Em 1964 começou a detectar-se um incremento nos teores de cloretos: de valores que oscilavam entre 35 e 60 mg/l, chegou-se a 110 mg/l em Dezembro de 1964, perto de 200 mg/l em finais de 1966, 360 mg/l em Setembro de 1968 e 500 mg/l um ano depois. Este aumento chegou a valores superiores a 1400 mg/l, o que obrigou os consumidores (indústria) a uma estratégia de contenção, recorrendo principalmente a reciclagem da água de arrefecimento. Mas, entretanto, construíram-se novas captações, cada vez mais para Norte como já foi referido anteriormente, em zonas onde ainda não era sentido o efeito do salgamento.

A partir de 1982 o abastecimento de água ao Complexo Químico de Estarreja começou a ser assegurado por água do rio Antuã e o aquífero da Base do Quaternário começou pouco a pouco a recuperar, sendo explorado apenas em situação de recurso. E a partir de 1990 um piezómetro de observação localizado junto à Ria perto de Veiros, voltou a artesianar durante as marés cheias.

A recuperação muito lenta que se verificou só pode ser explicada pela dificuldade que há na recarga natural. Houve mesmo um projecto para praticar recarga artificial (injecção no Inverno com água proveniente do rio Antuã e extracção no Verão), mas entretanto foi abandonado dado o bom funcionamento do actual esquema de abastecimento e, também, do muito menor consumo de água por parte das indústrias.

O sentido geral do fluxo faz-se para o mar, mas há alguma independência entre os sectores que definimos anteriormente. As oscilações sazonais são pequenas, entre 1 a 2 metros, o que confirma a dificuldade de entrada da recarga. Esta faz-se por drenância através do tecto semi-confinante ou, nas franjas a nascente, por precipitação directa já que aí não existe o aquífero, como já se referiu.

- ***Aquífero das Dunas***

Desde a zona de Espinho até à serra da Boa Viagem, instalou-se em toda a região litoral extenso manto arenoso, dunar, ora coberto por plantações florestais, ora com vegetação rasteira ou mesmo sem qualquer cobertura vegetal. Estas areias, que na parte do litoral setentrional da área aqui tratada cobrem directamente os xistos antigos, desenvolvem-se mais para o interior até às cercanias de Estarreja, sendo interrompidas pela Ria de Aveiro e respectivos canais e áreas intermareais (juncais, nateiros, etc.). Nesta área, as areias eólicas já cobrem lodos orgânicos, escuros, ora coníferos, ora turfosos e que foram referidos quando se tratou do aquífero da Base do Quaternário.

Na parte a Sul da Ria, o manto eólico penetra ainda mais para o interior e alcança o paralelo de Cantanhede, já a cerca de 20 km da costa, assentando sobre o Cretácico e o Jurássico ou sobre outras formações quaternárias mais antigas.

Trata-se de depósitos modernos acumulados principalmente devido à acção do vento e consideraremos neste grupo quer as areias eólicas, quer as dunas

propriamente ditas e as areias de praia. As dunas podem apresentar direcções e formas variadas que os autores da cartografia geológica definiram em cada área.

A constituição litológica é relativamente uniforme e a granulometria patenteada é de homogeneidade assinalável, como resultado da capacidade selectiva do agente de transporte, o vento. São areias finas, limpas, onde a fracção silto-argilosa é praticamente sempre inferior a 10%, muito bem calibradas. Por vezes há zonas onde se nota existirem pequeninos seixos, rolados a subangulosos, e, junto ao contacto com as areias de praia, com as quais se confundem, passam a areias médias e mesmo a areões.

Em quase toda a região ocorre um horizonte ferro-húmico que se localiza na zona de variação do nível freático e é formado por precipitados de óxidos e hidróxidos de ferro que agregam as partículas arenosas, constituindo uma verdadeira couraça dura, com aspecto laterítico. Recebe várias designações locais, tais como “zorra”, “sorraipa”, “greda”, etc..

Todos estes depósitos arenosos constituem o aquífero das dunas que é explorado por vários tipos de captações, definitivas ou temporárias, em toda a região onde existe. Com efeito, há certas zonas onde se “crava” um tubo com cerca de 5 metros de comprimento e que serve ao mesmo tempo de captação e de “chupador” do sistema moto-bomba que lhe é, depois, acoplado para extracção da água subterrânea para regadio. E esta captação (que é designada por “sonda”, “filtro”, etc., conforme a zona) é posteriormente arrancada e levada para outro lado ou volta a instalar-se apenas no período de regadio do ano seguinte.

Mas ao nível de utilização para consumo humano o tipo de captação que predomina é o poço tradicional, escavado, de grande diâmetro e que há em grande quantidade por toda a região.

A espessura desta cobertura eólica varia principalmente em função do coroamento, mais do que por influência das formações subjacentes. Também pode ter influência na espessura a distância a que se verificou a “migração” dos campos de dunas, antes de terem sido fixadas por intervenção humana (em especial por florestação de pinheiro).

Os valores mais correntes andam pelos 10 metros, mas há casos de dunas, conquanto raros, com mais de 30 metros de espessura mas que apresentam depressões interdunares de 20 metros, frequentemente alagadas, por “aflorentamento” do nível freático.

É muito mais regular a espessura da zona saturada, por ser também mais regular a base destes depósitos. Tendo em conta as naturais variações sazonais, a espessura saturada anda entre 5 e 10 metros, excepto nas bordaduras da Ria, do mar ou das raras linhas de água que existem em toda a zona das areias.

Caracterização hidrogeológica

Como já se referiu anteriormente, vários tipos de captações têm sido construídas para explorar este aquífero. Para além dos poços de grande diâmetro e dos furos cravados por injeção de água, ou, também, de furos verticais normais, assinala-se a existência de alguns poços radiais construídos em áreas onde o aquífero se

apresenta com águas de má qualidade junto à base, provavelmente por influência de águas salobras existentes nos lodos que separam esta unidade do aquífero da Base do Quaternário. É o caso de Estarreja (urbanização da Póvoa) e Avanca (fábrica de lacticínios Rodrigues).

Do ponto de vista hidráulico o aquífero das dunas comporta-se como um aquífero freático típico e assim reage em ensaios hidráulicos.

Ainda como nota importante refira-se a quase ausência de linhas de água superficiais que se encontram nestas formações, o que demonstra grande facilidade de infiltração das precipitações.

São escassos os ensaios de caudal cujos dados foi possível obter. No entanto, dada a vincada homogeneidade e até isotropia do meio, é de esperar uma constância razoável nos valores dos parâmetros hidrogeológicos a nível regional.

Os valores da condutividade hidráulica são bastante homogêneos, situam-se entre 20 e 49 m/d sendo os valores extremos pouco frequentes. Há uma constância evidente entre 30 e 35 m/dia e que resulta das próprias características das areias. A dispersão dos valores da transmissividade, de resto não muito grande, explica-se pelas diferenças na espessura saturada.

Os valores encontrados para a cedência específica, ainda que manifestamente insuficientes para uma adequada caracterização global, são contudo concordantes com os que se encontram na literatura da especialidade para este tipo de aquíferos, ou seja, da ordem dos 10%. Dado o escasso número de observações não se apresentam estatísticas, indicando-se no Quadro 4.12 os valores obtidos.

Quadro 4.12 – Estatísticas de condutividade hidráulica.

Designação	Medições	T (m ² /dia)	S e m _e	Cond. hid. (m/dia)
AC9-Am	próprio	60		20
AC10-Am	"	50		20
ACP5-Am	próprio	160		
ACP6-Am	próprio	240		
HDN1	P1	325	0,003	43
"	P2	310	0,015	41
"	P3	370	0,043	49
"	próprio	275	10%	30 a 35
HDN2-Arr	próprio	190	10%	30

Análise da piezometria e funcionamento hidráulico

Apenas na região a Oeste de Estarreja foram realizados trabalhos que levaram à elaboração de superfícies piezométricas desta unidade aquífera e relativas a diferentes alturas. As variações, contudo, são mínimas, correspondendo principalmente a flutuações sazonais. Estas situam-se, como máximo, pelos 5 metros de diferença entre o final do período húmido (em regra Março) e o final do período seco (Setembro) o que permite aferir as cifras da recarga e da porosidade eficaz das areias.

Há, portanto, um estado de equilíbrio entre extracções e recarga natural, não havendo zonas onde se façam sentir situações de sobre-exploração.

Os gradientes determinados são baixos, da ordem de 10-3, mas nota-se que há uma certa tendência para aumentarem junto aos corpos de água para onde se drena o fluxo subterrâneo. Interpretamos este facto por haver uma diminuição da espessura saturada nessas direcções, como é normal.

Na região a Oeste de Estarreja o fluxo tem uma direcção geral para ocidente, ou seja, a favor da Ria ou de alguns dos seus esteiros, mas também se nota a influência da topografia.

Alguns dados avulsos da piezometria desta unidade em outras regiões, indicam sempre um sentido na direcção ou do mar, ou da Ria, ou de outras linhas de água qualquer que seja a direcção em que estes corpos de água se encontrem.

4.3 Ordenamento territorial

Na Figura 4.18 são visíveis os principais elementos que estruturam o território da área da AMRia e o respectivo espaço urbano.

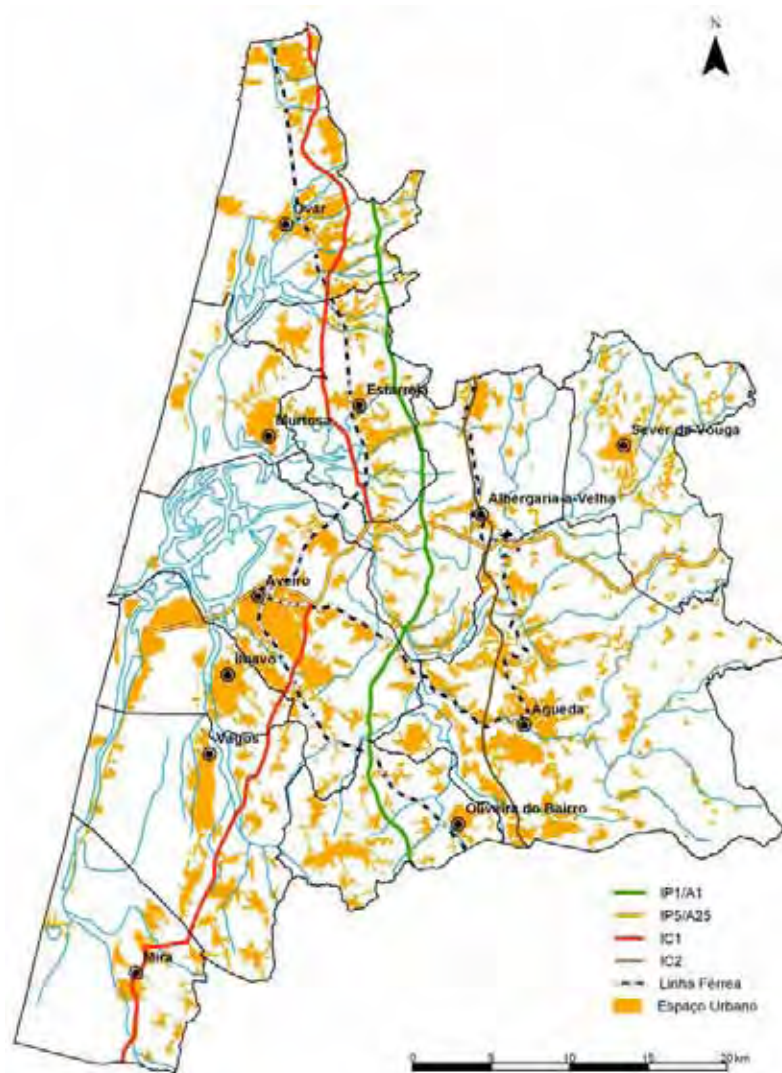


Figura 4.18 – Principais elementos e espaço urbano da AMRia.