



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

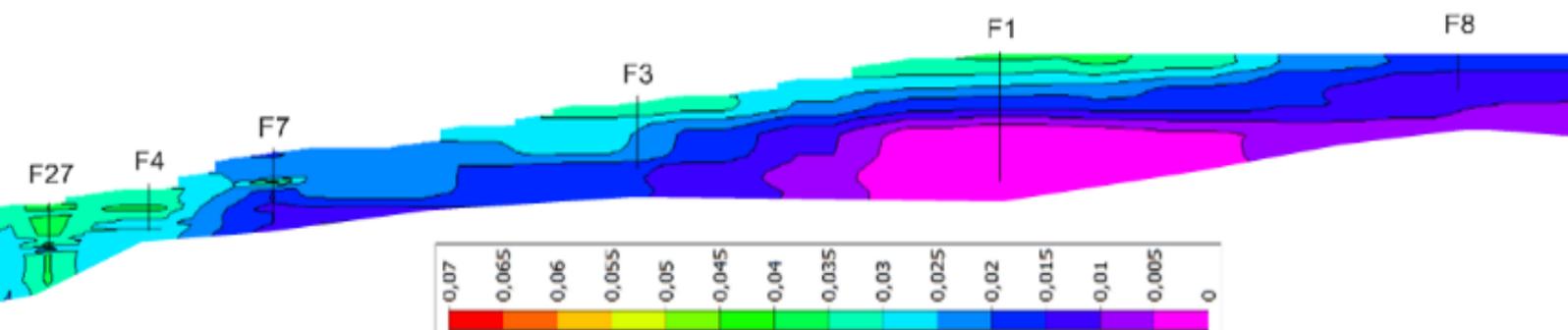
CARATERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UNIDADES DO SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO DE AVEIRO

Estudo de um perfil localizado entre a praia da Costinha e
Camarção (Figueira da Foz, Portugal)

Vitor Manuel Oliveira Valente

Mestrado em Geociências – Especialização: Recursos Geológicos

Setembro, 2016





UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**CARATERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UNIDADES DO SISTEMA
AQUÍFERO QUATERNÁRIO DE AVEIRO**

**Estudo de um perfil localizado entre a praia da Costinha e Camarção
(Figueira da Foz, Portugal)**

Vitor Manuel Oliveira Valente

Mestrado em Geociências

Área de especialização em Recursos Geológicos

Orientadores científicos

Prof. Doutora Ana Maria de Aguiar Castilho Ramos Lopes, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Coimbra

Prof. Doutor José Manuel Martins de Azevedo, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2016

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação é o resultado do apoio e da colaboração de diferentes pessoas que entrego os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Doutora Ana Maria Aguiar Castilho Ramos Lopes, orientadora desta dissertação, um agradecimento especial, pela amizade, paciência, disponibilidade, dedicação e ensinamentos ao longo da Licenciatura e Mestrado, mas acima de tudo pela ajuda imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor José Manuel Martins de Azevedo, co-orientador desta dissertação, pelo companheirismo, sinceridade, apoio, ajuda que deu neste trabalho e conhecimentos transmitidos ao longo destes cinco anos de formação académica.

Ao Departamento de Ciências da Terra e a todos os meus Professores que, ao longo destes cinco anos, contribuíram para a minha formação académica.

Ao Instituto de Conservação da Natureza e Florestas, IP, pela disponibilidade imediata em ceder o acesso à Mata Nacional das Dunas de Quiaios para a realização do trabalho de campo.

Agradecimento especial aos meus pais, Maria da Conceição B. Oliveira e Manuel da Silva Valente, aos meus irmãos, que sempre incentivaram a seguir em frente e onde o apoio foi incondicional e acima de tudo pelos sacrifícios que fizeram para suportar os meus estudos.

À minha família, avó, padrinhos, tios e primos que sempre estiveram presentes em todas as etapas da minha vida, mostrando sempre incentivo e apoio para tudo o que fosse necessário.

Aos meus amigos de Santa Maria da Feira pelas dicas, pelo companheirismo, pela força quando as coisas nem sempre corriam como esperava e acima de tudo pela paciência e compreensão da minha ausência em muitos cafés e saídas.

À Joana Cardoso, pela amizade e por ter estado sempre presente, demonstrando preocupação com o desenvolvimento de toda a dissertação.

Ao Daniel Albergaria pela amizade, pelas dicas e preocupação durante o desenvolvimento deste trabalho, e por ser capaz de estar lá quando é preciso.

À Ana Isabel Costa, pela amizade, preocupação, força que deu durante este trabalho e acima de tudo pelas brincadeiras que inevitavelmente me fazem rir.

Ao André Almeida, pela amizade, pelas dicas e tempo que tirou para ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

À Helena Moura, pelo voto de confiança e oportunidade na minha eleição para a lista do Núcleo de Geociências, pelo companheirismo, humildade, sinceridade e acima de tudo amizade.

Ao João Grou, pelo tempo que despendeu para ajudar no trabalho desta dissertação, pelas dúvidas tiradas e pela amizade.

Aos meus amigos de faculdade, Tiago Estevão, António Barreto, Carolina Fonseca, João Tomás, André Cortesão, Joel Carvalho, Cristiano Pereira, Filipa Domingos, Janete Gomes, Beatriz Cruz, Marisa Santos, entre muitos outros, que demonstraram amizade e preocupação em fazes menos boas e que proporcionaram em Coimbra, momentos que ficam guardados para a vida.

A todos os outros que apesar da passagem ter sido curta, tiveram a sua importância.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal a caracterização hidrogeológica do perfil localizado entre a praia da Costinha e Camarçã, na região a norte da Figueira da Foz (Portugal), e busca dar um contributo para o esclarecimento da hidrodinâmica entre aquíferos e para a estimação da condutividade hidráulica das unidades hidrogeológicas existentes na Orla Mesocenozóica Ocidental na região hidrográfica das Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego e na área definida para o sistema aquífero Quaternário de Aveiro (O1).

O trabalho dividiu-se em 3 fases: a primeira fase passou pela pesquisa e recolha de informação bibliográfica; a segunda compreendeu os reconhecimentos, a preparação do trabalho de campo e a realização de ensaios hidráulicos e a terceira e última fase completou-se com a análise e tratamento dos dados e a discussão dos resultados.

A pesquisa bibliográfica efetuada para a área em estudo e para a região envolvente e os reconhecimentos de campo de natureza geológica, geomorfológica e estrutural, permitiram colher alguns dados hidrogeológicos que caracterizam o meio subterrâneo local e, em particular, o sistema aquífero Quaternário de Aveiro. Os elementos referidos foram posteriormente relacionados com informações existentes em registos de furos de pesquisa e captação de água na área em estudo e que apresentavam as devidas localizações geográficas, dimensionamento e litologias atravessadas – os mesmos que possibilitaram a realização de um perfil hidroestratigráfico interpretativo, permitindo definir os diferentes níveis aquíferos – aquífero freático (não-confinado) e aquífero semiconfinado.

A informação recolhida de trabalhos realizados da área em estudo permitiu conhecer mais profundamente a hidrodinâmica local, e nomeadamente a condutividade hidráulica (K) das unidades hidrogeológicas existentes no perfil em estudo. Nesta etapa foram utilizadas técnicas de laboratório e de campo, como os *slug tests* e ensaios hidráulicos de recuperação de níveis após bombagem (*recovery after pumping tests*), permitindo a obtenção de dados de K a diversas escalas no perfil. Os resultados obtidos pelos diferentes ensaios, foram analisados através de *software* específico.

A investigação realizada permitiu refinar a geometria do sistema aquífero do perfil da praia da Costinha, bem como perceber a hidrodinâmica do sistema aquífero e desta forma revelar a importância dos recursos hídricos subterrâneos na região de Quiaios – praia da Costinha e prever/propor intervenções e investigações futuras.

Palavras-chave: Quiaios; Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro; Hidrogeologia; Condutividade Hidráulica; Transmissividade.

ABSTRACT

The main purpose of this work is the hydrogeological characterization of the profile located between the Costinha beach and Camarçã, in the north region of Figueira da Foz. It seeks also to contribute to the enlightenment of the hydrodynamics between aquifers and to estimate the hydraulic conductivity of the hydrogeological units of the aquifer system Quaternário de Aveiro (O1) in the coastal watersheds between Vouga and Mondego.

The work was divided into three phases: the collection of bibliographic information; the area recognition, the preparation of the field work and the hydraulic tests; and the final phase was completed with the data analysis and the discussion of the results.

The bibliographical research conducted for the study area and the surrounding region along with the geological, geomorphological and structural field work, allowed to collect some hydrogeological data that characterize the aquifer system Quaternário de Aveiro in its southern sector. Data collected were later related to the existing information on the borehole logs enabling the creation of an interpretative hydrostratigraphic profile, and the definition of different aquifers - phreatic (non-confined) and semiconfined aquifers.

The information gathered allowed a deeper understanding of the local hydrodynamics, in particular the hydraulic conductivity (K) of the existing hydrogeological units in the profile under study. At this stage it were used laboratory and field techniques, such as slug tests and pumping tests with the collection of recovery period water levels, allowing the evaluation of K data at different scales in the profile. The results obtained by different tests were analyzed using specific software.

The research allowed to refine the geometry of the aquifer system from the Costinha beach profile, as well as, to understand the hydrodynamics of the aquifer system and thus reveal the importance of groundwater resources in Quiaios region and to propose future interventions and investigations.

Keywords: Quiaios; Quaternary Aquifer System of Aveiro; hydrogeology; Hydraulic Conductivity; Transmissivity.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Importância da Hidrogeologia e enquadramento do tema estudado	1
1.2.	Objetivos	3
2.	Metodologia	5
2.1.	Recolha e pesquisa de informação bibliográfica	5
2.2.	Reconhecimentos, preparação do trabalho e determinações de campo	6
2.3.	Análise e tratamento dos dados	10
2.3.1.	Fórmulas baseadas na distribuição granulométrica	11
2.3.2.	Ensaio em piezómetros	15
2.3.3.	Análise espacial de dados	29
3.	Caraterização Geral	33
3.1.	Caraterização territorial e institucional	33
3.2.	Caraterização climatológica	35
3.2.1.	Precipitação	35
3.2.2.	Temperatura	36
3.2.3.	Humidade	37
3.2.4.	Evaporação e Evapotranspiração potencial	37
3.2.5.	Vento	38
3.2.6.	Insolação	38
3.2.7.	Classificação Climática	39
3.3.	Caraterização geológica e morfo-estrutural	41
3.3.1.	Geologia regional	41
3.3.2.	Geologia local	47
3.3.3.	Morfo-estrutural	50
3.4.	Classificação do Solo	53
3.5.	Uso e ocupação do solo	53
3.6.	Caraterização hidrogeológica	55
3.6.1.	Hidrogeologia regional	55
3.6.2.	Hidrogeologia local	63
3.7.	Perfil hidroestratigráfico da praia da Costinha	67
4.	Resultados e Discussão	71
4.1.	Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de distribuições granulométricas	72
4.2.	Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de ensaios hidráulicos em piezómetros	89
4.2.1	<i>Slug tests</i>	89
4.2.2	Ensaio hidráulico com recuperação de níveis após bombagem (<i>Pumping tests – recovery period</i>)	97

5. Conclusão	115
5.1. Recomendações	118
Referências Bibliográficas	119

Índice de figuras

Figura 1 – Fluxograma explicativo das fases de trabalho.....	5
Figura 2 – Ensaio de teste de recuperação após bombagem em in situ.....	8
Figura 3 – Geometria do furo em secção bidimensional e em secção tridimensional (Schlumberger Water Services, 2016).	9
Figura 4 – Fluxograma explicativo da análise e tratamento de dados.....	11
Figura 5 – Dados de slug test com resposta superamortecida (overdamped), em aquífero livre com furo totalmente penetrante (Batu, 1998; HydroSOLVE, 2016).....	16
Figura 6 – Dados de slug test com resposta subamortecida (underdamped) em aquífero confinado de alta condutividade hidráulica com furo totalmente penetrante (HydroSOLVE, 2016).	17
Figura 7 – Geometria do furo para interpretação do método de Hvorslev (Schlumberger Water Services, 2016).....	19
Figura 8– Exemplo de dados de campo num gráfico com escala semilogarítmica (Carvalho <i>et al.</i> , 2013).	20
Figura 9 - Geometria do furo para interpretação do método de Bouwer e Rice (Batu, 1998)....	22
Figura 10 – Parâmetros adimensionais A, B e C representados graficamente em função de L_e/r_w . Estes parâmetros são utilizados para determinar $\ln(R_e/r_w)$ (Batu, 1998).	22
Figura 11 – Diagrama esquemático da recuperação de níveis de água em furos de aquíferos após o término da bombagem (Batu, 1998).....	24
Figura 12 – Diagrama explicativo do método de Agarwal (Schlumberger Water Services, 2016).	28
Figura 13 – Fluxograma explicativo dos métodos de análise espacial.....	30
Figura 14 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo na NUTS III, criado no <i>software ArcGis 10.3.1</i> (adaptado de Direção Geral do Território, 2015).	33
Figura 15 - Localização dos furos de sondagem efetuados para instalação de uma rede de monitorização de água subterrânea (Castilho, 2008) com imagem de fundo retirada de Google Earth (2016).....	34
Figura 16 – Valores de precipitação para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).	35
Figura 17 – Valores de precipitação anual acumulada para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).	36
Figura 18 – Valores de temperatura para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).	36
Figura 19 – Carta da humidade média anual relativa do ar (%) às 09:00h (PGBH4, 2012)	37
Figura 20 – Carta da evaporação de piche média anual (mm) (PGBH4, 2012).	38
Figura 21 – Carta da evapotranspiração potencial média anual (mm) (PGBH4, 2012).	38
Figura 22 – Carta da insolação média anual (h) (PGBH4, 2012).	39
Figura 23 – Classificação climática Koppen-Geiger de Portugal Continental, criado no <i>software ArcGis 10.3.1</i> (adaptado de IPMA, 2016).	40
Figura 24 – Excerto da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, com dados de Serviços Geológicos de Portugal (2001) criado no <i>software ArcGis 10.3.1</i> (ver legenda na página seguinte – Figura 24a).	43
Figura 25 – Enquadramento estrutural. Com dados de Cabral e Ribeiro (1988), de Barbosa <i>et al.</i> , (1988) e de Soares <i>et al.</i> , (1993). Imagem de fundo obtida com o Google Earth (2016).....	52
Figura 26 – Excerto da Carta de Solos de Portugal, com informação de base do Atlas Digital do Ambiente, segundo a classificação da FAO (SNIAmb, 2016).	53
Figura 27 – Uso e ocupação do solo, criado no <i>software ArcGis 10.3.1</i> , segundo a classificação da SROA (SNIAmb, 2016).	54
Figura 28 – Unidades Hidrogeológicas e Sistemas Aquíferos, criado no <i>software ArcGis 10.3.1</i> (SNIAmb, 2016).	56
Figura 29 – Diagrama de Piper com amostras recolhidas nos três subsistemas aquíferos (Melo, Cabano e Silva, 2002).	58

Figura 30 – Perfil hidroestratigráfico da praia da Costinha dividido por setores, de orientação WNW-ESE e com um exagero de 20 vezes, criado no software RockWorks 16 (adaptado de Danielsen <i>et al.</i> , 2011).	69
Figura 31 – Striplogs dos furos EST e F8, criados no software RockWorks 16.	77
Figura 32 – Striplog do furo F1, criado no software RockWorks 16.	79
Figura 33 – Striplog do furo F3, criado no software RockWorks 16.	81
Figura 34 – Striplogs dos furos F7 e F4, criados no software RockWorks 16.	83
Figura 35 – Striplogs dos furos F27 e F5, criados no software RockWorks 16.	85
Figura 36 - Perfis de condutividade hidráulica (K) para as formulas empíricas de Hazen, Konezy-Carman e Shepherd, com um exagero de 20 vezes, criados no software RockWorks 16.	87
Figura 37 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F8.	90
Figura 38 - Resultados do 2º ensaio de slug test com subida de nível no furo F8.	90
Figura 39 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F1.	91
Figura 40 - Resultados do 2º ensaio de slug test com subida de nível no furo F1.	91
Figura 41 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F2.	92
Figura 42 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F3.	92
Figura 43 - Resultados do 2º ensaio de slug test com subida de nível no furo F3.	93
Figura 44 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F7.	93
Figura 45 - Resultados do 2º ensaio de slug test com subida de nível no furo F7.	94
Figura 46 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F27.	94
Figura 47 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F5.	95
Figura 48 - Resultados do 1º ensaio de slug test com subida de nível no furo F6.	95
Figura 49 – Curvas teóricas, logarítmicas e semilogarítmicas, de aquíferos-tipo em diferentes condições (Schlumberger Water Services, 2016).	97
Figura 50 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F8, interpretados com o método de recuperação de Theis.	98
Figura 51 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F8, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Neuman.	99
Figura 52 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F1, interpretados com o método de recuperação de Theis.	99
Figura 53 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F1, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	100
Figura 54 – Resultados do 1º ensaio de recuperação TR no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Theis.	101
Figura 55 - Resultados do 1º ensaio de recuperação TR no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	101
Figura 56 – Resultados do 2º ensaio de recuperação TR no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Theis.	102
Figura 57 - Resultados do 2º ensaio de recuperação TR no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	102
Figura 58 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F3, interpretados com o método de recuperação de Theis.	103
Figura 59 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F3, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	103
Figura 60 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F7, interpretados com o método de recuperação de Theis.	104
Figura 61 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F7, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	105
Figura 62 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F27, interpretados com o método de recuperação de Theis.	106
Figura 63 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F27, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.	106
Figura 64 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F5, interpretados com o método de recuperação de Theis.	107
Figura 65 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F5, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero.	108

Índice de tabelas

Tabela 1 – Dados da geometria dos furos aplicados no software Aquifer Test Pro.....	9
Tabela 2 - Valores de C . em $1/(\text{cm.s})$. para a equação de Hazen (segundo Hazen 1911, citado em Domenico e Schwartz, 1990; Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).	12
Tabela 3 – Valores de porosidade e condutividade hidráulica para materiais geológicos de origem sedimentar (Castilho, 2008; segundo diversos autores citados).	13
Tabela 4 - Valores de C_F e i para a equação de Shepherd (adaptado de Shepherd, 1989, citado em Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).....	14
Tabela 5 – Características geomorfológicas das Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego (PGBH4, 2012).	35
Tabela 6 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro (^a Fonte: Silva (1989); citado em Almeida <i>et al.</i> (2000); ^b Fonte: Almeida <i>et al.</i> (2000).	59
Tabela 7 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Viso-Queridas (Almeida et al., 2000).	63
Tabela 8 – Média geométrica para K obtidos pelas fórmulas empíricas.	73
Tabela 9 – Média geométrica de K para cada unidade aquífera em m/d.	74
Tabela 10 – Condutividade hidráulica (K) determinada através de métodos de análise de slug tests	96
Tabela 11 – Condutividade hidráulica (K) para os diferentes métodos de ensaios de recuperação.	109
Tabela 12 – Valores de condutividade hidráulica (K) das unidades aquíferas captadas nos furos F8 a F6, para os diferentes métodos de análise.....	110

Índice de equações

Equação 1	12
Equação 2	12
Equação 3	13
Equação 4	19
Equação 5	21
Equação 6	21
Equação 7	21
Equação 8	24
Equação 9	25
Equação 10	25
Equação 11	25
Equação 12	26
Equação 13	26
Equação 14	27
Equação 15	27
Equação 16	27
Equação 17	27
Equação 18	27

1. Introdução

1.1. Importância da Hidrogeologia e enquadramento do tema estudado

A Hidrogeologia é uma área interdisciplinar, do ramo das ciências geológicas, que nos últimos 150 anos tem vindo a crescer cada vez mais, consolidando-se como uma ciência ambiental, e assumindo por isso importância decisiva, principalmente porque trata de um bem vital, a água.

Na atualidade, o estudo da água subterrânea assume a cada dia uma importância maior, como instrumento capaz de promover soluções para os problemas de suprimento hídrico e de controlo de contaminações, intrínsecos às atividades antrópicas.

Devido ao aumento crescente da população humana, tem havido cada vez mais a necessidade de implementar determinados critérios para proteger os recursos hídricos, pois devido a esse aumento populacional, a poluição hídrica é cada vez maior. Neste contexto, o aproveitamento criterioso da água subterrânea, como fator essencial para o desenvolvimento sustentável, enfrenta pelo menos três desafios. O primeiro, passa pelo estudo do recurso hídrico em termos de **prospecção**, **avaliação** e **exploração**. O segundo, atravessa os domínios da **proteção** e da **conservação**, onde se dá ênfase às contaminações da água subterrânea pelas atividades humanas. O terceiro e último desafio, está associado à necessidade de conhecimentos para **planear** e **gerir**, tanto os diversos usos quanto a proteção da água subterrânea.

A água é um bem essencial, pois é fundamental para o desenvolvimento das comunidades humanas, bem como para sustentar o bom funcionamento dos ecossistemas. Esta insere-se num ciclo, Ciclo Hidrológico, onde existem diversas interações com os domínios terrestres – litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera.

A água encontra-se no nosso Planeta em três estados: líquido, sólido e gasoso. No estado líquido constitui os oceanos, mares, lagos, rios e águas subterrâneas; no estado sólido aparece como gelo e neve, encontrados normalmente nas regiões polares e glaciares, ou mesmo em cristais de gelo na atmosfera; no estado gasoso encontra-se como vapor de água, principalmente na atmosfera. Existem enormes quantidades de água que estão ligadas a rochas de diferentes composições mineralógicas no interior da crosta, e são estas que por se encontrarem em movimento permanente, e em constante mudança de estado (líquido, sólido e gasoso), necessitam de uma avaliação precisa, tendo por base o armazenamento total da água na Terra (Shiklomanov, 1998).

Segundo Shiklomanov (1998) a hidrosfera da Terra contém uma enorme quantidade de água – cerca de 1386 milhões de quilómetros cúbicos. No entanto, 97,5% dessa quantidade são águas salinas e apenas 2,5% é água doce. A maior parte desta água doce (68,7%) está na forma de gelo em coberturas de neve permanente na Antártida, no Ártico e em regiões montanhosas. Em seguida, com 29,9% encontram-se as águas subterrâneas. Apenas 0,26% da quantidade de água doce da Terra está concentrada nos lagos, reservatórios e sistemas fluviais, onde é mais facilmente acessível para as nossas necessidades económicas e absolutamente vital para os ecossistemas aquáticos.

A água subterrânea é uma fração importante no total de água que constitui o nosso planeta e aparece com 1,7% da percentagem de reservas globais do total de água (Shiklomanov, 1993), sendo menos de 1 % apropriada para consumo humano, o que a torna mais valiosa, no entanto, as reservas de água subterrânea são 300 vezes superiores às reservas de água superficial. É de notar que as águas subterrâneas são mais estáveis quimicamente e biologicamente do que as águas superficiais, desde que não existam focos contaminantes, e permanecem um elevado tempo de residência entre os vazios das rochas, conferindo-lhes propriedades únicas e colocando-as num estatuto importante no campo dos recursos hídricos (Hipólito e Vaz, 2011).

No passado, considerava-se a água um recurso “inesgotável”, sendo atualmente considerada como um recurso cuja disponibilidade é fortemente condicionada pela variabilidade climática e pela forma como se utiliza, consome e rejeita (Hipólito e Vaz, 2011).

Os profissionais da Hidrogeologia executam diversas tarefas, das quais se destacam: investigação, pesquisa, captação e gestão das massas de água.

A prospeção hidrogeológica reúne meios de estudos diretos e indiretos, tais como: reconhecimentos geológicos e geomorfológicos de terreno, cartografia geológico-estrutural, cartografia fotogeológica e hidrogeológica, rastreios hidroquímicos e levantamentos geofísicos (Castany, 1982; Fetter, 2001; Sanders, 1998; Assaad *et al.*, 2004).

A presente dissertação, que se insere no Mestrado de Geociências – ramo de Recursos Geológicos, procura mostrar a importância dos recursos hídricos subterrâneos na região estudada, a relação destes com a geologia, geomorfologia, tectónica, e a importância da hidrodinâmica subterrânea, permitindo o conhecimento das características do escoamento hídrico e as propriedades hidráulicas das unidades hidrogeológicas. A utilização de técnicas de laboratório e de campo, como os *slug tests*

e os ensaios hidráulicos de recuperação de níveis após bombagem, permitem o conhecimento de algumas características hidráulicas das unidades hidrogeológicas, a diversas escalas. A recolha e o tratamento destes dados com base em diversos métodos, são suportados por um *software* específico. A necessidade do estudo e conhecimento da condutividade hidráulica para o perfil em estudo e do sistema aquífero onde este está inserido, é justificado pelo facto de existirem poucas publicações científicas realizadas para a investigação física detalhada do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro, visto que a incidência maior é para o estudo da hidrogeoquímica do mesmo. Esta dissertação pretende assim contribuir para o aumento do conhecimento da hidrodinâmica do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro.

1.2. Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é efetuar a caracterização hidrogeológica das unidades do sistema aquífero do Quaternário de Aveiro existentes ao longo de um perfil E-W entre a praia da Costinha e a localidade de Camarçã, a norte de Quiaios (Figueira da Foz, Portugal).

O trabalho apresentado teve por base as seguintes etapas:

- (1) – Caracterização geológica, geomorfológica e hidrogeológica do perfil selecionado;
- (2) – Refinamento da geometria do sistema aquífero do perfil da praia da Costinha a Camarçã;
- (3) – Estimação da condutividade hidráulica das unidades aquíferas e confinantes, a partir de diferentes métodos científicos e a diferentes escalas;
- (4) Caracterização hidrodinâmica conceptual do sistema aquífero existente no perfil em estudo.

Com este trabalho pretende-se aumentar o conhecimento hidrogeológico local, no que diz respeito à hidrodinâmica.

2. Metodologia

Serão descritos neste capítulo, os diversos procedimentos e processos utilizados na realização do estudo a que o título da dissertação remete. Inicialmente começou-se com a recolha e pesquisa de informação bibliográfica existente até ao presente ano, seguido dos devidos reconhecimentos e determinações de campo, passando posteriormente para a análise e tratamento de dados dos furos de sondagem e criação de modelos conceptuais. Para o auxílio na análise e tratamento de dados, bem como a realização dos enquadramentos, perfis, tabelas e montagens, foram usadas diversas aplicações computacionais adequadas a cada trabalho (Figura 1).

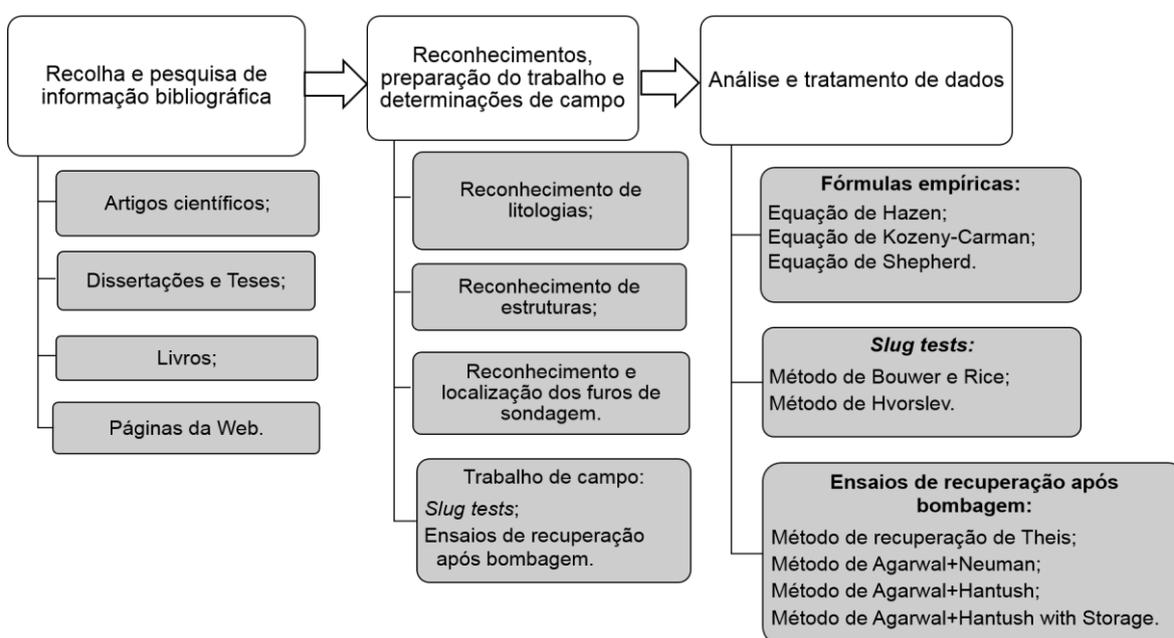


Figura 1 – Fluxograma explicativo das fases de trabalho.

2.1. Recolha e pesquisa de informação bibliográfica

A pesquisa bibliográfica incidiu em artigos científicos, dissertações, livros e páginas da *Web*, que estivessem, em termos globais, direcionados para as temáticas relevantes ao estudo da geologia, da tectónica e da hidrogeologia de aquíferos porosos.

A pesquisa bibliográfica envolveu também a consulta de cartografia existente para a área em estudo, como por exemplo a folha n.º 228 da Carta Militar de Portugal, do Instituto Geográfico do Exército (2001), a folha 19-A (Cantanhede) da Carta Geológica de Portugal, dos Serviços Geológicos de Portugal e respetiva notícia explicativa (Barbosa, Soares, Rocha e Henriques, 1998) e variada cartografia digital.

2.2. Reconhecimentos, preparação do trabalho e determinações de campo

O trabalho de campo realizou-se durante os meses de novembro de 2015 a agosto de 2016. Durante esses meses foram realizadas diversas atividades, das quais se destacam:

Reconhecimento de litologias – nesta fase existiu o cuidado na observação da litologia no campo e em registos litológicos dos furos de sondagem, para mais tarde perceber com a leitura da bibliografia existente as diversas litologias documentadas.

Reconhecimento de estruturas – nesta fase existiu o cuidado na observação das estruturas existentes na área em estudo, para mais tarde perceber com a leitura da bibliografia existente as diversas estruturas documentadas.

Reconhecimento e localização dos furos de sondagem – nesta fase procurou-se localizar os diversos furos de sondagem instalados entre a praia da Costinha e Camarçã, para posterior recolha de dados através de ensaios hidráulicos realizados *in situ*, tais como *slug tests* e *pumping tests* (ensaios de bombagem e ensaios de recuperação após bombagem) acompanhados de registos fotográficos.

O trabalho de campo foi fundamental nesta etapa. Os dados recolhidos foram posteriormente analisados com um *software* específico, *Aquifer Test Pro 2016.1*.

Para o trabalho de campo foram necessários diversos equipamentos, como um *slug* flexível equipado com válvula de fundo; GPS; sonda de nível com fita métrica graduada; cordas; caderneta de campo; lápis; caneta de filtro; inventário de *slug test* e *pumping test*; calculadora; cronómetro; fita adesiva/fita isolante; galochas; contentores com diversos volumes; ferramentas e chaves dos furos; bomba de extração; mangueiras; kit de primeiros socorros, entre outros.

Para que o trabalho de campo fosse desempenhado com sucesso, foram necessárias no mínimo três pessoas, cada uma com funções distintas: uma para controlar o tempo através de cronómetro; a segunda para registar os dados da profundidade da água através de marcas com marcador permanente na fita graduada da sonda; e a terceira para deslocar o *slug* e registar dados da profundidade da água juntamente com o tempo na folha de inventário para *slug test*.

Assim que se chegou ao primeiro local a W do perfil da praia da Costinha (F5 e F6), reuniu-se todo o equipamento necessário perto do primeiro furo a ser intervencionado, facilitando a chegada rápida a qualquer material necessário para o momento, sendo realizado este trabalho de igual forma para todos os outros furos.

Sempre que se estudava um furo, e antes de começar qualquer teste, recolhia-se informação relativa ao nível estático da água. Colocava-se então o *slug* e a sonda de nível no interior do furo e esperava-se que o nível de água atingisse de novo o nível estático antes de se iniciar o ensaio.

De seguida removia-se o *slug*, no início da contagem do tempo com o cronómetro, e observava-se a descida quase instantânea da água no interior do furo, e rapidamente se iniciava o registo incessantemente de dados da subida da água até que esta atingisse o nível estático inicial (nível registado antes de iniciar qualquer teste).

Assim que se certificava a obtenção do nível estático inicial, dava-se por terminado o teste, parando o tempo e passando para o inventário todos os dados registados pelas marcas na fita graduada da sonda, bem como o tempo registado no cronómetro.

Estes procedimentos eram efetuados por norma duas vezes para o mesmo furo e de igual forma para todos os outros furos do perfil em estudo, exceto para F5, F27 (apenas um ensaio de *slug test*) e F2 (substituído os dois ensaios de *slug test* por dois ensaios de recuperação após bombagem).

Como se pode verificar o método *slug test* usado escolhido foi a diminuição de pressão hidrostática água, pela remoção do *slug*, ou seja, teste de subida de nível ou *rising-head test*. O *rising-head test* foi escolhido, visto ser o único a mostrar resultados notórios para o método de leitura usado, já que para o teste de *falling-head* a subida do nível de água no furo era compensada muito rapidamente e não era suficiente para que se conseguissem acompanhar as mudanças na descida do nível da água, e, portanto, não nos proporcionava obter dados fidedignos e úteis para este trabalho.

Subsequentemente aos *slug tests*, e depois de se atingirem os níveis estáticos, iniciavam-se os ensaios hidráulicos a bombagem constante com recuperação de níveis (designados genericamente por *pumping tests* no *software Aquifer Test*), que englobavam um procedimento de campo distinto. Para que fossem realizados corretamente era necessária a utilização de uma bomba de extração e de manguueiras, sendo uma delas de aspiração, a qual era colocada no interior do furo, e outra de extração que era direcionada para o interior de contentores cujo volume era determinado previamente, para mais tarde se calcular o volume extraído num determinado intervalo de tempo (caudal extraído) mantendo constante a descarga da bomba (Figura 2).



Figura 2 – Ensaio de teste de recuperação após bombagem em *in situ*.

Dava-se início à bombagem da água para o exterior do furo, começando igualmente a contagem do tempo, e media-se o rebaixamento máximo para o caudal bombeado e o caudal extraído. Após atingirmos o rebaixamento máximo, e quando este se mantinha constante, desligava-se a bomba e começavam a registar-se os dados da subida da água no furo, através de marcas feitas com marcador permanente na fita graduada da sonda. Esperava-se o tempo necessário para que o furo voltasse a atingir o nível estático inicial. Em seguida registavam-se os dados e os tempos no inventário.

Para o tratamento dos dados obtidos em campo, foi usado o *software Aquifer Test Pro* (versão 2016.1), que permite a obtenção de análises gráficas de dados de ensaios de bombagem e *slug test*. Este *software* é simples de utilizar e calcula os valores da condutividade hidráulica (K) pelos métodos de Hvorslev (1951) e Bouwer e Rice (1976), para os métodos usados no tratamento dos dados dos testes de recuperação, obtém-se os cálculos da transmissividade (T) que posteriormente serão usados para a obtenção da condutividade hidráulica (K): método de recuperação de Theis; método de Agarwal+Neuman; método de Agarwal+Hantush; método de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero.

Para que o *software* conseguisse realizar os cálculos, foi necessário fornecer as mesmas informações relativas à geometria dos furos e dos aquíferos (Tabela 1) (Figura 3).

Tabela 1 – Dados da geometria dos furos aplicados no *software* Aquifer Test Pro.

Furos	R (m) ^a	L (m) ^b	b (m) ^c	r (m) ^d	B (m) ^e
F8	0,0315	1	6,00	0,0315	0,125
F1	0,0315	1	9,85	0,0315	0,125
F2	0,0315	1	2,73	0,0315	0,125
F3	0,0315	1	10,31	0,0315	0,125
F7	0,0315	1	8,79	0,0315	0,125
F27	0,0315	0,5	4,09	0,0315	0,125
F5	0,0315	0,8	1,8	0,0315	0,125
F6	0,0315	0,6	1,31	0,0315	0,125

^aR(m) – raio do tubo-ralo;

^bL(m) – comprimento do tubo-ralo;

^cb(m) – distância do topo do aquífero para a base do tubo-ralo;

^dr(m) – raio do revestimento do furo;

^eB(m) – raio do furo.

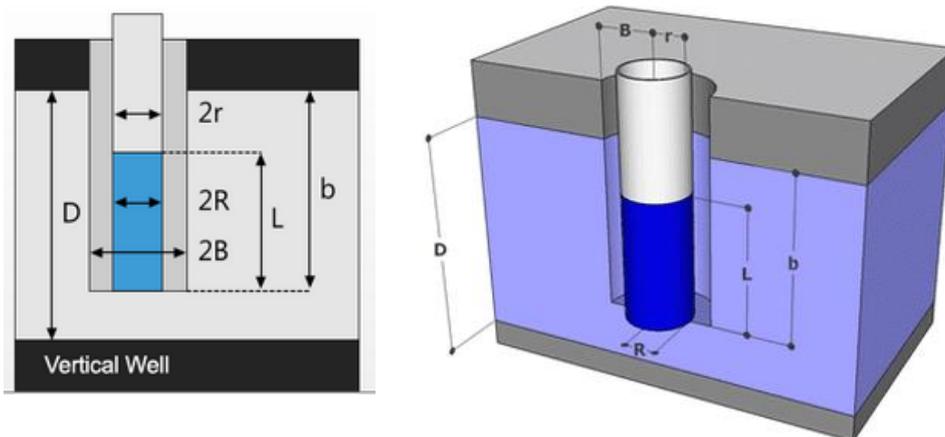


Figura 3 – Geometria do furo em secção bidimensional e em secção tridimensional (Schlumberger Water Services, 2016).

De seguida introduziram-se todos os dados relativos ao tempo (s), à profundidade da água (m), ao nível estático da água (nível estático inicial - m) e ao nível da água em $t=0$ (m), específicos de cada furo e para o perfil em estudo. Para os dados dos testes de recuperação, era ainda necessário introduzir os dados do tempo (s) e da descarga (m^3/s).

No final e já na análise dos dados, escolheram-se diversos métodos para o tratamento, os quais foram escolhidos tendo em conta o ensaio realizado e o tipo de aquífero que cada furo captava. Assim escolheram-se para os *slug tests*, o método de Hvorslev (1951) e o método de Bouwer e Rice (1976). Para analisar os resultados dos testes de recuperação, usaram-se os métodos de recuperação de Theis; de

Agarwal+Neuman; Agarwal+Hantush e Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero. Estes métodos foram escolhidos pois adequavam-se às condições hidrogeológicas existentes na área em estudo, bem como a geometria do furo (se totalmente ou parcialmente penetrante). Podem ser vistos todos os dados de campo nas tabelas em anexo (ANEXO 1).

Ao longo do trabalho no *Aquifer Test Pro* foram encontradas algumas dificuldades na utilização dos diferentes métodos. A inserção de dados é fácil, mas é preciso ter em conta diversos fatores, tais como, o cálculo prévio do tempo de bombagem (t) a partir do momento da paragem da bomba nos testes de recuperação, seguido da colocação dos valores dos níveis da água durante a recuperação. Mas foi possível que os diversos métodos para ensaios de bombagem ao dispor do *Aquifer Test Pro* funcionassem e dessem resultados credíveis. Outra das dificuldades foi a colocação dos valores da taxa de descarga, pois todos os ensaios de bombagem foram realizados a uma taxa de descarga constante (caudal constante), mas o *software* exige que se escolha a descarga variável para contabilizar o tempo em que esta já não se processa, para que os métodos de recuperação presentes no *software* funcionem. Colocou-se então a opção de taxa de descarga variável, para o *Aquifer Test Pro* assumir esses valores após o tempo de término da bombagem.

No geral é possível dizer-se que a introdução dos dados de *slug tests* é mais simples e mais fáceis de tratar, do que a introdução dos dados dos *pumping tests* que é mais trabalhosa e obriga a uma maior atenção na obtenção dos resultados finais.

2.3. Análise e tratamento dos dados

O principal objetivo desta dissertação é a quantificação de parâmetros hidráulicos, nomeadamente a condutividade hidráulica (K), no perfil da praia da Costinha, usando os métodos científicos adequados. Após a leitura exaustiva de artigos e livros científicos optou-se pela escolha de diversos métodos que se enquadrassem com as características geológicas e hidrogeológicas do perfil em estudo, bem como da geometria dos furos de monitorização existentes no local (Figura 4).

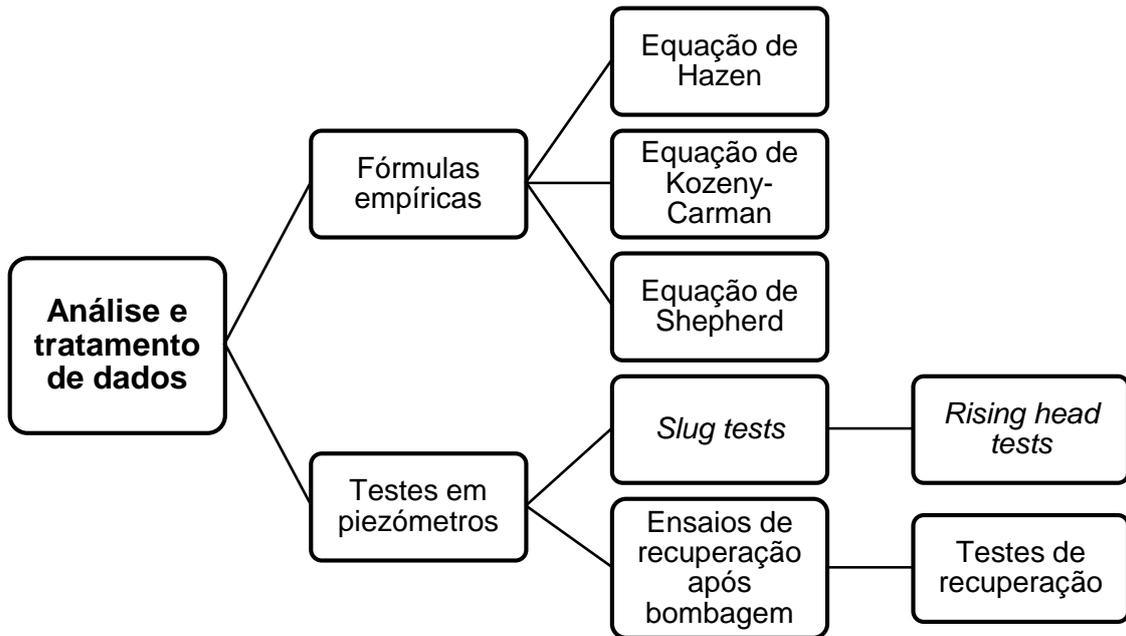


Figura 4 – Fluxograma explicativo da análise e tratamento de dados.

Existiu o cuidado de selecionar diferentes métodos de determinação da condutividade hidráulica que proporcionassem resultados confiáveis, destacando-se os seguintes:

- a) Fórmulas empíricas – estimacão de K através das equações de Hazen, Kozeny-Carman e Shepherd (Batu,1998; Fetter, 2001; Kalbus, Reinstof e Schirmer, 2006; citados em Castilho, 2008) que têm por base a distribuição granulométrica dos sedimentos.
- b) Testes em piezômetros – estimacão de K através de *slug tests* e de ensaios de recuperaçãõ após bombagem.

2.3.1. Fórmulas baseadas na distribuição granulométrica

Segundo Batu (1998), as equações de Hazen e Kozeny-Carman apresentam valores semelhantes entre si, não esquecendo que para a equaçãõ de Kozeny-Carman se usou o d_{10} (diâmetro tal que 90% da distribuição granulométrica é mais grosseira) como d_m .

Equaçãõ de Hazen – foi criada em 1892 (Batu,1998; Kalbus, Reinstof e Schirmer, 2006; citados em Castilho, 2008) e retomada em 1911 (Domenico e Schwartz, 1990; Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001; citados em Castilho, 2008). Esta

equação é aplicável em casos de sedimentos não consolidados com diâmetros efetivos (d_{10}) entre 0,1 e 3 mm e tem como base a equação 1:

$$K_{Hazen} = C \cdot (d_{10})^2 \quad \text{equação 1}$$

Onde:

K – condutividade hidráulica (cm/s);

C – constante que depende da granulometria e calibragem da população, em 1/(cm.s) (Tabela 2);

d_{10} (diâmetro efetivo da população) – tamanho do grão (cm) tal que 90% das partículas são mais grosseiras.

Tabela 2 - Valores de C . em 1/(cm.s). para a equação de Hazen (segundo Hazen 1911, citado em Domenico e Schwartz, 1990; Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).

Material Geológico	C em 1/(cm.s)
Areia muito fina, mal calibrada a bem calibrada	40-80
Areia fina, mal calibrada a moderadamente calibrada	40-80
Areia média, moderadamente calibrada a bem calibrada	80-120
Areia grosseira, mal calibrada a moderadamente calibrada	80-120
Areia grosseira, moderadamente calibrada a bem calibrada	120-150

Equação de Kozeny-Carman – foi criada em 1927, proposta por Kozeny e mais tarde modificada por Carman (1937,1956; citado em Batu, 1998). Segundo Carrier (2003; citado em Odong, 2008) esta equação não é apropriada para sedimentos com granulometria superior a 3 mm ou sedimentos argilosos (equação 2).

$$K_{K-C} = \frac{\rho_w g}{\mu_w} \cdot \left[\frac{n^3}{(1-n^2)} \right] \cdot \frac{d_m^2}{180} \quad \text{equação 2}$$

Onde:

K_{K-C} – condutividade hidráulica (m/s);

ρ_w – massa volúmica do fluido, em kg/m³; g – aceleração da gravidade, em m/s²;

μ_w – viscosidade do fluido, em Pa.s ou kg/(m.s); n – porosidade (Tabela 3);

d_m – tamanho representativo da amostra (em m), muitas vezes tomado como a mediana (d_{50}) (Batu, 1998) ou o diâmetro efetivo (d_{10}), mas que pode ser outro diâmetro que caracterize a população granulométrica.

Tabela 3 – Valores de porosidade e condutividade hidráulica para materiais geológicos de origem sedimentar (Castilho, 2008; segundo diversos autores citados).

Materiais geológicos	Porosidade		Condutividade hidráulica (cm/s)	
	Intervalo ^a	Intervalo ^{b,c}	Intervalo ^a	Intervalo ^e
<u>Não consolidados</u>				
Argila	0,35-0,57	0,4-0,7	(0,1-47)x10 ⁻⁸	(0,1-47)x10 ⁻⁸
Silte	0,34-0,61	0,35-0,50	(0,09-7090)x10 ⁻⁷	(1-20000)x10 ⁻⁷
Areia fina	0,26-0,53		(0,2-189)x10 ⁻⁴	(0,2-200)x10 ⁻⁴
Areia média			(0,9-567)x10 ⁻⁴	(0,9-500)x10 ⁻⁴
Areia grosseira	0,31-0,46		(0,9-6610)x10 ⁻⁴	(0,9-6000)x10 ⁻⁴
Areia		0,25-0,50		
Areão	0,25-0,38			
Seixo	0,24-0,38	0,20-0,40	(0,3-31,2)x10 ⁻¹	(0,3-30)x10 ⁻¹
Mistura de seixo e areia	0,20-0,35 ^d	0,15-0,35		
Areias dunares				
<u>Consolidados</u>				
Siltito	0,21-0,41		(0,1-142)x10 ⁻⁸	(0,1-140)x10 ⁻⁸
Arenito	0,14-0,49	0,05-0,35	(0,5-2270)x10 ⁻⁶	(0,03-600)x10 ⁻⁶
Calcário	0,07-0,56	<0,01-0,20		(0,1-600)x10 ⁻⁶
Calcário carsificado		0,05-0,5		

^a - Segundo Morris e Johnson (1967) e Mercer *et al.* (1982); citados em Batu (1998).

^b - Segundo Driscoll (1986); Freeze e Cherry (1979); Roscoe Moss (1990); citados em Weight e Sonderegger (2000).

^c - Segundo Domenico e Schwartz (1990); Freeze e Cherry (1979), Fetter (2001); Narashimhan e Goyal (1984), citados em Delleur (2007).

^d - Meinzer (1923); Davis (1969), Cohen (1965); MacCary e Lambert (1962), citados em Fetter (2001).

^e - Segundo Domenico e Schwartz (1990).

Equação de Shepherd – foi criada em 1989, através de análises estatísticas efetuadas a 19 conjuntos de dados de condutividade hidráulica *versus* granulometria (Batu, 1998).

$$K_{Shepherd} = (3,53 \times 10^{-4}) C_F (d_{50})^i \quad \text{equação 3}$$

Onde:

$K_{Shepherd}$ – condutividade hidráulica em cm/s, convertida pelo fator $3,53 \times 10^{-4}$;

C_F – coeficiente de forma;

d_{50} – diâmetro mediano (mm);

i – inclinação da reta obtida na projeção log d-logK entre 1,5 e 2 (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de C_F e i para a equação de Shepherd (adaptado de Shepherd, 1989, citado em Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).

MATURIDADE ↑	Ambiente deposicional	C_F	i
	Esferas de vidro	40 000	2
	Dunas eólicas	5 000	1,85
	Depósitos de praia	1 600	1,75
	Depósitos fluviais	450	1,65
	Rochas sedimentares consolidadas	100	1,50

Todos os solos, na sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos e nas proporções das mais variadas. A determinação do tamanho das partículas e as suas respetivas percentagens de ocorrência permitem obter a função distribuição de partículas do solo, que é denominada de distribuição granulométrica.

A distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e seixos, é obtida através do processo de crivagem ou peneiração de uma amostra seca em estufa, enquanto que, para siltes e argilas se utiliza a sedimentação dos sólidos em meio líquido. Em caso de solos que apresentam partículas tanto da fração grosseira (areias e seixos) quanto na fração fina (silte e argila) torna-se necessária a análise granulométrica conjunta.

Os dados das análises granulométricas dos sedimentos foram obtidos por consulta de Castilho (2008), que realizou a análise granulométrica das amostras de sedimentos atravessados pelas sondagens aquando da colocação de piezómetros na zona em estudo. Segundo a autora, os sedimentos com fração superior a 2 mm inferior a 5% foram analisados através de difração de laser através de um aparelho Coulter® LS 230, que possibilitou determinar o tamanho de partículas entre 0,04 e 2000 μm . No caso das amostras com percentagem em peso da fração superior a 2 mm acima de 5%, fez-se ainda a crivagem, em coluna $1/2 \text{ } \varnothing$, para diâmetros superiores a 63 μm . Os resultados da análise granulométrica com os dois métodos (difração de laser e crivagem) foram depois integrados através da metodologia SLCombo (Dinis e Castilho, 2012). Para a aprovação dos resultados da análise por difração de laser, foi efetuada a determinação da granulometria de uma amostra padrão recomendada pelo fabricante (Castilho, 2008).

2.3.2. Ensaio em piezômetros

Os *slug tests* são usados para obter uma estimativa da condutividade hidráulica do aquífero ou material do aquífero em torno do piezômetro onde são realizados. Estes têm por base a remoção abrupta, adição, ou deslocamento de um volume conhecido de água e do subsequente controle de mudanças no nível da água até que esta volte ao seu estado de equilíbrio. Para que se obtenham resultados fiáveis é necessário que a água tenha aumentado ou diminuído o nível, em cerca de 10 cm a 50 cm (Kruseman e de Ridder, 2000). A estabilização do nível da água (nível estático da água) pode ser tão rápida que, na maioria das vezes, só se pode acompanhá-lo por meio de transdutores de pressão. Quando se atinge o nível estático da água instantaneamente, significa que poderemos estar perante um nível aquífero com transmissividade de, por exemplo, 250 m²/d (Kruseman e de Ridder, 2000). As medições são registadas e podem ser analisadas com diversos métodos, conforme o tipo de aquífero e os dados obtidos (Sanders, 1998; Santos *et al.*, 2015). É preciso ter em conta que os *slug tests* apenas permitem que se determine as características de um pequeno volume de material do aquífero ao redor do furo, e este volume pode ter sido perturbado durante a perfuração e construção do furo (Kruseman e de Ridder, 2000). No entanto alguns autores (Kruseman e de Ridder, 2000) afirmam que através dos *slug tests*, se podem obter valores de transmissividade bastante precisos.

Existem dois tipos de *slug tests*, os **testes de pressão**, onde se exerce uma pressão com ar ou água (normalmente com água), adequado a formações em que K é inferior a 10⁻⁷ cm/s. O decaimento da pressão é monitorizado durante um período de tempo usando transdutores de pressão ligados a registadores de dados. A taxa de decaimento está relacionada com K e S da formação testada. Este teste é geralmente aplicada em formações rochosas caracterizadas por baixo K. Os **testes de vácuo**, podem ser usados para avaliar o K de depósitos glaciares, onde o nível de água sobe através da indução de condições de vácuo e assim que se atinge a altura desejada e for permitido que a formação retorne ao equilíbrio hidrostático anterior, o vácuo é quebrado sendo a recuperação monitorizada. Os dados são avaliados utilizando as mesmas técnicas que são utilizadas para avaliar os dados de *slug tests* convencionais (OhioEPA, 1995).

Os *slug tests* podem ser também classificados em **rising head tests (testes de subida de nível)** e **falling head tests (testes de descida de nível)**. Ambos os testes têm o objetivo de induzir uma mudança súbita do nível da água no interior do furo ou piezômetro, com a remoção ou introdução de um volume conhecido de água ou de um

sólido. Para os testes de subida de nível (*rising head tests, RHT*), um volume conhecido de água ou um sólido (*slug*) é subitamente removido do furo, provocando a descida instantânea do nível da água no interior do furo, medido por transdutor de pressão ou sonda de nível de água, em função do tempo, enquanto o nível de água sobe para retornar à sua posição de equilíbrio. Para os testes de descida de nível (*falling head tests, FHT*) um volume de água ou um sólido (*slug*) é subitamente introduzido no interior do furo, provocando subida instantânea do nível da água no interior deste, que é medido por transdutor de pressão ou sonda em função do tempo enquanto desce para retornar à sua posição de equilíbrio (Batu, 1998).

Para o tratamento dos dados de campo, podem ser usados diferentes métodos dependendo das litologias e das condições hidráulicas presentes em campo. Em casos de terrenos que apresentam litologias com baixa a moderada condutividade hidráulica, mostrando graficamente os dados dispostos sem grandes oscilações (Figura 5). A resposta do nível da água é classificada como superamortecida (*overdamped*), sendo os dados posteriormente analisados pelo **método de Hvorslev (1951)**, **método de Bouwer e Rice (1976)** e ainda o **método de Cooper et al. (1967)**, entre outros (Sanders, 1998; Weight, 2008; HydroSOLVE, 2016).

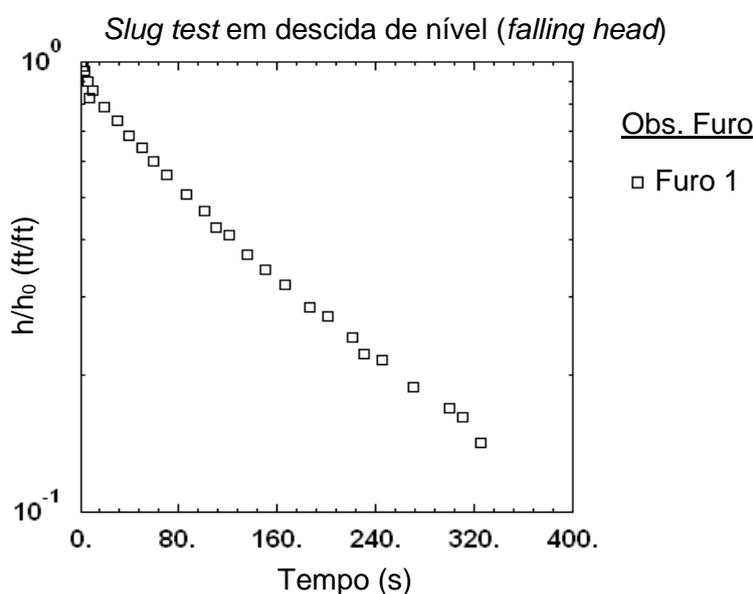


Figura 5 – Dados de *slug test* com resposta superamortecida (*overdamped*), em aquífero livre com furo totalmente penetrante (Batu, 1998; HydroSOLVE, 2016).

Em casos de terrenos com litologias muito favoráveis à circulação de água, onde existe tendencialmente elevada a muito elevada condutividade hidráulica, os dados são graficamente dispostos de forma oscilatória (Figura 6) na fase inicial do ensaio. A resposta do nível da água às oscilações é classificado de resposta subamortecida

(*underdamped*), e os dados são posteriormente analisados pelo **método de van der Kamp (1976)**, e **método de Kipp (1985)** entre outros (Sanders, 1998; Weight, 2008; HydroSOLVE, 2016).

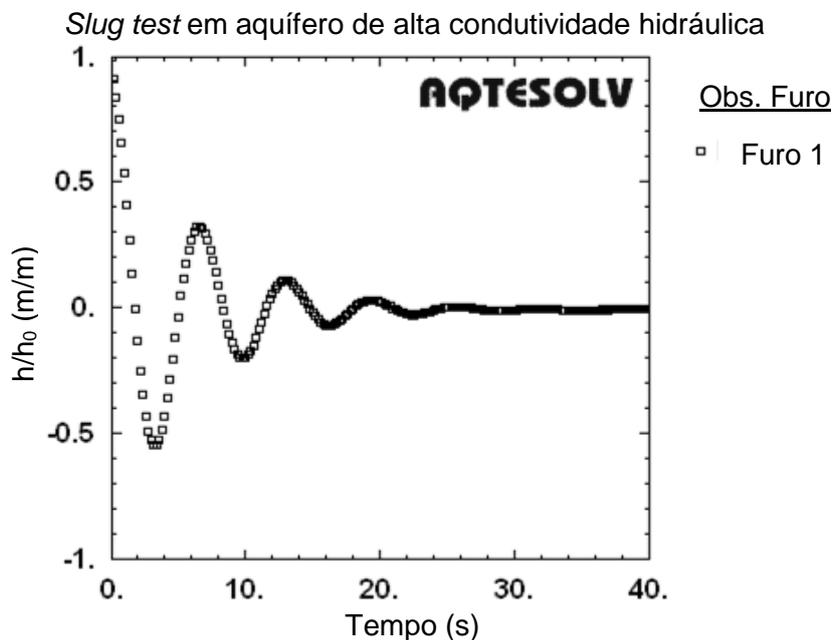


Figura 6 – Dados de *slug test* com resposta subamortecida (*underdamped*) em aquífero confinado de alta condutividade hidráulica com furo totalmente penetrante (HydroSOLVE, 2016).

Na área em estudo as litologias presentes deverão apresentar condutividade hidráulica moderada a elevada, pois os aquíferos no geral têm quantidades reduzidas de silte e argila, mas que mesmo assim condicionam a circulação da água entre os poros.

As principais vantagens obtidas com a realização de *slug tests* são: o baixo custo e o curto tempo para a execução dos procedimentos; a adequação a diversos tipos de furos; a quantidade reduzida de efluentes gerados; podem ser realizado por uma pessoa quando se utiliza o transdutor de pressão. Por outro lado, algumas desvantagens limitam a aplicação dos *slug tests*: a primeira é que os mesmos avaliam apenas uma pequena parte do aquífero, e outra desvantagem é que os resultados podem ser influenciados pelo cascalho ou areia existentes no maciço filtrante do furo (Carvalho *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2015).

Os **ensaios de recuperação após a bombagem (*pumping tests*)** envolvem a aplicação de uma tensão no aquífero por extração das águas subterrâneas a partir de um furo de bombagem ou de um piezômetro e a medição da consequente resposta do

aquífero através da monitorização do rebaixamento/subida de nível da água em função do tempo. Essas medições são então incorporadas numa equação de fluxo do furo adequada às condições do ensaio e ao tipo de aquífero analisado, para calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero. Os ensaios de bombagem são realizados para determinar: a quantidade de água subterrânea que pode ser extraída a partir de um furo com base no rendimento a longo prazo, e assim a eficiência; as propriedades hidráulicas de um ou mais aquíferos (*T*, *K-horizontal*, *K-vertical* e *S*); os efeitos espaciais visíveis no aquífero durante/após a extração de água; a profundidade adequada a que se deve colocar a bomba e as informações sobre a qualidade da água e a sua variabilidade com o tempo. É preciso dar especial atenção à taxa de descarga do furo, pois esta deve ser monitorizada durante todo o ensaio, havendo em muitos ensaios a necessidade de que seja mantida constante. Estes ensaios podem ser realizados com ou sem furos de observação dependendo dos parâmetros que se queiram determinar.

Para analisar e tratar os dados de campo, devemos ter em consideração as condições geológicas e hidrogeológicas presentes na área em estudo, o que neste caso se reflete no uso de métodos que permitam obter dados aceitáveis em aquíferos semiconfinados e não confinados (freáticos). Para os dados recolhidos através de ensaios de bombagem (com teste de recuperação) utilizaram-se alguns métodos de análise compatíveis com o tipo de aquíferos que se suponha existirem na zona como o método de recuperação de Theis; método de Agarwal+Neuman; método de Agarwal+Hantush e o método de Agarwal+Hantush com armazenamento (OhioEPA, 1995; Kruseman e de Ridder, 2000; Weight, 2008).

a) **Métodos de tratamento de dados para *slug tests***

Método de Hvorslev – foi criado em 1951, e pode ser aplicado para, aquíferos livres e confinados, de extensão praticamente infinita, homogéneo, isotrópico, de espessura uniforme, baixo gradiente hidráulico. O furo pode ser parcialmente ou totalmente penetrante no aquífero, com fluxo radial horizontal e água acima do limite superior da secção filtrante (tubo-ralo). Este método considera o raio do revestimento, comprimento do tubo-ralo e o raio de perfuração do furo. As medições de rebaixamento/recuperação devem ser analisadas em intervalos de tempo pré-determinados. Apresenta-se na Figura 7 a geometria do furo para este método (Chirlin, 1989; Weight, 2008).

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{L}{R}\right)}{2LT_L} \quad \text{equação 4}$$

Onde:

K = condutividade hidráulica (L/T; por exemplo, cm/s);

R = raio da perfuração (L; por exemplo, cm);

r = raio do revestimento (L; por exemplo, cm);

h_0 = altura do nível da água no instante inicial do ensaio ($t=0$) (L; por exemplo, cm);

h_t = altura do nível da água no instante t (L; por exemplo, cm);

T_L = tempo onde $h_t/h_0 = 0,37$ (37% do rebaixamento/recuperação) (T);

b = espessura do aquífero (L; por exemplo, cm);

L = comprimento do tubo-ralo ou secção filtrante (L; por exemplo, cm).

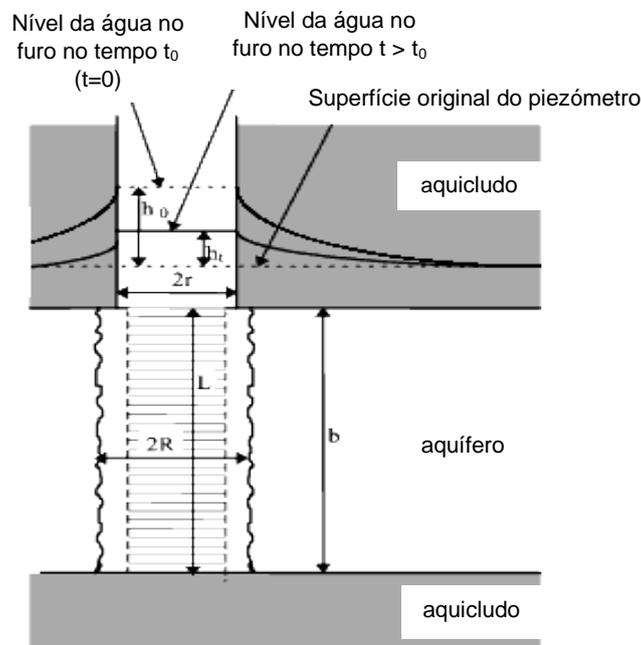


Figura 7 – Geometria do furo para interpretação do método de Hvorslev (Schlumberger Water Services, 2016).

As variações do nível da água com o tempo em relação ao nível da água no tempo zero são avaliadas por meio do cálculo de h_t/h_0 (onde h_t é o nível da água medido no tempo t e o h_0 o nível da água no tempo t_0 , inicial).

Os dados de campo devem ser colocados num gráfico semilogarítmico, como vemos na Figura 8 (Sanders, 1998; Carvalho *et al.*, 2013).

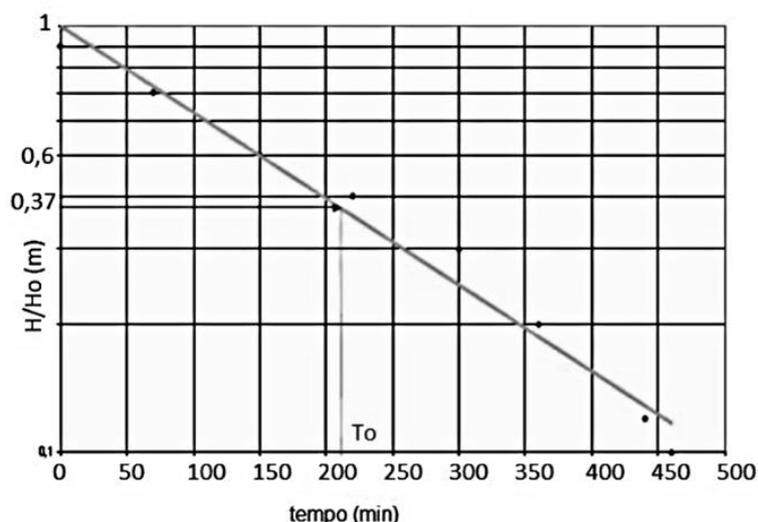


Figura 8– Exemplo de dados de campo num gráfico com escala semilogarítmica (Carvalho *et al.*, 2013).

No gráfico, os valores da razão de rebaixamento (h_t/h_0) são colocados em escala logarítmica e o tempo t (s) em escala normal. O método de Hvorslev (1951) é baseado no cálculo da inclinação da reta, observando-se o tempo quando $h_t/h_0 = 0,368$ (cujo o log natural é igual a -1). Segundo Hvorslev (1951) este é definido como o tempo de resposta básico, denominado T_L . Como no início do ensaio $h_t/h_0 = 1$ ($\log 1 = 0$) e $t=0$, a inclinação da reta, é dada por $\log 0,368/T_0$ que, escrita em termos de logaritmo natural, torna-se $-1/T_0$ (Batu, 1998; Fetter, 2001).

Sendo assim, na reta obtida pela interpolação dos pontos, deve-se ler no eixo do tempo o tempo correspondente a 37% do rebaixamento/recuperação, que corresponde ao T_L , tempo de resposta básico. O melhor ajuste da reta deve ser para valores de carga normalizada entre 0,15 e 0,25 (Butler, 1997; citado em Carvalho *et al.*, 2013). Assim que se obter o valor através da leitura do gráfico, deve-se substituir o mesmo na equação 4.

Método de Bouwer e Rice – foi criado em 1976, sendo este método baseado na equação de Thiem para o fluxo sob regime permanente (Thiem, 1906), utilizando um raio efetivo R_e , para a distância na qual a diferença de carga entre o nível da água do aquífero e o nível da água no furo é dissipada. Este método pode ser aplicado em aquíferos livres ou confinados (na condição que o topo do filtro deve estar a uma distância razoável do fundo do aquífero inferior), extensão praticamente infinita, homogêneo, isotrópico, espessura uniforme, o nível da água é horizontal, a mudança de carga é instantânea. O furo pode ser total ou parcialmente penetrante; o volume de água contida não é desprezível; os furos devem ter filtro aberto e água no filtro. Para o cálculo considera-se a geometria de perfuração e do furo (comprimento da secção

filtrante, raio de perfuração, raio do revestimento). A equação 5 é usada para descobrir K , a equação 6 é aplicável para furos parcialmente penetrantes, quando $L_w < b$. Já a equação 7 é aplicável para furos totalmente penetrantes, quando $L_w = b$. Apresenta-se na Figura 9 a geometria do furo para este método (Bouwer e Rice, 1976; Batu, 1998; Kruseman e de Ridder, 2000; Weight, 2008).

$$K = \frac{r_c^2 \ln \frac{Re}{r_w}}{2Le} \times \frac{1}{t} \times \ln \left[\frac{y_0}{y_t} \right] \quad \text{equação 5}$$

$$\ln \frac{Re}{r_w} = \left[\frac{1,1}{\ln \left(\frac{Re}{r_w} \right)} + \frac{A+B \ln \left[\frac{b-L_w}{R} \right]}{\frac{Le}{r_w}} \right]^{-1} \quad \text{equação 6}$$

$$\ln \frac{Re}{r_w} = \left[\frac{1,1}{\ln \left(\frac{L_w}{r_w} \right)} + \frac{C}{\frac{Le}{r_w}} \right]^{-1} \quad \text{equação 7}$$

Onde:

K = condutividade hidráulica (L/T; por exemplo, cm/s);

r_w = raio da perfuração (L; por exemplo, cm);

r_c = raio do furo (L; por exemplo, cm);

Re = distância radial efetiva em que a carga é dissipada (L; por exemplo, cm);

Le = comprimento da secção filtrante ou tubo-ralo (L; por exemplo, cm);

L_w = espessura saturada atravessada pelo furo ou distância do tubo-ralo até ao nível da água (L; por exemplo, cm);

y_0 = rebaixamento em $t = 0$ (L; por exemplo, cm);

y_t = rebaixamento em $t = t$ (L; por exemplo, cm);

b = distância entre o nível da água e a base do aquífero (L; por exemplo, cm);

A , B e C = coeficientes adimensionais, função L_e/r_w (Figura 10).

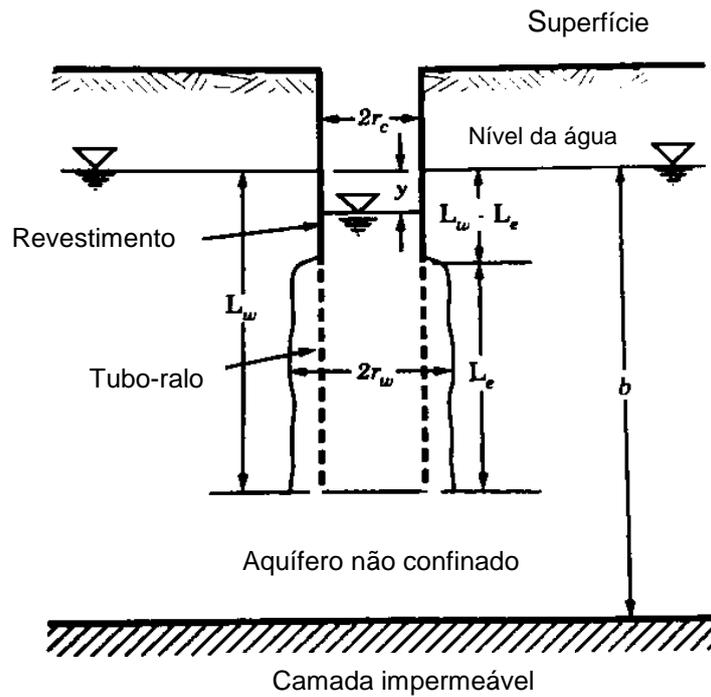


Figura 9 - Geometria do furo para interpretação do método de Bouwer e Rice (Batu, 1998).

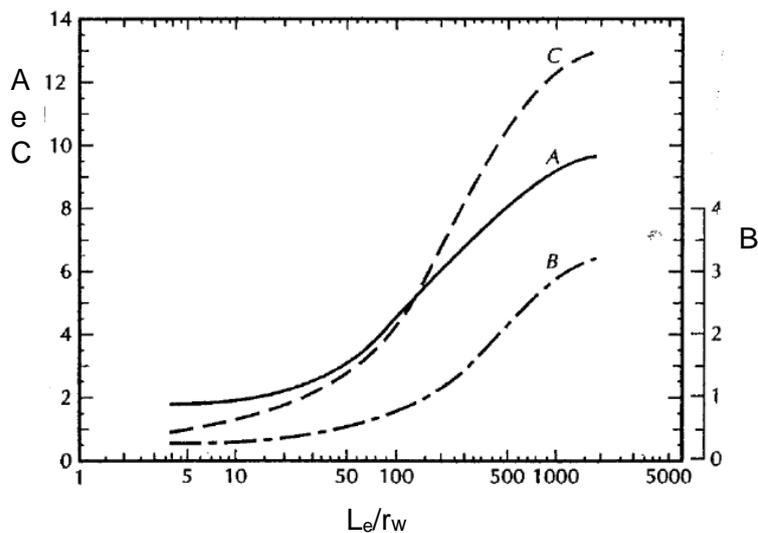


Figura 10 – Parâmetros adimensionais A, B e C representados graficamente em função de L_e/r_w . Estes parâmetros são utilizados para determinar $\ln(R_e/r_w)$ (Batu, 1998).

O método Bouwer e Rice (1976) considera que o pré-filtro ou zonas desenvolvidas drenam instantaneamente, mas muitos pré-filtros ou zonas desenvolvidas não são suficientemente permeáveis para garantir a drenagem instantânea. Segundo estes autores os furos de monitorização, onde a coluna de filtros é parcialmente submersa, podem ocorrer fluxos de água através do pré-filtro durante o

ensaio, ou *double straight line effect*. A correção do resultado, segundo o autor, deve ser feita pela análise da reta que representa fluxos não perturbados do aquífero para o furo. Este método é mais avançado que o método de Hvorslev, pois considera a geometria do espaço perfurado, o pré-filtro, a espessura saturada finita e a distância radial efetiva, na qual o rebaixamento inicial é dissipado (Bouwer e Rice, 1976; Batu, 1998; Fetter, 2001).

b) Métodos de tratamento de dados para ensaios de recuperação após bombagem

As equações que descrevem a recuperação de níveis de água após a paragem da bombagem são baseadas no princípio da sobreposição. Aplicando este princípio, assume-se que, a partir do furo estudado continua a ser extraído um caudal igual ao anterior, mas que, simultaneamente, se inicia a recarga imaginária deste com um caudal idêntico injetado no furo. Assim, qualquer uma das equações aplicáveis a aquíferos confinados, semiconfinados e não confinados pode ser reformulada para ser aplicada aos dados de recuperação (Boonstra e Soppe, 2007). Foi com base nesta evidência que Theis desenvolveu o seu método de recuperação para aquíferos confinados.

Método de recuperação de Theis – baseado em Theis (1935) e Cooper e Jacob (1946) é utilizado para a análise de testes de recuperação, aplicável a aquíferos confinados, embora possa ser aplicado a aquíferos freáticos, semiconfinados e aquíferos que são perfurados por furos parcialmente penetrantes, sendo adaptados a determinadas condições específicas para poder ser aplicado a estes aquíferos. Os testes de recuperação permitem a obtenção da transmissividade que conseqüentemente pode ser usada para descobrir a condutividade hidráulica. Para os testes de recuperação é necessário após o trabalho de campo, tratar os dados para descobrir o rebaixamento residual (s'), diferença entre o nível estático da água, antes de qualquer ensaio, e o nível da água medido num tempo t' após o término da bombagem (Figura 11). Assume-se que os dados de rebaixamento residual são mais confiáveis do que os dados do teste de bombagem, isto porque a recuperação ocorre a uma taxa constante, enquanto que, durante a bombagem é mais difícil que isso aconteça (Kruseman e de Ridder, 2000).

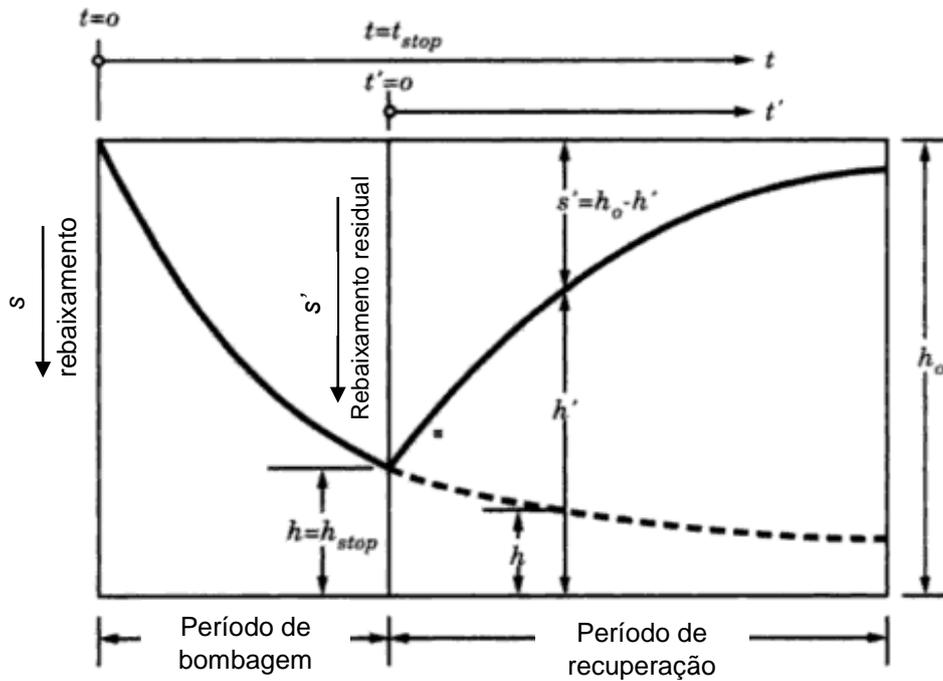


Figura 11 – Diagrama esquemático da recuperação de níveis de água em furos de aquíferos após o término da bombagem (Batu, 1998).

De acordo com Theis (1935), o rebaixamento residual após a paragem da bombagem com descarga constante é dado por (Kruseman e de Ridder, 2000):

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} W(u) - W(u') \quad \text{equação 8}$$

onde:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad u' = \frac{r^2 S'}{4Tt'}$$

sendo estas algumas das variáveis usadas nesta equação e nas seguintes:

s' = rebaixamento residual (m);

r = distância radial do furo ao piezômetro (em m);

r_w = raio do furo (m);

T (KD) = transmissividade do aquífero m^2/d ; sendo K a condutividade hidráulica do aquífero (m/d) e D a espessura saturada do aquífero (aquíferos não confinados) ou a espessura do aquífero (aquíferos confinados) (em m);

S' = armazenamento durante a recuperação (sem dimensão);

S = armazenamento durante a bombagem (sem dimensão);

t = tempo em dias, desde o início da bombagem;

t' = tempo em dias, desde o término da bombagem;

Q = taxa de recarga = taxa de descarga (m^3/d);

$c = D'/K'$ = resistência hidráulica do aquífero em que K' é a condutividade hidráulica vertical do aquífero (m/d) e D' é a espessura do aquífero (em unidades de tempo, por exemplo d);

$L = \sqrt{Tc}$ = fator de vazão (m).

Quando S e S' são constantes e iguais e T (KD) é constante, então pode ser aplicada a seguinte equação 9:

$$s' = \frac{2,30Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'} \quad \text{equação 9}$$

Ao traçarmos os pontos num papel semilogarítmico, constrói-se um gráfico de s' versus t/t' (t/t' na escala logarítmica), estes irão orientar-se ao longo de uma linha reta. O declive dessa reta é dada pela equação 10:

$$\Delta s' = \frac{2,30Q}{4\pi T} \quad \text{equação 10}$$

onde $\Delta s'$ é a diferença do rebaixamento residual por ciclo de log de t/t' .

As equações 8, 9 e 10 podem ser usadas em aquíferos confinados, apesar de poderem igualmente ser aplicadas a dados recolhidos a partir de um único furo pelos testes de recuperação realizados em aquíferos confinados, semiconfinados e não confinados, desde que se cumpram algumas regras. Assim é necessário que:

- para aquíferos semiconfinados, a soma dos tempos de bombagem e recuperação seja: $t+t' \leq L^2S/20T$ ou $t+t' \leq cS/20$;

- para os aquíferos livres (freáticos) que sejam apenas usados os dados de recuperação do tempo de atraso; $u < 0,01$, isto é, $t > 25 r_w^2 S/T$ e $u' < 0,01$, isto é, $t' > 25 r_w^2 S/T$ (Kruseman e de Ridder, 2000), embora, para Boonstra e Soppe (2007) os valores limite de u possam ser de 0,1 e os tempos possam ser diminuídos.

Após um teste de descarga constante num aquífero semiconfinado, Hantush (1964), sem considerar qualquer efeito de armazenamento na camada confinante (aquítardo), expressa o rebaixamento residual (s') a uma distância r do furo como:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/L) - W(u', r/L) \quad \text{equação 11}$$

Se os tempos de bombagem e recuperação forem longos, pode significar que está a ocorrer drenância através das camadas confinantes (aquítardos) afetando os níveis de água. No caso de os tempos de bombagem e recuperação serem curtos, ou seja, $t+t' \leq L^2S/20T$ ou $t+t' \leq cS/20$, o método de recuperação de Theis (equação 8) pode

ser aplicado, sendo apenas possível obter a transmissividade do aquífero semiconfinado (Uffink 1982; Hantush 1964; citado em Kruseman e de Ridder, 2000).

Neuman (1975) mostrou que o método de recuperação de Theis (equação 8), pode ser aplicável em aquíferos freáticos, mas apenas para testes de recuperação com dados em tempo de atraso. Em tempo de atraso, os efeitos do armazenamento elástico, que se estabeleceu após a paragem da bombagem, têm de ser dissipados. Os dados de rebaixamento residual devem formar uma linha reta num gráfico semilogarítmico de s' versus t/t' (t/t' na escala logarítmica), usando depois no método de recuperação de Theis para obter o valor de T (Kruseman e de Ridder, 2000).

O método de recuperação de Theis (equação 8) pode também ser aplicado se o furo for parcialmente penetrante. Para tempos longos de bombagem num determinado furo, isto é, $t > (D^2S)/2T$, o gráfico semilogarítmico de s' versus t/t' (t/t' na escala logarítmica) origina uma linha reta com uma inclinação semelhante à de um furo totalmente penetrante (Hantush, 1961; citado em Kruseman e de Ridder, 2000). Assim, se a porção linear da curva de recuperação for longa o suficiente, isto é, se t e t' forem maiores do que $(10D^2S/T)$, o método de recuperação de Theis pode ser usado (Uffink 1982; citado em Kruseman e de Ridder, 2000).

Método de Agarwal (análise de recuperação) – foi criado em 1980 por Ram G. Agarwal para analisar dados de recuperação com modelos de interpretação desenvolvidos para o período de bombagem. O método baseia-se na definição de um rebaixamento de recuperação s_r e a substituição do eixo do tempo, durante a recuperação, por um tempo de rebaixamento equivalente t_e . Agarwal define o rebaixamento residual s_r como a diferença entre o nível de água em qualquer momento durante o período de recuperação (h) e o nível de água no final do período de bombagem (h_p) (equação 12) (Figura 12). Este método tem a particularidade de poder ser conjugado com outros, permitindo maior rigor na obtenção dos resultados pretendidos (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016).

$$s_r = h - h_p \quad \text{equação 12}$$

O tempo de recuperação t_r é o tempo desde que a recuperação começou. O tempo de recuperação t_r está relacionado com o tempo t desde que começou a bombagem e a duração total da bombagem t_p (equação 13) (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016).

$$t_r = t - t_p \quad \text{equação 13}$$

Se considerarmos o caso de recuperação depois de um teste de bombagem de taxa constante, o nível piezométrico h da camada aquífera pode ser expresso com a solução de Theis ou pode ser aproximado pela expressão de Cooper-Jacob. Usando a expressão de Cooper-Jacob, Agarwal expressa o rebaixamento de recuperação como (equação 14 e 15) (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016):

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \frac{4Tt_p}{r^2 S} - \ln \frac{4T(t_r+t_p)}{r^2 S} + \ln \frac{4Tt_r}{r^2 S} \right] \quad \text{equação 14}$$

ou

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{4T}{r^2 S} * \frac{t_r * t_p}{(t_r+t_p)} \right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{4Tt_e}{r^2 S} \quad \text{equação 15}$$

Com o tempo de rebaixamento equivalente de Agarwal t_e , Agarwal construiu a seguinte equação (equação 16) (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016):

$$t_e = \frac{t_r * t_p}{(t_r+t_p)} \quad \text{equação 16}$$

A seguinte expressão do rebaixamento de recuperação é idêntica à expressão de Cooper-Jacob apenas substituindo t_r e t_p por t_e . No caso de n , sucessivos períodos de bombagem: q_1 com taxa constante para $t=0$ a $t=t_1$, q_2 com taxa constante para $t=t_1$ e t_2 , e por aí em diante. Pode-se obter o mesmo resultado através da equação 17 (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016):

$$s_r = \frac{q_n}{4\pi T} \ln \left(\frac{4Tt_e}{r^2 S} \right) \quad \text{equação 17}$$

O tempo de rebaixamento equivalente de Agarwal é definido por (equação 18) (Agarwal, 1980; Schlumberger Water Services, 2016):

$$t_e = \left[\prod_{j=1}^n \left(\frac{t_n+t_{j-1}}{t_r+t_n-t_{j-1}} \right)^{\left(\frac{q_j - q_{j-1}}{q_n} \right)} \right] t_r \quad \text{equação 18}$$

com $t_0=0$ e $q_0=0$, e t_r o tempo desde o início da recuperação.

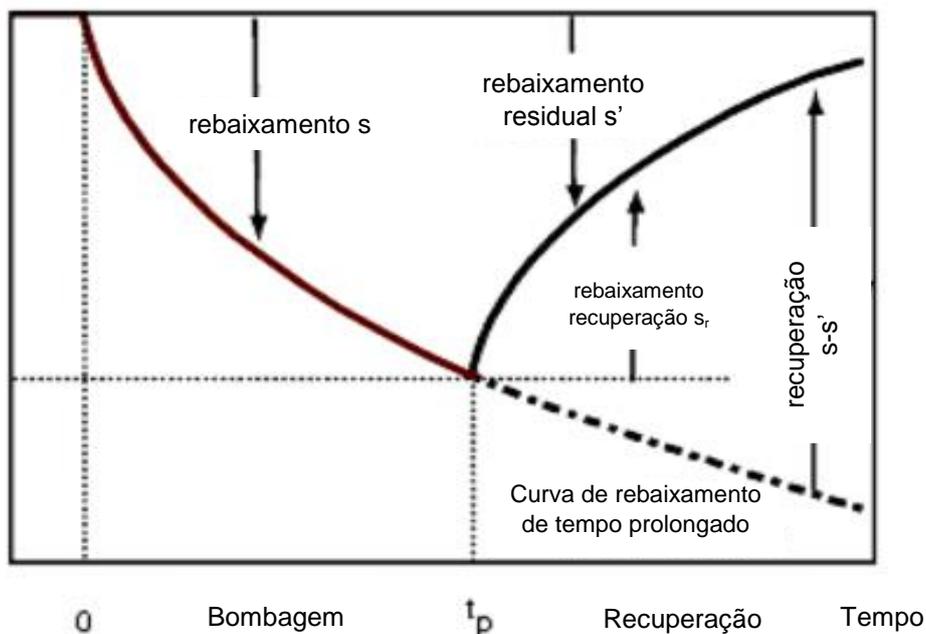


Figura 12 – Diagrama explicativo do método de Agarwal (Schlumberger Water Services, 2016).

Dependendo do tipo de aquíferos que se estudou, conjugou-se o método de Agarwal com outros, ou seja, nos casos de furos que captavam em aquíferos semiconfinados combinou-se o método de Agarwal+Hantush e o método de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero (drenância). O método de Agarwal+Hantush foi utilizado para o estudo dos aquíferos semiconfinados, visto que o mesmo pode ser aplicado caso não exista influência notória dos aquíferos no aquífero. Já o método de Agarwal+Hantush com armazenamento foi utilizado para o estudo dos aquíferos semiconfinados, visto que o mesmo pode ser aplicado caso exista influência notória dos aquíferos no aquífero, ou seja, caso ocorra armazenamento no aquífero (Kruseman e de Ridder, 2000; Schlumberger Water Services, 2016).

Para estudar o comportamento de furos que captavam em aquíferos livres utilizaram-se ainda os métodos Agarwal e Theis com correção de Jacob, Agarwal e Neuman e Agarwal e Boulton (Kruseman e de Ridder, 2000; Schlumberger Water Services, 2016).

2.3.3. Análise espacial de dados

Os dados recolhidos através da consulta de bibliografia e os obtidos nas diversas fases de trabalho de campo foram colocados em bases de dados para assim facilitar a sua leitura e a interpretação dos mesmos. Utilizaram-se os registos de sondagens mecânicas anteriormente efetuadas na zona, que foram colocados no *software RockWorks 16*, e posteriormente utilizados para elaborar um perfil hidroestratigráfico, relacionando os dados obtidos a partir de conhecimentos geológicos existentes sobre a zona de estudo e de *logs* de sondagens anteriormente efetuados. Construíram-se ainda com o *software RockWorks 16*, imagens unidimensionais, como registos de *logs* de sondagens e bidimensionais, como perfis de condutividade hidráulica (K).

Para a realização do perfil hidroestratigráfico foi necessário colocar os registos geológicos obtidos nos furos num ficheiro de entrada do programa e efetuou-se a determinação de uma secção estratigráfica sem modelação, em que os pontos de contato entre unidades sedimentares foram ligados diretamente, após a indicação da sua ordem na sequência sedimentar. A elaboração dos *striplogs* teve em conta os mesmos registos geológicos utilizados para a realização do perfil hidroestratigráfico. No que diz respeito aos perfis de condutividade hidráulica, utilizaram-se os valores calculados pelas diferentes fórmulas empíricas usadas e colocou-se num ficheiro de entrada do programa, efetuando-se a modelação da secção pretendida e obtendo-se no final os perfis de K.

Para que o perfil hidroestratigráfico fosse determinado, utilizou-se um método misto, que combina *krigagem* com triangulação (Figura 13).

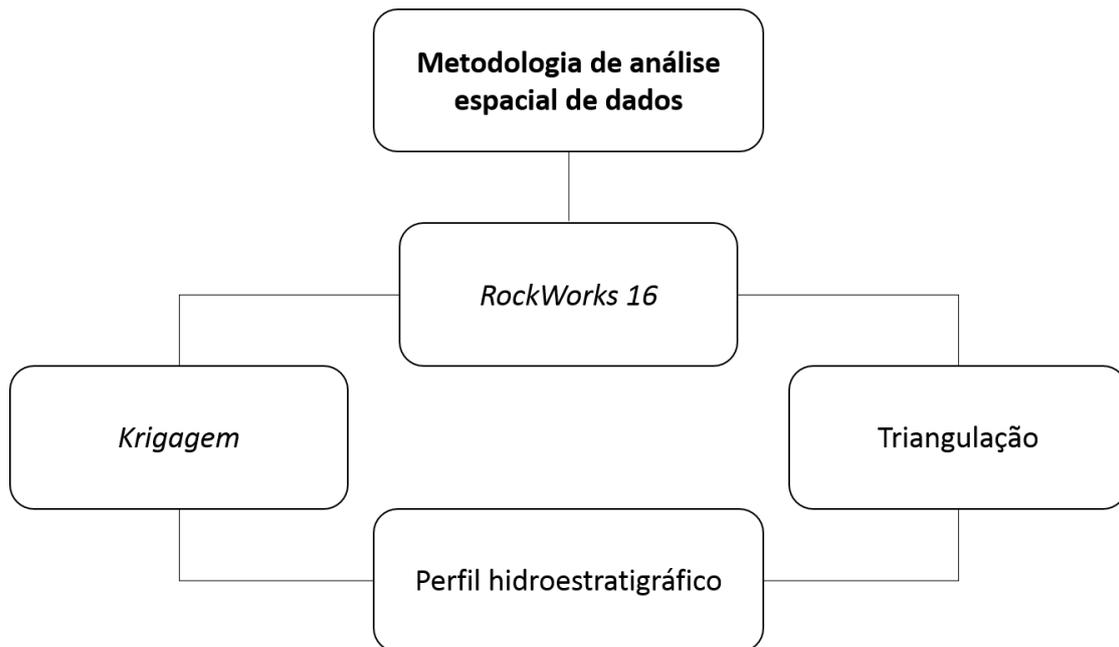


Figura 13 – Fluxograma explicativo dos métodos de análise espacial.

O método misto, designado no *RockWorks 16* de *hybrid gridding*, permite utilizar dois ou mais métodos geo-estatísticos diferentes para uma determinada superfície, podendo como opção escolher o peso de cada método estatístico. Por exemplo, se for escolhido a *krigagem* com fator de ponderação de “1” e a triangulação com fator de ponderação de “3”, então a superfície resultante daria ao método de triangulação 3 vezes a ponderação da *krigagem*.

Existem assim vantagens e desvantagens ao utilizar o método de *hybrid gridding*: como vantagem este método permite utilizar muitos algoritmos para uma única superfície, a desvantagem é que qualquer problema com um método particular pode ser ampliado se for usado com um conjunto de dados para o qual o método não é adequado.

Como referido anteriormente combinou-se dois métodos de análise estatística: *krigagem* com triangulação linear.

O método de *krigagem* é uma das muitas opções do método de *gridding* oferecidas no *RockWorks* para criar modelos. A *krigagem* é um método geoestatístico que tem em consideração as características espaciais de auto correlação de variáveis regionalizadas (Landim, 2000). Nas variáveis regionalizadas deve existir continuidade espacial, permitindo que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável é desconhecido (Landim, 2000). Este método difere de todos os outros, pois traz influências direcionais aos dados.

A *krigagem* pode ser usada como algoritmo estimador para:

- previsão do valor pontual de uma variável regionalizada num determinado local dentro do campo geométrico; é um procedimento de interpolação que leva em consideração todos os valores observados, o qual pode ser a base para cartografia automática por computador quando se dispõe de valores de uma variável regionalizada dispostos por uma determinada área (Landim, 2006);
- cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior que o suporte geométrico como, por exemplo, no cálculo do teor médio de uma jazida a partir de informações obtidas de testemunhas de sondagens (Landim, 2006).

O método de *krigagem* fornece além dos valores estimados, o “erro” associado a tal estimativa, o que o distingue de todos os outros algoritmos à disposição. A *krigagem* usa informação de semivariogramas para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras que irão estimar um ponto, uma área ou um bloco (Landim, 2006).

Como o semivariograma é uma função da distância entre locais de amostragem, mantendo o mesmo número de amostras, os pesos são diferentes de acordo com o seu arranjo geográfico. Os semivariogramas para a estimativa por *krigagem* não exige que os dados tenham distribuição normal. Deve ser considerada a presença de distribuição assimétrica, com muitos valores anómalos, pois a *krigagem* é um estimador linear (Landim, 2006).

O *software RockWorks* cria variogramas com os dados que são colocados ao dispor do programa, e em seguida, encontra o modelo de variograma que oferece melhor ajuste, definindo assim a distância e relações direcionais com os dados, usando no final essa equação para interpolar o modelo aplicado na malha de pontos (*grid*).

O método de *krigagem* é um dos métodos de modelação mais complexos e pode ser aplicado em mapeamento geológico, mapeamento do solo, mapeamento hidrológico e mapeamento atmosférico (Burgess e Webster, 1980; Kitanidis *et. al.*, 1983; Lajaunie, 1984; Verly *et al.*, 1984; citados em Clark e Harper, 2000). Este envolve um conjunto de estimadores: *krigagem* simples, *krigagem* ordinária, *krigagem* de média, *krigagem* universal, co-*krigagem*, entre outros (Yamamoto e Landim, 2013).

Em conjunto com a *krigagem* utilizou-se como método de interpolação espacial, o método de triangulação. Este funciona com a ligação de pontos de dados em

triângulos por linhas imaginárias, com um ponto em cada vértice do triângulo, e os triângulos o mais próximos possível para equi-angular. Com a determinação da rede imaginária, a inclinação de cada triângulo é calculada através dos três pontos X, Y e Z. Os nós de rede que se encontram dentro de cada triângulo são atribuídos um valor Z com base na sua interseção com o plano inclinado triangular.

Resumidamente a triangulação é um interpolador e utiliza malha irregular com triangulação. Funciona melhor quando os dados estão distribuídos de forma regular ao longo do domínio. Dados que contenham áreas dispersas ou espaçadas tendem a apresentar feições triangulares no mapa (Mazzini e Schettini, 2009; citado em Alves e Vecchia, 2011). Este método tem como vantagem os pontos de controlo. Como desvantagem pode ocorrer contornos com tendências angulares e o processo pode ser lento para grandes conjuntos de dados.

3. Caracterização Geral

3.1. Caracterização territorial e institucional

O Dec. Lei 244/2002 de 5 de novembro, mostra que a área estudada faz parte do domínio de Portugal Continental (NUTS I), enquadra-se na Região Centro (NUTS II), da Região de Coimbra (concelho da Figueira da Foz) (NUTS III) (*Regulamento (UE) nº 868/2014*) (Figura 14).

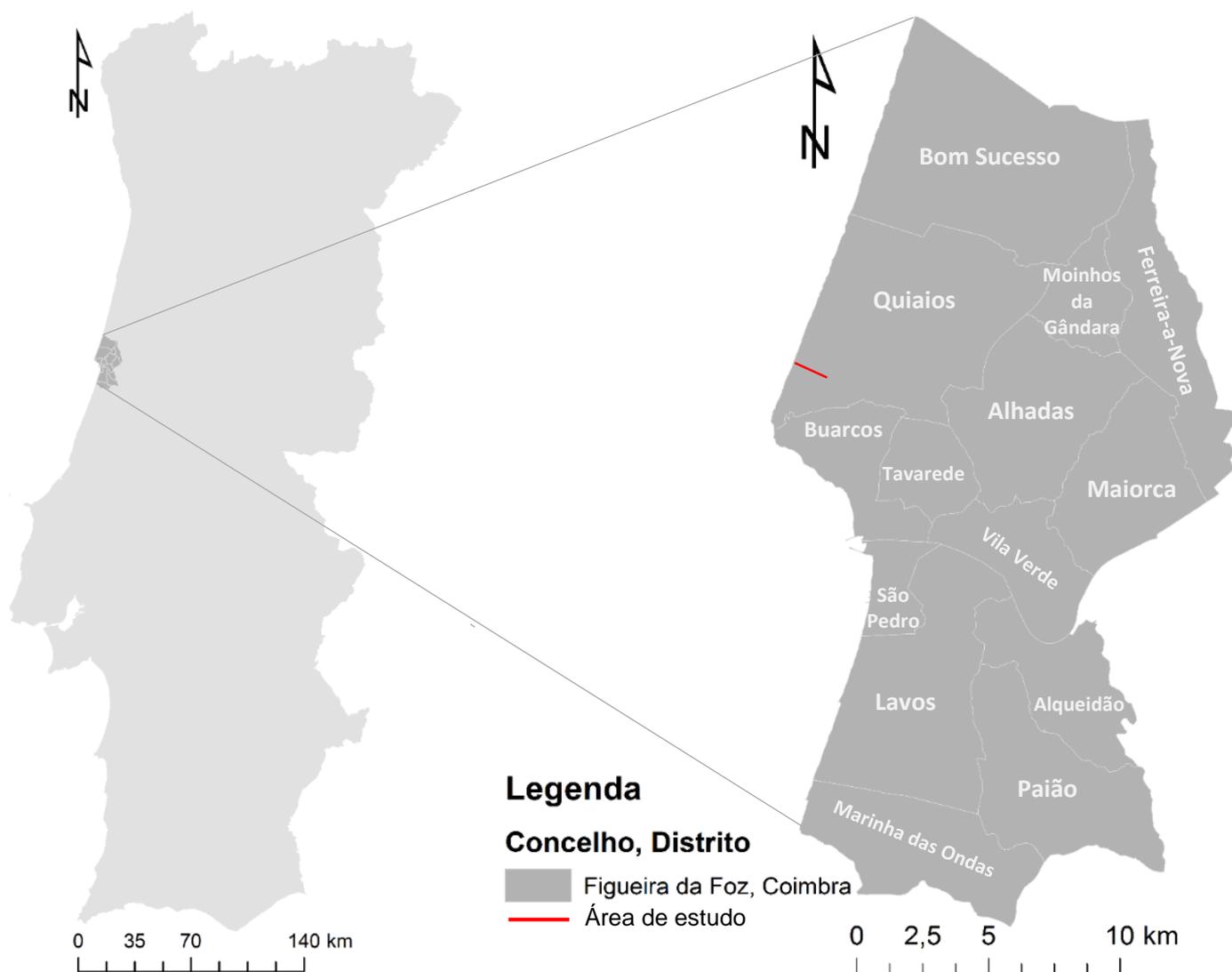


Figura 14 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo na NUTS III, criado no *software ArcGis 10.3.1* (adaptado de Direção Geral do Território, 2015).

À escala local, a área de estudo situa-se no distrito de Coimbra, no concelho da Figueira da Foz e na freguesia de Quaiaios, e corresponde a uma zona estreita e alongada, com direção aproximadamente W – E, que apresenta uma extensão de cerca de 6,58 km, imediatamente a norte da Lagoa das Braças onde se encontram 8 piezómetros que fazem parte de uma rede de monitorização instalada em 2007 (Figura 15) (Castilho, 2008).

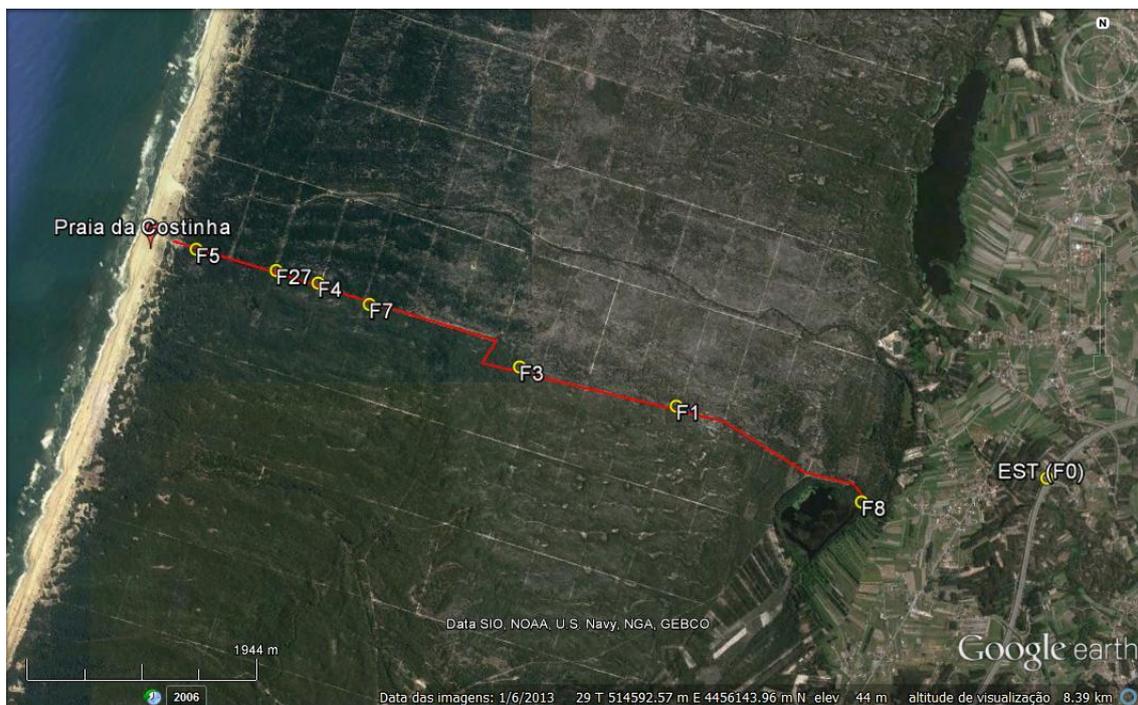


Figura 15 - Localização dos furos de sondagem efetuados para instalação de uma rede de monitorização de água subterrânea (Castilho, 2008) com imagem de fundo retirada de Google Earth (2016).

A área estudada faz parte da área referida no Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH) dos rios Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4 (RH4), mais concretamente nas Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego (*Artigo 13º da DQA*), e encontra-se sob competência da Administração da Região Hidrográfica do Centro, I.P. (ARH Centro) da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas, IP (Tabela 5).

Tabela 5 – Características geomorfológicas das Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego (PGBH4, 2012).

Caraterísticas das Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego		
Área (km²)		143,21
Altitude (m)	Média	46,10
	Máxima	255,78
	Mínima	0,00
Declive Médio (%)		3,53

3.2. Caraterização climatológica

3.2.1. Precipitação

Na região, a precipitação média anual é de 900 mm/ano, podendo assumir em anos húmidos valores de 1200 mm/ano e não passando, em anos secos, de 700 mm/ano (PGBH4, 2012). Segundo dados de IPMA disponibilizados no sítio, para a estação de Coimbra no período de 1981-2010, o valor da média da quantidade total vai de 10,9 a 126,2 mm. Quanto à precipitação diária máxima esta é em média de 33 a 92,3 mm/dia (Figura 16). A precipitação anual acumulada apresenta valores mais baixos para o ano de 2005 (cerca de 555,2 mm) e mais altos para o ano de 2001 (cerca de 1189,1 mm) (Figura 17) (IPMA, 2016).

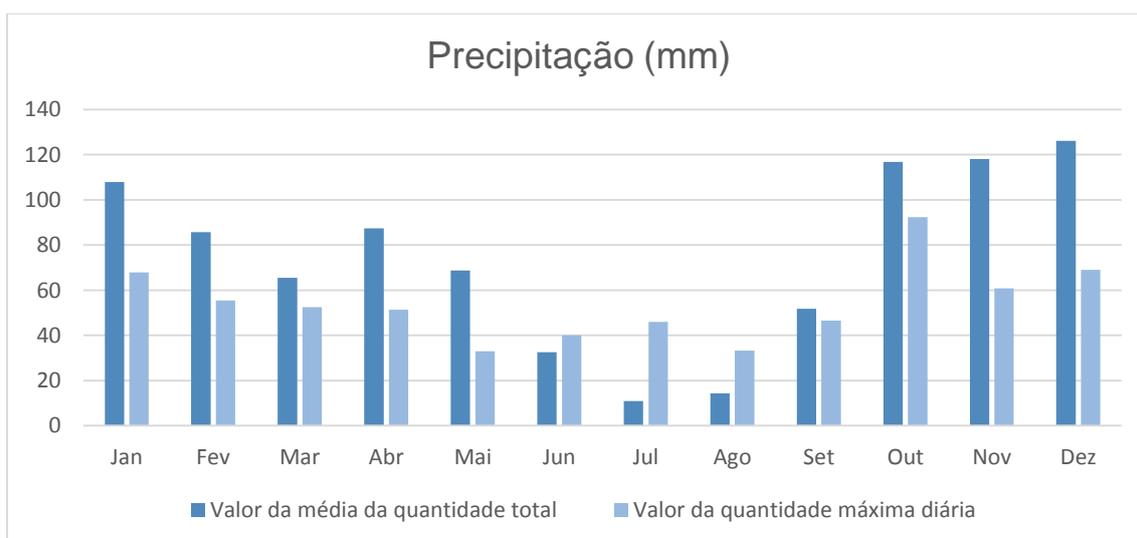


Figura 16 – Valores de precipitação para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).

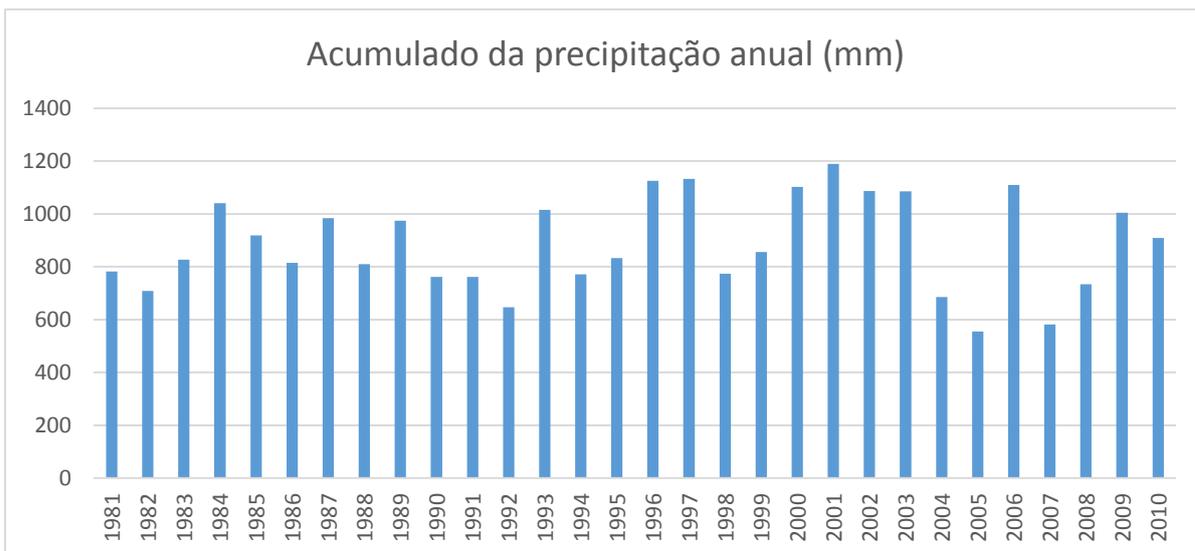


Figura 17 – Valores de precipitação anual acumulada para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).

3.2.2. Temperatura

A região apresenta predominantemente temperatura média anual de 14°C, podendo apresentar valores de temperatura máxima média anual de 19°C a 20°C, não descendo a temperatura mínima média anual abaixo dos 9°C. (PGBH4, 2012). Para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010, é de notar que os valores médios da temperatura máxima em meses mais quentes não atingem os 30°C e nos meses frios são por norma superiores a 10°C. Os valores médios da temperatura mínima em meses mais quentes não atingem os 16°C e nos meses frios são superiores a 3°C (Figura 18) (IPMA, 2016).

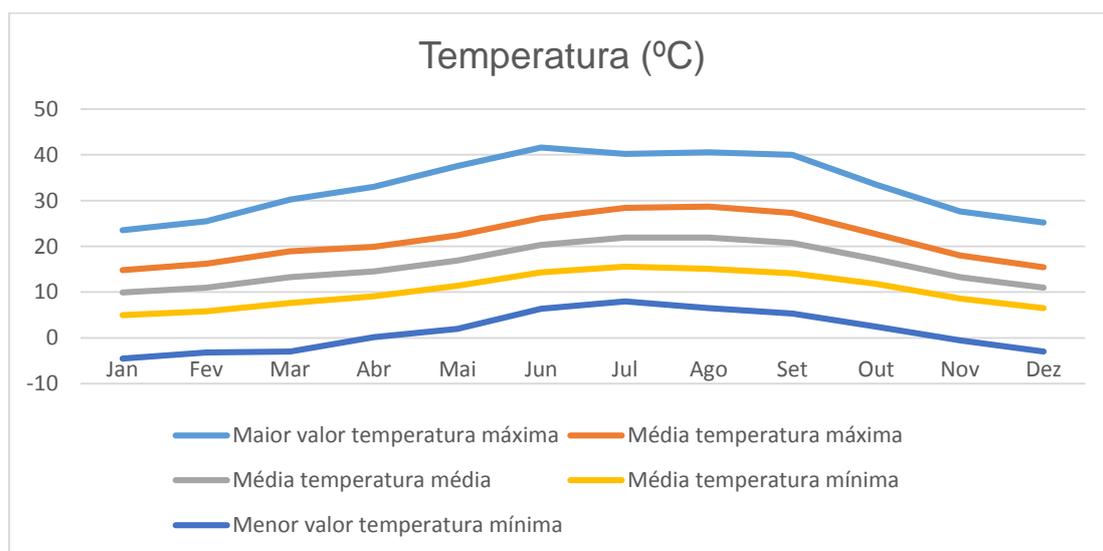


Figura 18 – Valores de temperatura para a estação de Coimbra no período de 1981 a 2010 (IPMA, 2016).

3.2.3. Humidade

O valor da humidade relativa média anual na região estudada ronda os 83 a 84% (Figura 19), sendo os valores médios de humidade relativa mensal tendencialmente superiores nas bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego, em comparação com as outras bacias do domínio do RH4. Apesar disso ocorrem exceções nos meses frios de dezembro, janeiro e fevereiro, em que não se verifica esta discrepância nos valores médios de humidade relativa mensal entre bacias. Existe propensão para que a amplitude da humidade do ar ao longo do ano seja relativamente mais baixa nas zonas litorais, apresentando para o interior amplitudes relativamente superiores (PGBH4, 2012).

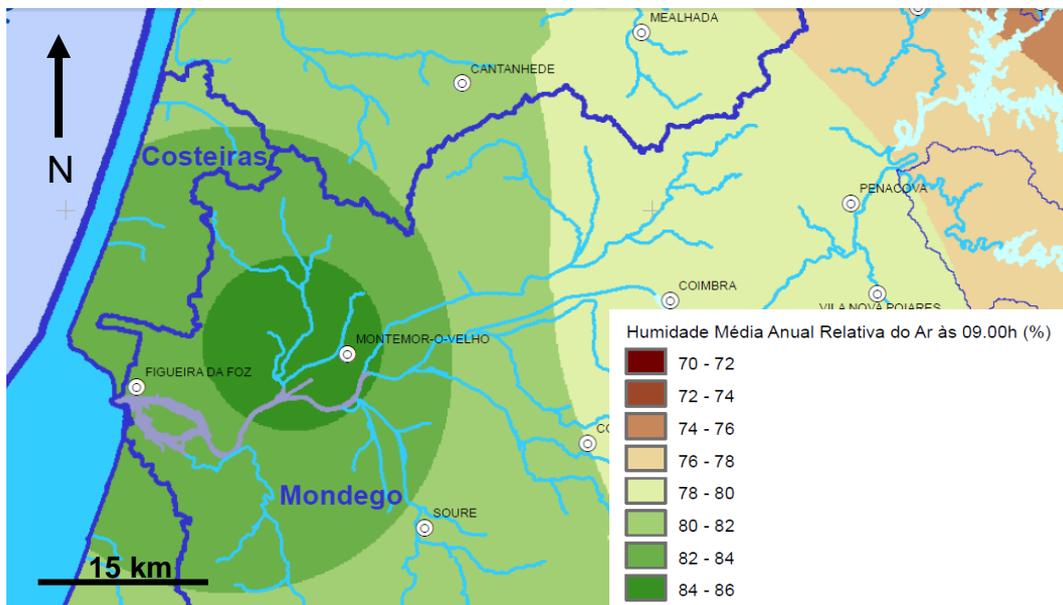


Figura 19 – Carta da humidade média anual relativa do ar (%) às 09:00h (PGBH4, 2012)

3.2.4. Evaporação e Evapotranspiração potencial

Na região estudada a evaporação de piche média anual encontra-se no intervalo de 900 – 1000 mm (Figura 20) (PGBH4, 2012).

Para a evapotranspiração potencial média anual encontram-se valores de aproximadamente 745 mm (intervalo de 725 – 750 mm) (Figura 21) (PGBH4, 2012).

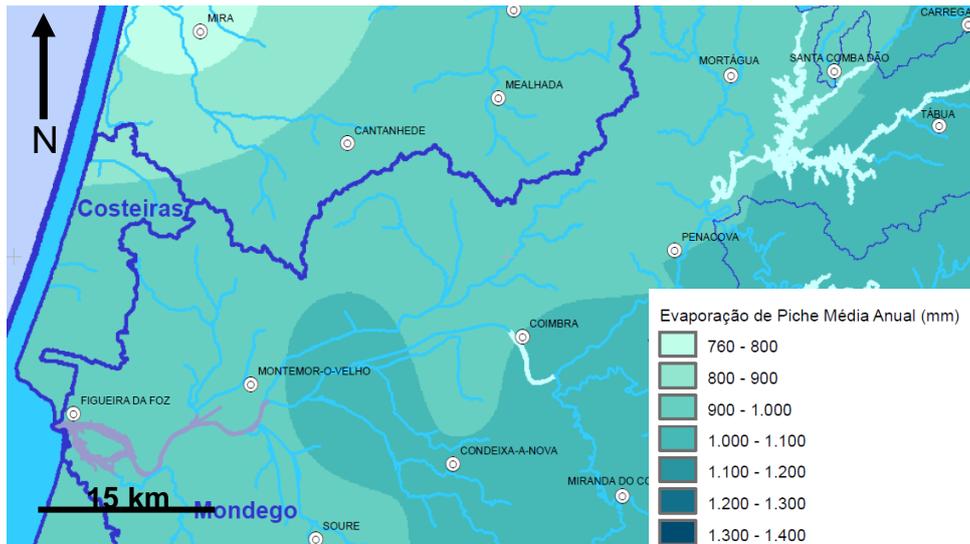


Figura 20 – Carta da evaporação de piche média anual (mm) (PGBH4, 2012).

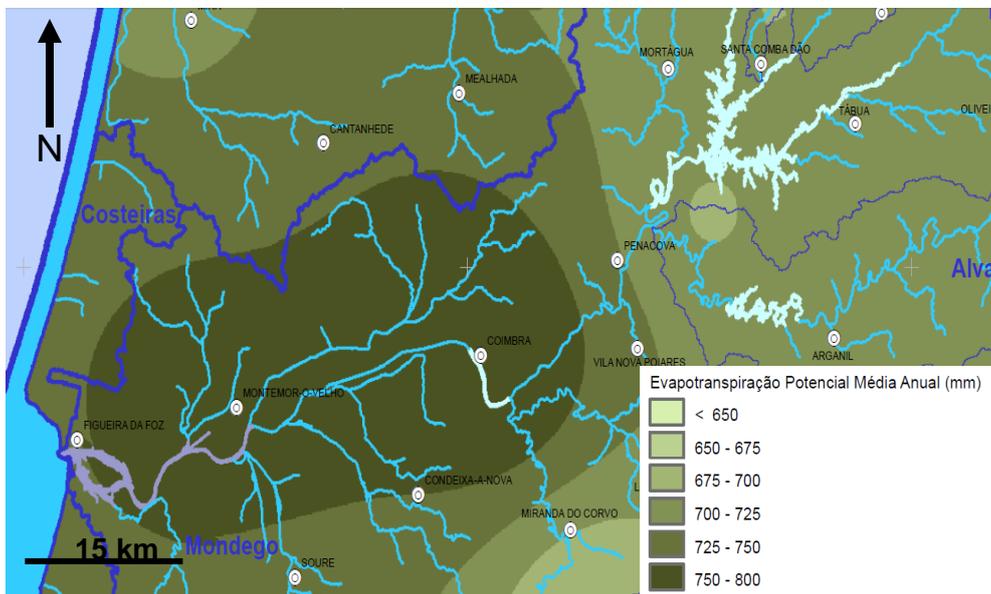


Figura 21 – Carta da evapotranspiração potencial média anual (mm) (PGBH4, 2012).

3.2.5. Vento

O vento tem velocidade média anual de 9,4 km/h, sendo que para a região das Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego a velocidade do vento média anual encontra-se no intervalo de 6 – 9 km/h (PGBH4, 2012).

3.2.6. Insolação

A insolação é um fator importante, pois esta caracteriza-se pela quantidade de radiação solar que incide durante um período de tempo no planeta e que afeta diretamente uma dada região. Esta influencia alguns dos parâmetros anteriormente descritos, tais como, a evaporação, evapotranspiração, humidade, entre outros.

O número de horas de insolação média anual na região é de aproximadamente 2400 horas. A insolação anual média ponderada para as Bacias Costeiras entre o Vouga e o Mondego encontra-se no intervalo de 2350 a 2400 horas (Figura 22) (PGBH4, 2012).

É de constatar que a amplitude do número de horas de insolação na região ao longo do ano é maior nos meses quentes do que nos meses frios e o seu valor cresce com a altitude e da faixa costeira para o interior (PGBH4, 2012).

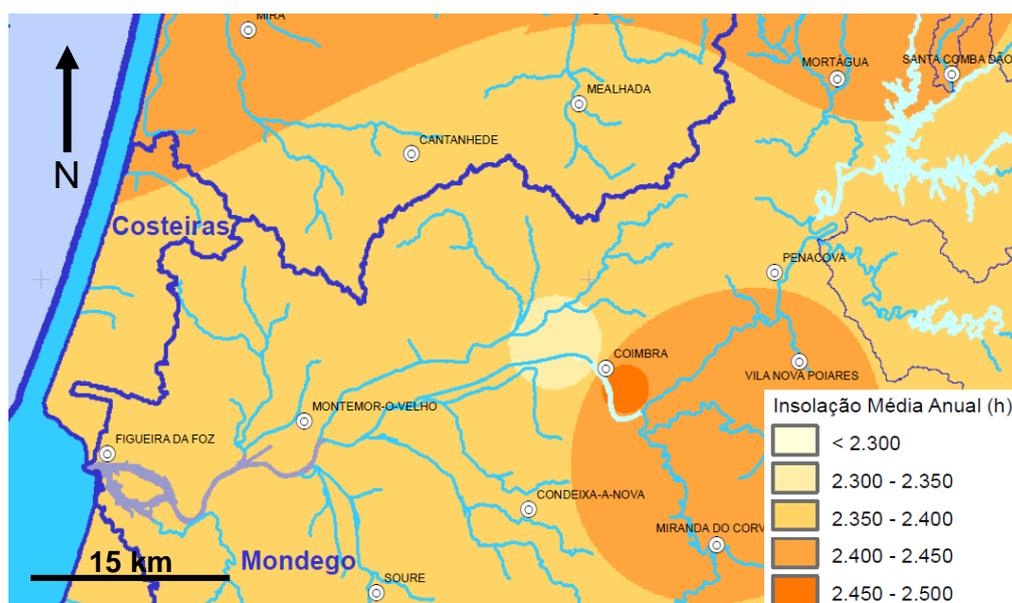


Figura 22 – Carta da insolação média anual (h) (PGBH4, 2012).

3.2.7. Classificação Climática

Para a classificação climática da área integrada no PGBH do Vouga, Mondego e Lis, foi tido em conta a classificação de Koppen-Geiger (Koppen, 1918, 1927, 1936; Geiger, 1954, 1961; citados em Kottek *et al.*, 2006). A classificação de Koppen-Geiger é o sistema mais utilizado de classificação global dos tipos climáticos, sendo esta classificação baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima que nela prevalece (Kottek *et al.*, 2006).

Assim, as fronteiras entre regiões climáticas foram selecionadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresenta elevada correlação. Para a determinação dos tipos climáticos são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação, desta forma permitindo classificar uma dada região. Cada grande

tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados (Kottek *et al.*, 2006).

A classificação climática de Koppen-Geiger divide os climas em 5 grandes grupos (A, B, C, D e E) e em diversos tipos e subtipos (Kottek *et al.*, 2006).

A região em estudo é característica do grupo da letra C e corresponde a um clima temperado ou clima temperado quente, isto é, um clima mesotérmico, com temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C , com temperatura média do mês mais quente superiores a 10°C e com estações de verão e inverno bem definidas. No que diz respeito à letra s (tipo) é um clima caracterizado pela ocorrência de chuva em pleno inverno. A letra b (subtipo) corresponde a um verão temperado, com temperatura média do ar no mês mais quente inferior a 22°C e temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes superiores a 10°C . Deste modo o clima da região, segundo a classificação de Koppen-Geiger é do tipo Csb, ou seja, um clima temperado (mesotérmico), com o verão e inverno bem definidos e em que a estação seca ocorre no verão (Figura 23) (Kottek *et al.*, 2006).

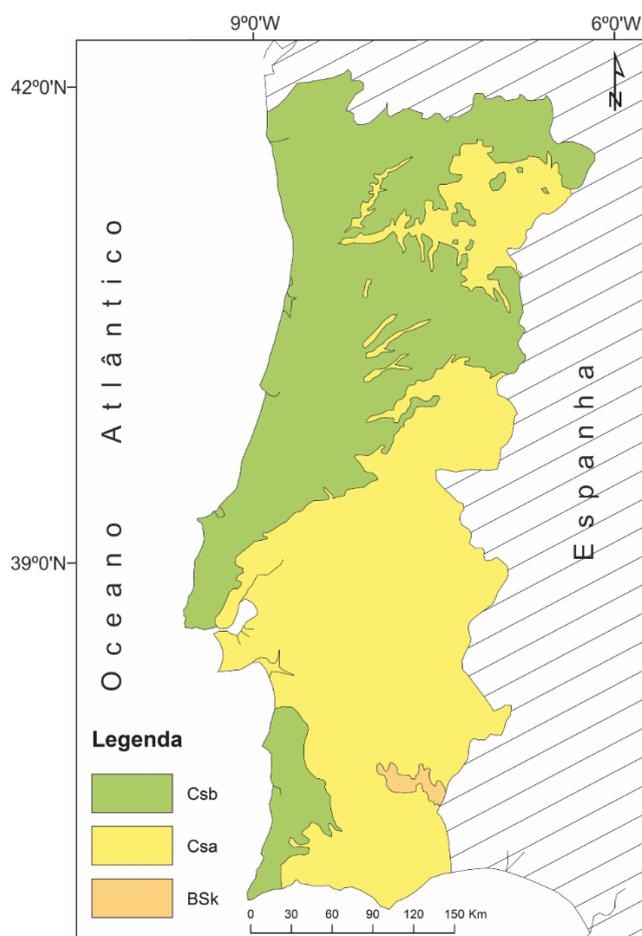


Figura 23 – Classificação climática Koppen-Geiger de Portugal Continental, criado no software ArcGis 10.3.1 (adaptado de IPMA, 2016).

3.3. Caraterização geológica e morfo-estrutural

3.3.1. Geologia regional

A área em estudo pertence à Orla Mesocenozóica Ocidental formada por terrenos que se depositaram numa bacia sedimentar, cuja abertura coincide com os primeiros estádios da abertura do Atlântico, a Bacia Lusitaniana, também chamada de Bacia Lusitânica (Almeida *et al.*, 2000; Kullberg *et al.*, 2013). Os depósitos sedimentares encontrados na região são datados do Mesozoico e do Cenozoico e encontram-se representados na Carta Geológica de Portugal na folha 19 -A, Cantanhede (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). As várias unidades geológicas são descritas abaixo da mais antiga para a mais recente:

Arenitos do Carrascal (C¹⁻²) – unidade sedimentar terrígena do Aptiano-Albiano, equivalente à Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999), composta por quartzarenitos a arcossarenitos grosseiros a muito grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos, predominantemente quartzosos, mal calibrados a que sucedem leitos pelíticos que preenchem as cavidades ou sulcos de escavação, indicando um ambiente aluvial de tendência prográdante. É possível identificar estruturas internas, tais como, estruturas sedimentares entrecruzadas curvilíneas. A tendência desta unidade é que para o topo ocorra a diminuição do calibre dos sedimentos. É de notar que esta unidade assenta em discordância angular sobre os sedimentos carbonatados do Jurássico e apresenta uma espessura máxima de 300 m na Figueira da Foz (Soares, 1966; Berthou, 1984; Barbosa *et al.*, 1988; Cunha e Reis, 1995; Dinis, 1999 e 2001).

Calcários de Tentúgal (C²⁻³) – unidade predominantemente carbonatada do Cenomaniano médio–Turoniano, equivalentes dos Calcários Apinhoados da Costa d' Arnes (Rocha *et al.*, 1981), composta na sua base por alternâncias de grés calcários, margas gresosas e calcários margo-gresosos, nestas assentam calcários e calcários margosos com estrutura interna concrecionada ou apinhoadas, com bancadas fossilíferas. No eixo de fracturação Arunca-Montemor-Palhaça, as fácies são bastante mais calcárias. Esta unidade indica um ambiente marinho de baixa profundidade que remete para episódios de transgressão seguido de episódios de regressão (Soares, 1966; Barbosa, 1981; Rocha *et al.*, 1981; Berthou, 1981, 1984; Barbosa *et al.*, 1988, Cunha e Reis, 1995; Tonicher, 1998).

Grés do Furadouro (C³) – unidade sedimentar terrígena do Turoniano, com semelhança lítica à Formação da Figueira da Foz (Barbosa, 1981), composta por uma unidade inferior e uma unidade superior. A unidade inferior é marcada pela abundância de sedimentos gresosos finos a muito finos, essencialmente quartzareníticos e

micáceos, com estratificação laminítica e/ou oblíqua planar de baixo ângulo; a unidade superior é marcada pela abundância de sedimentos grosseiros a muito grosseiros, essencialmente subarcosarenítica a arcossarenítica, com estratificação entrecruzada curvilínea a oblíqua planar de ângulo médio a elevado. É caracterizada por uma unidade pouco espessa e com abundância em minerais micáceos. Devido aos episódios de regressão no Turoniano superior, a área a oeste do eixo de Arunca-Montemor-Palhaça foi progressivamente ocupada por uma vasta planície litoral em transição para os sistemas aluviais existentes a oriente. A este do eixo de Arunca-Montemor-Palhaça é possível observar a sedimentação areno-micácea. (Barbosa *et al.*, 1988; Ramos, 2000).

Grés de Oiã (C³) – unidade sedimentar terrígena do Turoniano – Senoniano inferior, com aparente continuidade sedimentar do Grés do Furadouro e semelhança lítica com a Formação da Figueira da Foz (Barbosa, 1981). É marcada por grés grosseiros com tendência quartzarenítica a arcossarenítica, localmente médios a muito finos, com matriz silto-argilosa e, no geral, bem consolidados, com estruturas sedimentares entrecruzadas curvilíneas (Barbosa *et al.*, 1988).

Arenitos e Argilas do Viso (C⁵) – unidade sedimentar terrígena do Campaniano–Maastrichtiano, equivalente lateral dos Arenitos e Argilas de Taveiro (Rocha *et al.*, 1981; Soares *et al.*, 1982; Barbosa *et al.*, 1988) e das Argilas de Vagos (Barbosa, 1981), discordante sobre as unidades anteriormente descritas. É a mais recente unidade do Cretácico, distinguindo-se duas subunidades: a unidade inferior composta por níveis argilosos avermelhados, intercalados com níveis lenticulares de arenito esbranquiçado, com um conglomerado rico em restos de vertebrados e com areias e argilas com fósseis vegetais; a unidade superior assenta em descontinuidade com a anterior e é composta por areias caulíferas. As fácies presentes mostram que a deposição dos sedimentos se deu em pleno ambiente fluvial meandriforme em planície costeira (Cunha, 1992 e 1999; Barbosa *et al.*, 1988; Reis *et al.*, 2000).

Arenitos Conglomeráticos de Queridas (ØM) – unidade sedimentar terrígena do Paleogénico-Miocénico indiferenciados, apesar de Cunha (1992) datar esta unidade no Luteciano superior a Chatiano inferior (conjunto da Etapa VI). Tem equivalência com os primeiros membros da Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática da Senhora do Bom Sucesso (Barbosa *et al.*, 1988; Rocha *et al.*, 1981; Reis, 1983; Cunha, 1992). Esta unidade é constituída por arenitos, com seixos e cascalheiras, subangulosos a sub-rolados, mal calibrados e geralmente esbranquiçados, assemelhando-se aos grés cretácicos (Barbosa *et al.*, 1988).

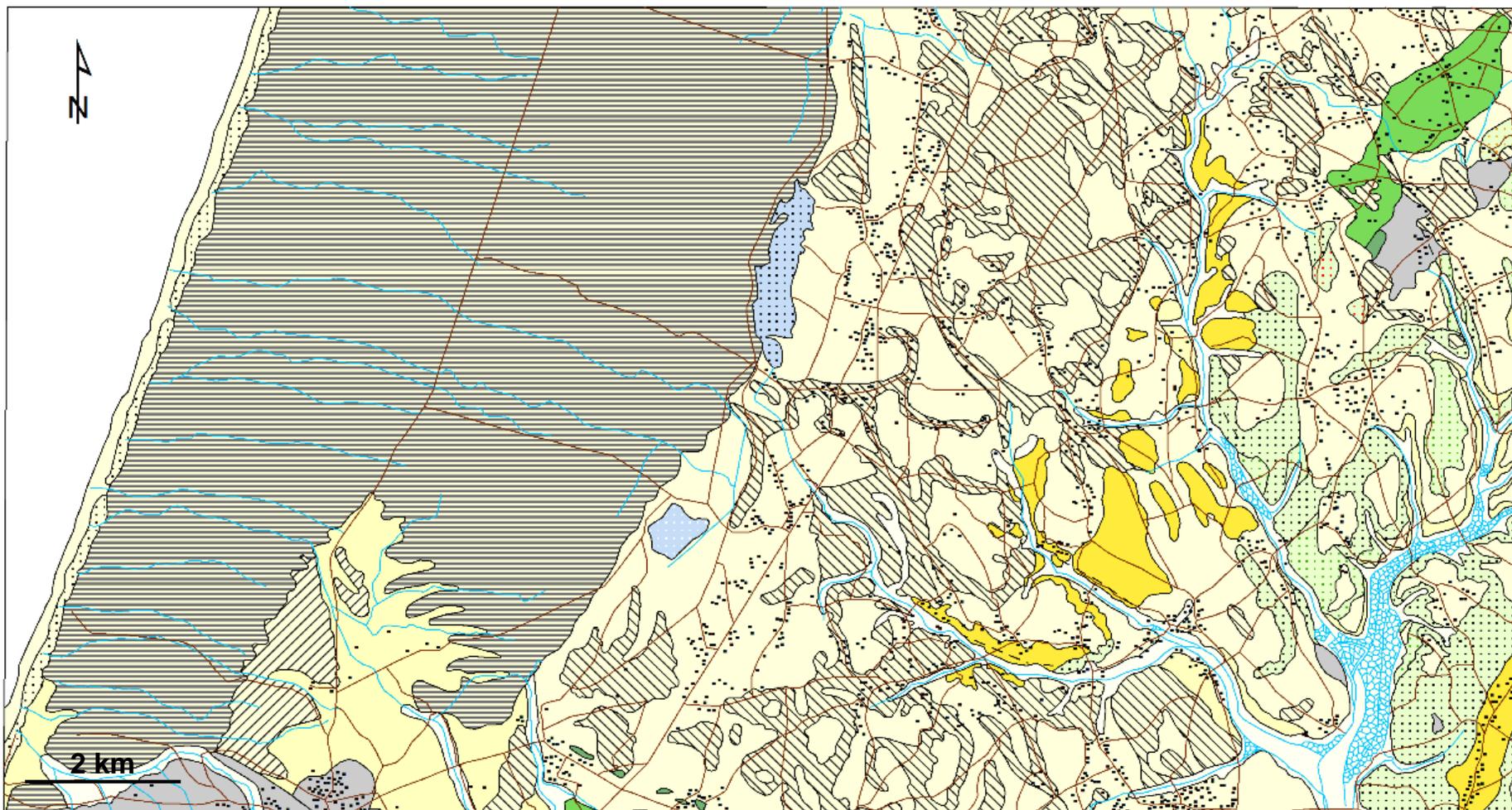


Figura 24 – Excerto da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, com dados de Serviços Geológicos de Portugal (2001) criado no *software* *ArcGis 10.3.1* (ver legenda na página seguinte – Figura 24a).

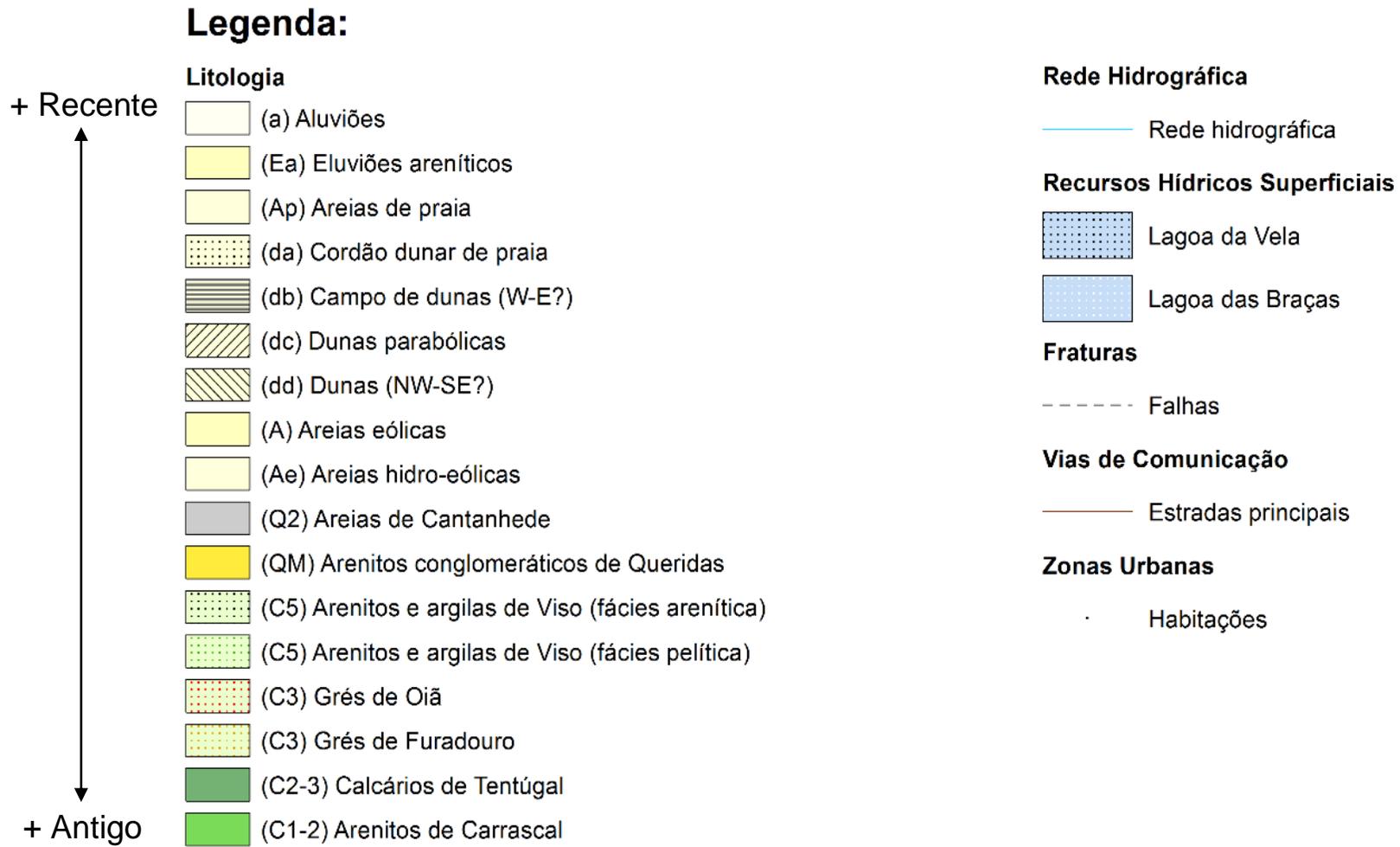


Figura 24a – Excerto da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, com dados de Serviços Geológicos de Portugal (2001) criado no *software*

ArcGis 10.3.1.

Areias de Cordinhã e Cascalheiras de Gordos (P) – unidade sedimentar terrígena do Pliocénico superior e/ou Plistocénico, composta por sedimentos gresosos finos a muito finos, essencialmente quartzareníticos por vezes micáceos, bem calibrados, e no geral, com seixo pequeno em finas lentículas e cordões. Sucedem-se os arcossarenitos a quartzarenitos grosseiros, por vezes, finos e ligeiramente micáceos, com seixo essencialmente quartzoso, subanguloso a sub-rolado, com raros intraclastos pelíticos. Estes são marcados pela presença de estruturas planares e curvilíneas entrecruzadas de fraca nitidez. São depósitos de ambiente fluvial. Sobre as areias ocorrem os arcossarenitos grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos subangulosos a sub-rolados de quartzo e quartzito (Barbosa *et al.*, 1988).

Segundo Cunha e Martins (2004), no Pliocénico (Placenciano), os depósitos são predominantemente conglomeráticos ou arenosos, com acentuada sedimentação siliciclástica bem organizados. Estes depósitos são também caracterizados pela caulínização e hidromorfismo, remetendo-nos para um clima mais quente e húmido que o atual, que posteriormente e já no final do Pliocénico as condições climáticas foram mudando gradualmente para mais frias e secas.

Areias de Arazede (Q¹) – unidade sedimentar terrígena do Siciliano (?), composta por sedimentos médios a grosseiros, submaturados, essencialmente quartzarenitos e arcossarenitos com lentículas e/ou feixes de seixos pequenos e calhaus de quartzo e quartzito arredondados com esfericidade baixa. Esta unidade é marcada pela presença de estratificação entrecruzada marcada por feixes curvilíneos. Esta unidade tem maior variação de fácies na região de Arazede-Amieiro, com espessura aproximada de 16±2 m. São depósitos característicos de ambiente de praia, onde são visíveis relevos ingremes de clima árido na ausência do rio Mondego (Soares, 1999; Barbosa *et al.*, 1988).

Soares (1999), definiu três ciclos evolutivos, sendo que esta unidade integra o primeiro ciclo (ciclo I).

Areias de Cantanhede (Q²) – unidade sedimentar terrígena do Siliciano (?), equivalentes às **Areias de Quiaios** (Soares *et al.*, 1992; Marques, 1997), caracterizadas pela presença de arcossarenitos finos a grosseiros, ligeiramente micáceos, submaturados a imaturos, compactos a subcompactos, com estratificação entrecruzada e lentículas de seixos e calhaus redondos a subredondos, de esfericidade baixa. Considerados depósitos de praias, que terão sido formados quando o rio Mondego passaria a E da serra de Montemor e onde a serra da Boa Viagem seria uma ilha, ou terminação rochosa de uma península ligada por cordão arenoso. Sobre estas e em descontinuidade,

desenvolve-se um corpo subarcosarenito fino a muito fino, micáceo, maduro, de raro areão, seixo disperso e com estruturação oblíqua de baixo ângulo, que segundo Barbosa *et al* (1988) designam-se por **Areias hidro-eólicas (Ae)** (Soares, 1999; Barbosa *et al.*, 1988). Soares (1999), integra esta unidade no segundo ciclo evolutivo (ciclo II).

Depósito de Tentúgal-Gabrielos e Depósito da Mutinheira – são depósitos de sedimentos terrígenos, de origem fluvial e de praia, que Soares (1999) integra no terceiro ciclo evolutivo (ciclo III).

Areias de Gândara – unidade sedimentar terrígena do Plistocénico superior – Holocénico, equivalentes às **Areias de Tentúgal**, estas são caracterizadas por serem bastante semelhantes às **Areias hidro-eólicas (Ae)** descritas anteriormente, distinguindo-se por não apresentar caráter micáceo, ou seja, são corpos subarcosarenitos finos a muito finos, maduros, de raro areão, seixo disperso e com estruturação oblíqua de baixo ângulo, sobrepondo-se aos depósitos de terraço (Soares, 1999; Barbosa *et al.*, 1988).

Areias eólicas (A) – unidade sedimentar terrígena, composta por areias finas, bem calibradas, com seixo pequeno, subanguloso a anguloso, disperso e por vezes mostram certa imaturidade e heterogeneidade. Esta unidade aparece a SW da Lagoa das Barças entre os complexos dunares (dc) e (db) (Barbosa *et al.*, 1988).

Dunas (dd) – edifícios dunares mal conservados, de orientações aparentes NE-SW (?), uns protegidos pelo pinhal, outros são progressivamente destruídos pelas atividades antrópicas. Segundo Gaspar Soares de Carvalho (1964) formam juntamente com as areias hidro-eólicas as “Areias da Gândara” (= “Areias de Tentúgal”) (Barbosa *et al.*, 1988).

Dunas parabólicas (dc) – são formas mal definidas, espriam-se sobre zonas alagadas ou semipantanosas, fazendo barragem a lagoas, que aos poucos vão colmatando (lagoa dos Teixoeiros e outros pequenos charcos a norte da Tocha) (Barbosa *et al.*, 1988).

Campo de dunas (db) – corredor extenso, monótono e compacto, com orientação segundo N-S, composta por uma sequência de corpos dunares conjugados de orientação aparente WNW-ESE, dispondo-se quase na perpendicular à linha de costa. Este corredor ocupa grande parte da área estudada (Barbosa *et al.*, 1988).

Cordão dunar de praia (da) – unidade sedimentar terrígena, composta por material arenoso de origem eólica, recente e móbil, que se expressa no campo na atual linha de praia (Barbosa *et al.*, 1988).

Areias de praia (Ap) – expressam-se ao longo da costa e são compostos por areias médias a grosseiras e areão, com contato estreito com o mar (Barbosa *et al.*, 1988).

Aluviões (a) – são aluviões essencialmente lodosos do rio Mondego, com espessuras da ordem dos 20 m até ao máximo de 40 m (Barbosa *et al.*, 1988).

Após uma fase prévia de prospeção geofísica, realizada por Castilho (2008), que tinha como objetivo fundamental o conhecimento e a definição das unidades geológicas para posterior suporte das unidades hidrogeológicas dos sistemas aquíferos, foram realizados furos de sondagem em diversas zonas, nove dos quais ao longo do perfil da praia da Costinha a Camarçã (Quiaios, Portugal) que se tornou local de estudo para este trabalho.

3.3.2. Geologia local

No perfil da praia da Costinha, com 8 furos de sondagens foi possível identificar cerca de 10 unidades sedimentares distintas, designadas por Castilho (2008) de: Areias de Cor Clara – WS; Areias com Óxidos de Ferro – WS p; Areias com Lodo Orgânico – WS m; Areias com Areão – WS g; Lodos Orgânicos – OM; Lodos Cinzentos com Conchas – SM; Areias Grosseiras com Conchas – SS; Areias Argilosas Micáceas – McS; Areias Argilosas Esverdeadas – MGS; Argilas Avermelhadas – RC, que se descrevem de seguida:

Areias de Cor Clara – WS: unidade sedimentar de areias quartzosas, bem calibradas a moderadamente bem calibradas, de granulometria fina a média e com elevada maturidade textural, homogénea, podendo existir pequenas variações da granulometria em profundidade ou lateralmente. Esta unidade cobre quase toda a área estudada (Castilho, 2008). Esta unidade sedimentar, segundo Castilho (2008) são idênticas às Areias Eólicas (A) (Barbosa *et al.*, 1988).

Areias com Óxidos de Ferro – WS p: unidade sedimentar de areias praticamente iguais às Areias de Cor Clara – WS, sendo que neste caso, as WS p são localmente enriquecidas em óxidos de Fe, submaturas, enriquecidas em sesquióxidos, moderadamente calibradas, fortemente assimétricas no sentido dos finos e muito leptocúrticas, com uma matriz silto-argilosa na média dos 2% e com nódulos de matéria orgânica. Geralmente são friáveis, apesar de alguns níveis terem sido encontrados

surraipa, branda e compacta, por vezes visíveis na superfície do terreno (Castilho, 2008).

Areias com Lodo Orgânico – WS m: as areias WS apresentam frequentemente níveis de sedimentos imaturos a submaturas. Os níveis WS m, são compostos por areias finas a médias, moderadamente calibradas, fortemente assimétricas no sentido dos finos, e muito leptocúrticas sem fração superior a 2 mm e com uma matriz silto-argilosa que varia de 2,3% a 6% em alguns casos (Castilho, 2008).

As litofácies **WS p** e **WS m** apresentam características que as identificam com as Areias da Gândara (Carvalho, 1954; citado em Castilho, 2008).

Areias com Areão – WS g: unidade sedimentar com areias finas, submaturas, moderadamente calibradas, podendo apresentar granulometria entre 0,2135 mm a 0,151 mm e de valores baixos de assimetria. Esta unidade encontra-se em níveis profundos, sob as Areias com Lodo Orgânico (WS m) e Areias com Óxidos de Ferro (WS p) (Castilho, 2008). Segundo Castilho (2008), esta unidade sedimentar apresenta muitas semelhanças com as Areias Eólicas (A) (Barbosa *et al.*, 1988).

Lodos Orgânicos – OM: unidade sedimentar de grãos muito finos, imaturos, ricos em matéria orgânica, com sedimentos silto-argilosos que rondam em médio os 22% e não contêm elementos grosseiros. É uma unidade sedimentar muito heterogénea, com variações significativas das quantidades de matriz silto-argilosa e matéria orgânica. Esta unidade é marcada pela presença elevada de matéria orgânica e com conteúdo polínico bem conservado. Os grãos de pólen encontrados sugerem que estávamos perante ambientes lacustres, que possivelmente seriam de lagos de água doce, em zonas húmidas (Castilho, 2008). A única referência a sedimentos semelhantes a estes, diz respeito a um pelito micáceo laminado, de cor cinzenta escura a negra, coberto por areias eólicas na Lagoa Negra a cerca de 1 km a sul de Olhos de Ferverça (Barbosa *et al.*, 1988; citado em Castilho, 2008). Outros sedimentos comparáveis a OM, são os sedimentos silto-argilosos da fácies FD2 estudados por Dinis e Soares (2007), e são descritos como lodos de cor cinzenta a cinzenta escura, de espessura métrica, com reduzido conteúdo arenoso e com presença de lignitos ou de níveis turfosos (citado em Castilho, 2008).

Lodos Cinzentos com Conchas – SM: unidade sedimentar heterogénea, constituída por sedimentos imaturos, de grão fino, geralmente ricos em conchas de moluscos e com variável conteúdo em matéria orgânica. Apresenta sedimentos silto-argilosos que variam entre 1% e 83%, com uma média de 19%, onde os grãos grosseiros (seixo) são diminutos e em grande parte formados por conchas. Esta unidade

é resumidamente composta de lodos cinzentos com conchas em zonas ocidentais, numa faixa aproximadamente paralela à linha de costa atual e onde o limite oriental encontra-se a uma distância de 800 m a 1000 m desta linha. Os grãos de pólen presentes permitiram aferir que estaríamos perante um ambiente lagunar em condições salobras (Castilho, 2008).

Areias Grosseiras com Conchas – SS: unidade sedimentar de areia média a grosseira, submatura, moderadamente calibrada a mal calibrada, com distribuições simétricas e por vezes assimétricas no sentido dos grosseiros. É uma unidade muito pobre em matriz silto-argilosa, com valor média de 0,2%, e ocorre a presença de moluscos, que se resumem a conchas desarticuladas com elevados graus de abrasão e de fragmentação. Esta litofácie é encontrada apenas numa faixa ocidental sob a litofácie SM (Castilho, 2008).

As litofácies **SM** e **SS** são semelhantes apenas em depósitos num furo efetuado próximo da Lagoa de Mira (Barbosa, 1981; citado em Castilho, 2008). No entanto, são encontradas também semelhanças na Unidade IV, da Bacia Sedimentar de Aveiro (Rocha, 1993; citado em Castilho, 2008). A Formação de Silvalde, apresenta igualmente características semelhantes com SM e SS (Carvalho e Granja, 2003; citado em Castilho, 2008).

Areias Argilosas Micáceas – McS: unidade sedimentar de areias argilosas muito ricas em moscovite, imaturos, bastante heterogéneos, constituídos por areias finas, mal calibradas, assimétricas no sentido dos finos. Esta unidade apresenta uma matriz silto-argilosa de cerca de 11% e raros elementos grosseiros (0,06%). Esta litofácie é rica em moscovite, principalmente no que diz respeito aos grãos grosseiros, quartzo e feldspatos. Os grãos podem ser subangulosos a angulosos. A litofácie em alguns dos furos de sondagem essencialmente na zona oriental encontra-se sob as litofácies WS, WS m, WS p e WS g (Castilho, 2008). Esta unidade sedimentar apresenta características que a identificam com as Areias de Cantanhede (Barbosa *et al.*, 1988) e os níveis Q² da folha de Vagos (Barbosa, 1981), pois estas partilham a mesma composição sedimentar micácea (Castilho, 2008).

Areias Argilosas Esverdeadas – MGS: unidade sedimentar de sedimentos imaturos, de calibragem muito má e com conteúdo médio da fração silto-argilosa de 22%, podendo por vezes atingir os 56% e elementos grosseiros com valor médio de 11%, podendo atingir os 60%. Esta litofácie devido às características acima referidas poderá estar ligada a um ambiente redutor, pois foi observada a alteração da cor da

superfície exposta ao ar. Esta unidade foi analisada ao longo das diversas sondagens, mostrando uma tendência granodécrescente (Castilho, 2008).

Argilas Avermelhadas – RC: unidade sedimentar de sedimentos pelíticos de cor vermelha com níveis milimétricos de sedimentos de cor castanha muito clara. Esta litofácia parece apresentar laminação plana, que é visível devido às alternâncias de cores, apesar disso não foi possível comprovar. As amostras de RC mostram que existe 99,5% de sedimentos silto-argilosos com percentagens em silte e argila e 0,5% de areia muito fina, sendo por isso 23% correspondentes à fração argilosa (Castilho, 2008).

As litofácies **MGS** e **RC**, são unidades sedimentares que apresentam características que as identificam com os Arenitos e Argilas de Viso (Soares *et al.*, 1982; Reis, 1983; Barbosa *et al.*, 1988; citado em Castilho, 2008), equivalentes dos Arenitos e Argilas de Taveiro (Rocha *et al.*, 1981; Soares *et al.*, 1982) e das Argilas de Vagos (Barbosa, 1981).

3.3.3. Morfo-estrutural

À escala regional a área em estudo fica situada na parte ocidental da Península Ibérica, numa zona de contato de importantes unidades paleogeográficas e tectónicas. Do ponto de vista geológico e geomorfológico, esta região situa-se numa das grandes unidades geológicas e também morfo-estruturais: a Orla Mesocenozóica Ocidental de que faz parte a Bacia Lusitaniana (Soares e Rocha, 1984; Ribeiro *et al.* 1996; Kullberg *et al.*, 2013).

A Bacia Lusitaniana é classificada como uma bacia sedimentar, distensiva que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI) durante parte do Mesozóico e pertence a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica (Kulberg *et al.*, 2013).

Para Ribeiro *et al.* (1979) a evolução tectónica da Bacia Lusitaniana foi condicionada por falhas que se formaram durante o episódio de fracturação tardi-hercínica aproximadamente entre os 300 e os 280 Ma. As falhas têm direção NNE-SSW as quais tiveram um papel importante desde o Triásico, nas fases de rifting (Kulberg *et al.*, 2013).

As direções das falhas herdadas terão sido originadas pela forte compartimentação da Bacia, isto é, a estruturação não se restringe apenas à geometria dos seus bordos, mas outras orientações, tais como falhas orientadas entre NE-SW e E-W, que desempenham um papel importante na delimitação de setores com evoluções

tectono-sedimentares por vezes distintas. Este fator irá condicionar não apenas o estilo tectónico, mas também o substrato sedimentar (Kullberg et al., 2013).

Consequência destes acontecimentos anteriormente descritos é possível a uma escala mais detalhada da área em estudo, verificar que na zona norte da Figueira da Foz existem unidades morfo-estruturais para a zona centro litoral de Portugal (Dinis, 2004). As unidades apresentam uma evolução pliocénica e quaternária que resultaram da atividade estrutural e da natureza do substrato geológico.

Dinis (2004) definiu três setores da Plataforma Litoral, sendo que um desses setores faz parte a Fachada Litoral Espinho-Quiaios, dita um setor abatido, cujos limites estruturais principais são o eixo Arunca-Montemor-Palhaça (a oriente) e o cavalgamento da serra da Boa Viagem (a sul).

O eixo Arunca-Montemor-Palhaça (Soares *et al.*, 1988; citado em Barbosa *et al.*, 1988; Soares, Ramos e Marques, 1998), com uma direção aproximada NNE-SSW a norte da Figueira da Foz, é uma das estruturas responsáveis pela evolução sedimentar da região.

Este eixo é representado por um conjunto de fraturas com diferentes orientações que permitiram o deslocamento de blocos na região. Consequência dos movimentos de blocos ocorre na região uma descida topográfica bem visível, com cerca de 20 m. Podemos ver esse desnivelamento de 20 m entre as regiões de Cantanhede e Montemor-o-Velho, sendo que estes movimentos de blocos são também marcados por arpejamentos responsáveis pela formação de estruturas monoclinais. (Barbosa, 1981; Dinis, 2004).

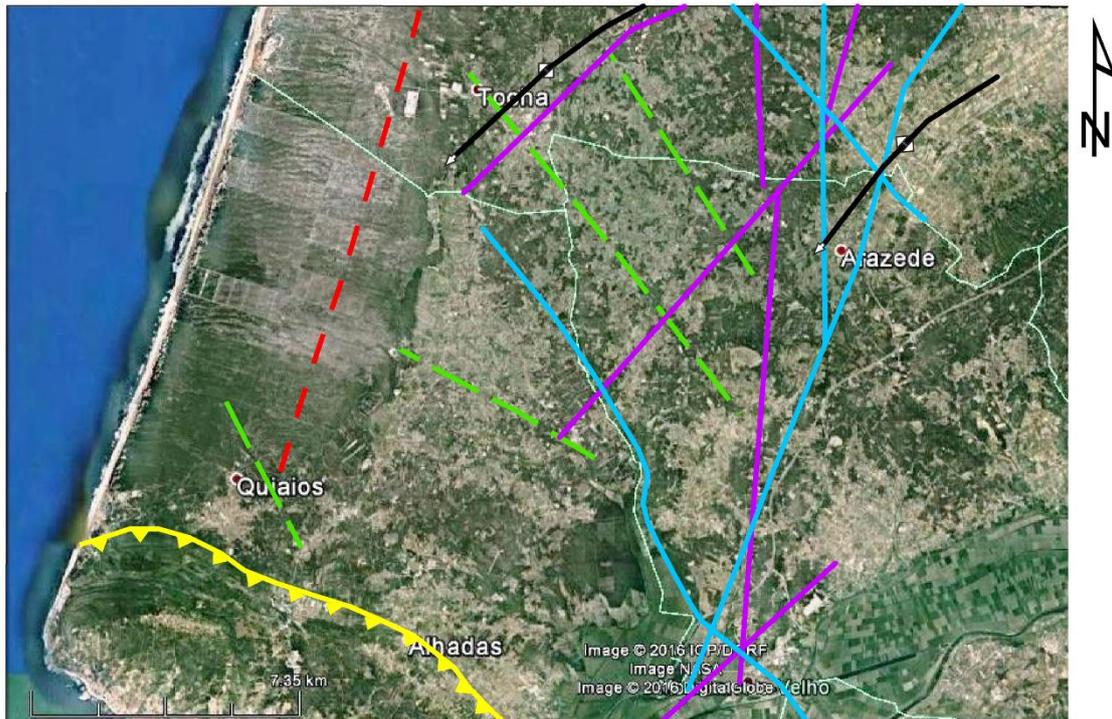
O eixo é cortado por falhas de orientação NE-SW, permitindo a formação de zonas de depressão capazes de acomodar sedimentos do quaternário. (Barbosa *et al.*, 1988).

No limite sul da Fachada Litoral Espinho-Quiaios encontramos um cavalgamento (cavalgamento da serra da Boa Viagem – falha de Quiaios), considerada falha inversa, com direção WNW-ESE (Carvalho, 1952, Soares, 1981; Ribeiro, 1988; citados em Barbosa *et al.*, 1988; Cabral e Ribeiro, 1988; Cabral, 1995; Machadinho, 2008; citados em Castilho, 2008).

São visíveis dobramentos com eixos aproximadamente paralelos entre si, de orientação aproximada de NE-SW. Estes dobramentos permitem que na região se formem anticlinais e sinclinais, como o anticlinal Tocha-Mogofores; o anticlinal de Cantanhede e o provável sinclinal de Pena-Tentúgal. (Barbosa *et al.*, 1988; Dinis, 2004).

Existem ainda fraturas NW-SE que seguem orientações aproximadamente perpendiculares à dos dobramentos (Barbosa *et al.*, 1988). São ainda encontradas falhas de inclinação com orientações NNE-SSW e direção aproximadamente paralela à linha de costa atual. Pensa-se que estas estão relacionadas à inversão tectónica cenozoica da bacia lusitânica devido à formação dos Pirenéus e da compressão alpina (Cabral e Ribeiro, 1988; Machadinho, 2008; citado em Castilho, 2008).

Segue-se a Figura 25, interpretativa da história tectónica da região:



Legenda:

- ◆— Dobramentos
- Alinhamentos estruturais
- ▶▶— Cavalgamento da serra da Boa Viagem
- - - Falha de inclinação
- - - Fraturas
- Eixo Arunca-Montemor-Palhaça

Figura 25 – Enquadramento estrutural. Com dados de Cabral e Ribeiro (1988), de Barbosa *et al.*, (1988) e de Soares *et al.*, (1993). Imagem de fundo obtida com o Google Earth (2016).

3.4. Classificação do Solo

Segundo a classificação da FAO-UNESCO (1988) (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) na área que abrange a região estudada observam-se diversos tipos de solos, dos quais se identificam do mar para oriente, os regossolos dísticos; os podzóis órticos (associados a Cambissolos calcários); cambissolos éutricos (associados a rochas sedimentares post-Paleozóicas); cambissolos cálcicos e luvisolos rodocrômicos cálcicos. Já no perfil estudado os solos são essencialmente regossolos dísticos (Figura 26) (SNIAmb, 2016).

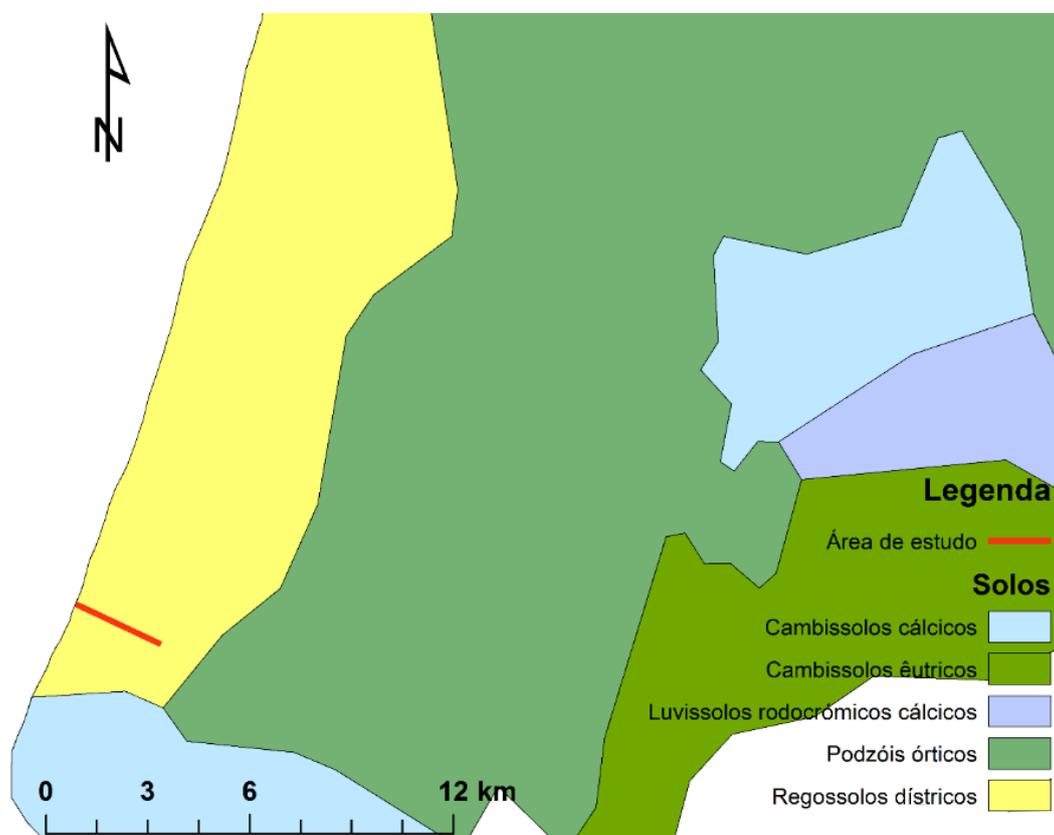


Figura 26 – Excerto da Carta de Solos de Portugal, com informação de base do Atlas Digital do Ambiente, segundo a classificação da FAO (SNIAmb, 2016).

3.5. Uso e ocupação do solo

A cartografia do uso e ocupação do solo é importante para identificar locais de potenciais focos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas que consequentemente influenciam a qualidade da água.

Segundo a classificação SROA (Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário), a zona costeira é uma área não agrícola (florestal) de classe F, onde a tendência para oriente é a dispersão da classe F e o aparecimento de áreas agrícolas de classe A, onde por vezes é possível encontrar o conjunto das classes A+F (complexos-áreas agrícolas e florestais). O perfil estudado encontra-se a ocidente na zona marcada a amarelo, classificada de classe F, ou seja, zona florestal (não agrícola) (Figura 27) (SNIAmb, 2016).

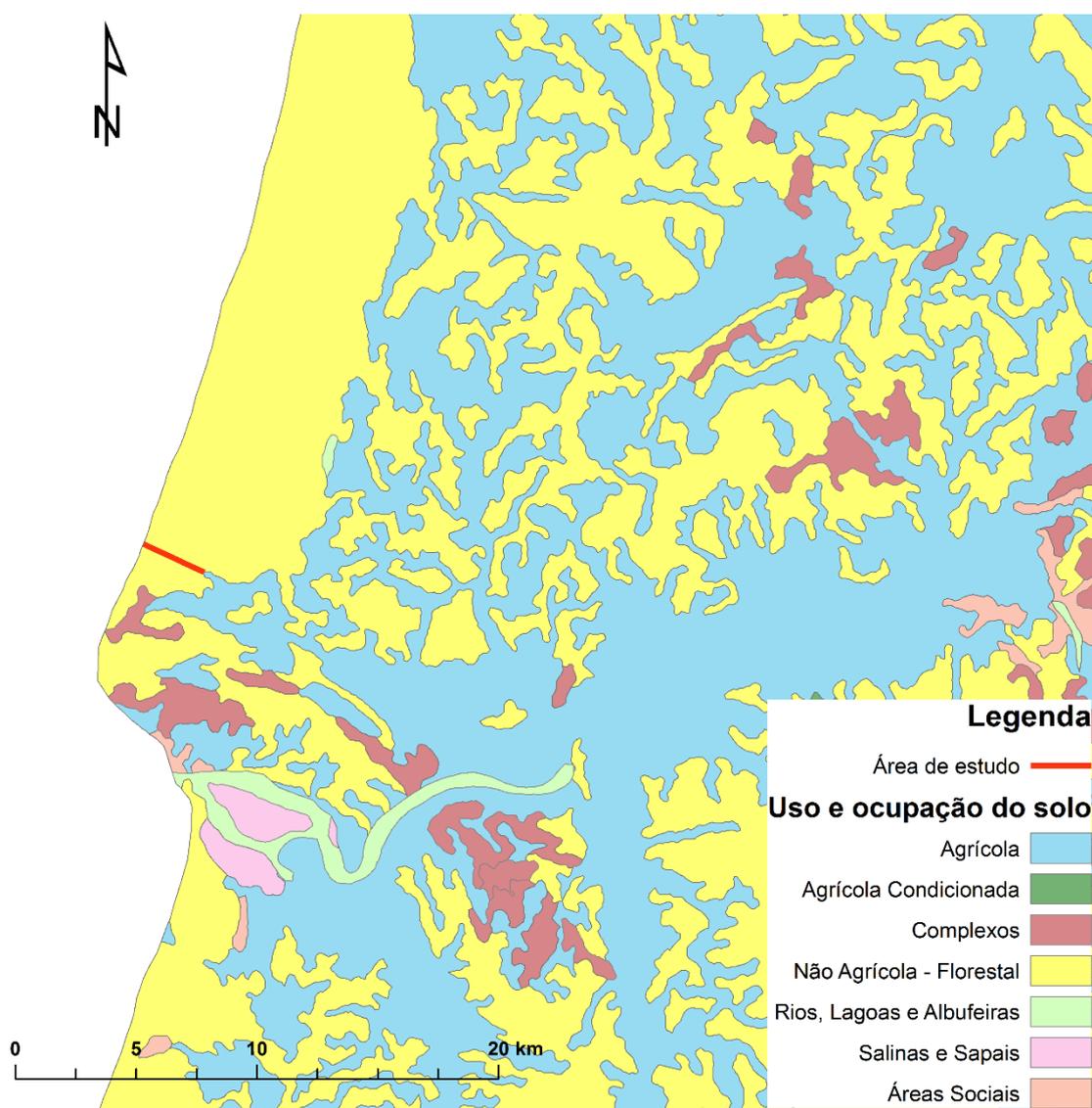


Figura 27 – Uso e ocupação do solo, criado no software ArcGis 10.3.1, segundo a classificação da SROA (SNIAmb, 2016).

Segundo a Direção Regional de Florestas do Centro (DRFC), para a área em estudo, o estrato arbóreo apresenta árvores resinosas, tais como: Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e Pinheiro-manso (*Pinus pinea*), e das folhosas Salgueiro-preto (*Salix atrocinerea*), Choupo-negro (*Populus nigra*), Samouco (*Myrica faya*), Medronheiro

(*Arbutus unedo*) (que pode apresentar um porte sub-arbóreo ou arbustivo), Freixo (*Fraxinus angustifolia*) e Eucalipto (*Eucalyptus globulus*). A flora vascular existente é bastante diversificada, podendo observar-se *Caropsis verticillato-inundata* (= *Thorella verticillato-inundata*) e *Verbasco-de-flores-grossas* *Verbascum litigiosum*. Existe a presença de Gilbardeira *Ruscus aculeatus* (DRFC, 2010).

Quanto à flora exótica de comportamento invasor, temos as acácias, Acácia-de-espigas (*Acacia longifolia*), Austrália (*Acacia melanoxylon*), *Acacia saligna*, Mimosa (*Acacia dealbata*), *Acacia mearnsii*, *Acacia retinodes*, e ainda *Ailanto* *Ailanthus altissima* e Falsa-acácia (*Robinia pseudoacacia*) (DRFC, 2010).

Do estrato arbustivo, destaca-se a presença de Pilriteiro (*Crataegus monogyna*), Sanguinho-das-sebes (*Rhamnus alaternus*), Camarinheira (*Corema album*), Tojo (*Ulex europaeus subsp. latebracteatus*), Tojo-manso (*Stauracanthus genistoides*), Giesteira-das-sebes (*Cytisus grandiflorus*), Torga-ordinária (*Calluna vulgaris*), Sanganho-mouro (*Cistus salviifolius*), Roselha (*Cistus crispus*), Rosmaninho (*Lavandula stoechas*), Sargaça (*Halimium halimifolium*), Silva (*Rubus ulmifolius*) e Salgueiro-anão (*Salix repens*) (= *Salix arenaria*) (DRFC, 2010).

Ao nível do estrato herbáceo, verifica-se a presença de diversas espécies de gramíneas, compostas, ciperáceas, leguminosas, entre outras (DRFC, 2010).

Os campos agrícolas são utilizados para o cultivo de milho verde e pastagens, onde possivelmente é comum o uso de fertilizantes

É de destacar que ao redor dos campos agrícolas ocorrem zonas artificializadas, ou seja, construções humanas, como edifícios e estradas, que de certa forma, sustentam toda a área agrícola existente e que podem potenciar as contaminações das águas.

3.6. Caracterização hidrogeológica

3.6.1. Hidrogeologia regional

A área em estudo situa-se na unidade hidrogeológica referida como Orla Ocidental (Figura 28) esta é um domínio de grande variabilidade litológica, textural e estrutural. A Orla Ocidental é marcada pela presença de carbonatos, arenitos e argilitos e na cobertura quaternária ou plio-quaternária, por materiais arenosos desagregados que favorecem a infiltração da água das chuvas. Os sedimentos apresentam uma organização sequencial que permite individualizar verticalmente as formações com comportamento hidrogeológico diverso, podendo ser perceptível alternâncias, mais ou

menos cíclicas, de aquíferos, aquíferos, aquíferos, aquíferos. O conjunto destas unidades hidrogeológicas formam sistemas aquíferos multicamadas (PGBH4, 2012; SNIRH, 2016).

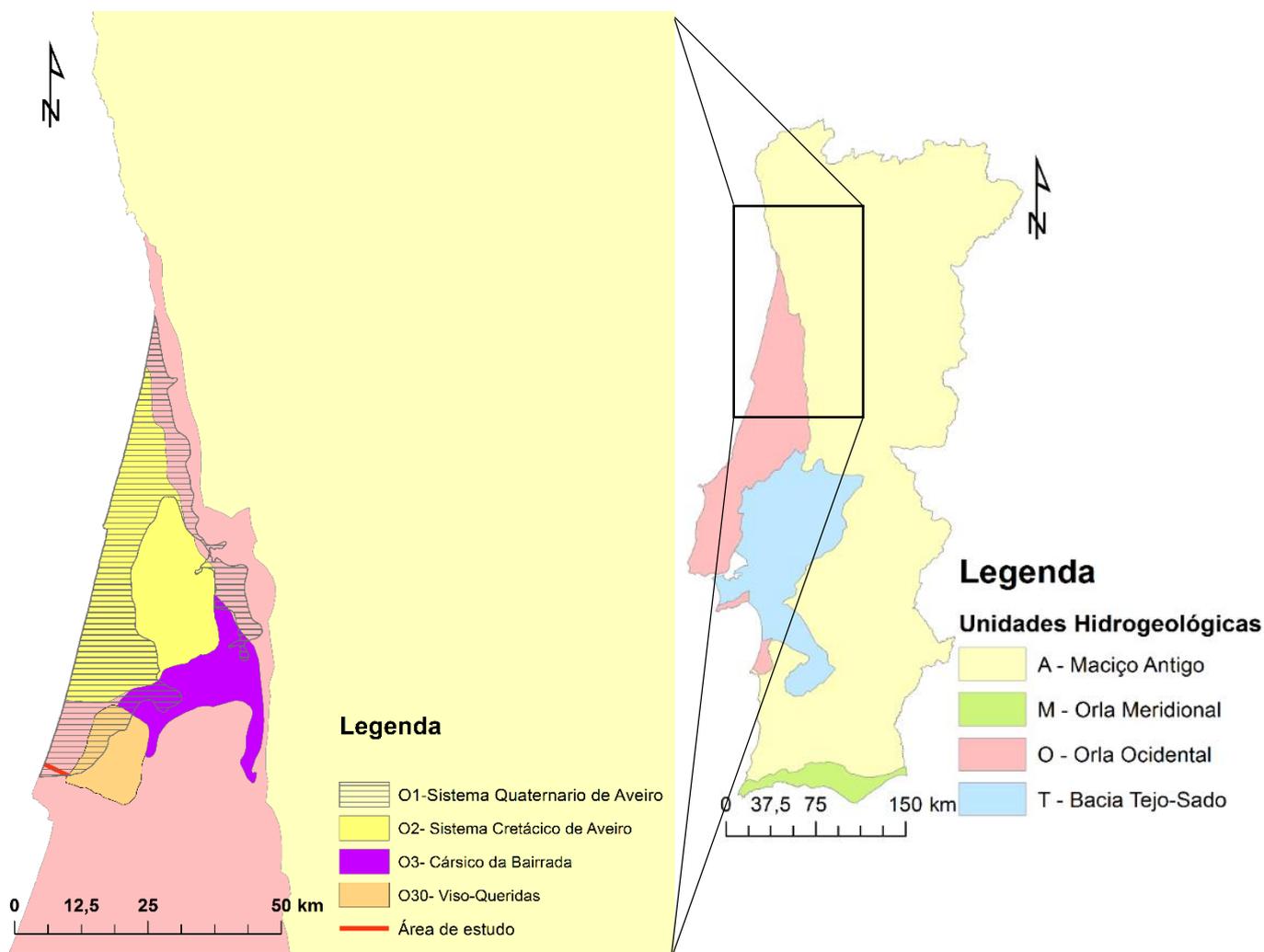


Figura 28 – Unidades Hidrogeológicas e Sistemas Aquíferos, criado no *software ArcGis 10.3.1* (SNIAmb, 2016).

É possível diferenciar dois tipos de sistemas de circulação de águas subterrâneas nesta zona: os porosos e os cársicos. Os sistemas aquíferos porosos são suportados pelas formações detríticas mesozoicas e algumas terciárias, são geralmente multicamada; e os sistemas aquíferos cársicos são suportados pelas formações calcárias e dolomíticas (PGBH4, 2012).

Na Orla Ocidental existem diversas formações que constituem o suporte de 28 sistemas aquíferos. Na zona em estudo está cartografado o sistema aquífero Quaternário de Aveiro, classificado como um sistema multi-aquífero, com área total de

931 km², situado a NW de Portugal e litologicamente constituído por formações detríticas (Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano e Silva, 2002).

– **Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro**

Almeida *et al.* (2000) divide o sistema aquífero Quaternário de Aveiro em três grandes unidades litostratigráficas, que por conseguinte permitiram definir três unidades aquíferas:

1. Aquífero freático, instalado em depósitos de praias antigas e terraços fluviais do Plio-Plistocénico;
2. Aquífero em grande parte semiconfinado, instalado numa sequência granodescrescente, muito grosseira na base, por vezes com clastos de xistos, granitos, grauvaques e liditos, passando para a parte superior, a areões e areias cada vez mais finas, acabando quase sempre com uma ou mais camadas de lodos orgânicos, por vezes com conchas ou restos vegetais (formação da base do Quaternário);
3. Aquífero freático superior, instalado em areias de praia, dunas e areias eólicas e hidro-eólicas do Plistocénico superior a Holocénico.

O sistema aquífero Quaternário de Aveiro faz a sua recarga direta e/ou diferida pela precipitação ou regadio, mostrando uma rápida resposta à subida do nível da água, após as primeiras precipitações. A descarga, de modo geral, faz-se para o mar ou Ria, podendo também ocorrer para outros sistemas aquíferos subjacentes, como o caso do sistema aquífero do Cretácico de Aveiro e o sistema Liásico a norte do Mondego (Cunha *et al.*, 2006; Melo, Cabano e Silva, 2002). É geralmente nas áreas semiconfinadas que a recarga é feita pela drenagem diferida do aquífero freático superior, a partir de águas superficiais com as quais apresenta conexão hidráulica.

A drenância entre aquíferos faz deste sistema aquífero um alvo de elevada vulnerabilidade a fenómenos diversos de contaminação, como intrusões salinas, e contaminação industrial e agrícola (Melo, Cabano e Silva, 2002).

Este sistema aquífero apresenta uma rede piezométrica com cerca de 37 piezómetros irregularmente distribuídos pelo sistema (Cunha *et al.*, 2006). Destes 37 piezómetros, alguns encontram-se instalados na formação da base do Quaternário (aquífero semiconfinado), onde os níveis piezométricos estão situados geralmente acima do topo do aquitardo (camada confinante, formada por lodos orgânicos), ou mesmo acima da superfície do terreno (Almeida *et al.*, 2000). Os níveis confinantes

desaparecem na zona de Estarreja passando esta unidade a comportar-se como um aquífero livre (Melo, Cabano e Silva, 2002).

O aquífero freático superior é muito utilizado para fins agrícolas, podendo observar-se em campo diversos poços tradicionais que captam água neste nível; enquanto que o aquífero semiconfinado (da base do Quaternário) é muito utilizado para o abastecimento público, doméstico e industrial.

Em Almeida *et al.* (2000), foi referida a colheita de amostras de água subterrânea em cerca de 34 furos penetrantes no aquífero semiconfinado e 60 furos e poços de grande diâmetro penetrantes no aquífero freático para a caracterização hidroquímica do sistema aquífero Quaternário de Aveiro (Tabela 6).

Melo, Cabano e Silva (2002) estudaram as águas subterrâneas para a caracterização hidroquímica do sistema aquífero Quaternário de Aveiro através da análise das águas nos três subsistemas aquíferos (Aquífero freático; Aquífero semiconfinado; Aquífero freático superior). Para Melo, Cabano e Silva (2002) os três subsistemas aquíferos apresentam composições químicas características que permitem distingui-las entre si. Pode-se verificar essas distinções pelo diagrama de Piper (Figura 29) projetado pelos autores:

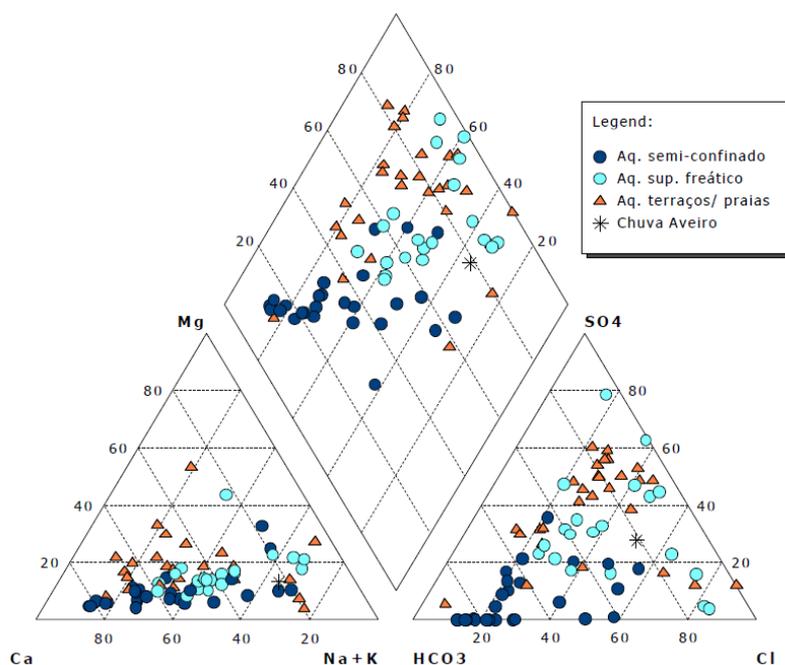


Figura 29 – Diagrama de Piper com amostras recolhidas nos três subsistemas aquíferos (Melo, Cabano e Silva, 2002).

Com o diagrama de Piper é possível concluir que o aquífero freático superior, apresenta ausência de episódios de contaminação e tem águas de fácies cloretadas sódicas, com valores de salinidade reduzidos ($< 300 \mu\text{S}/\text{cm}$), que se expressam

essencialmente na área dunar a Norte de Ovar, sendo que para Sul de Ovar a água deste aquífero é da fácies bicarbonatada cálcica (dominância dos iões Ca^{2+} e HCO_3^-), que tem como resultado provável da dissolução de calcite e de trocas iónicas em solos empobrecidos em Na (Melo, Cabano e Silva, 2002; Castilho, 2008).

Tabela 6 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro (^a Fonte: Silva (1989); citado em Almeida *et al.* (2000); ^b Fonte: Almeida *et al.* (2000)).

	Aquífero freático ^a					Aquífero semiconfinado ^b				
	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
pH	60	6,0	0,7	3,8	7,3	34	6,7	0,9	4,55	8,8
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	58	574	350	143	1785	32	334	146	80	590
Bicarbonato (mg/L)	60	81	71	1	366	31	29,4	16,3	6	79
Cloreto (mg/L)	60	90	60	17	237	34	34	11,3	15,9	59,1
Sulfato (mg/L)	60	82,5	56	10	297	19	18	18	2,2	73
Nitrato (mg/L)	60	63	38	0,5	140	17	2,2	3,5	0,01	12
Nitrito (mg/L)	60	0,061	0,139	0,0034	1	7	0,1	0,2	0,001	0,5
Chumbo (mg/L)	60	0,062	0,0175	0,027	0,111					
Ferro (mg/L)	60	0,59	1,61	0,065	11	24	4,9	12,9	0,02	64,2
Sódio (mg/L)	60	56	38	8	146					
Cádmio (mg/L)	60	0,005	0,003	0,001	0,021					
Magnésio (mg/L)	60	10,6	12	1,4	76,6	32	7,3	4,9	0,9	21,1
Cobre (mg/L)	60	0,038	0,108	0,005	0,834					
Cálcio (mg/L)	60	40	19	2,9	95	32	37,1	27,7	1,6	84,8
Zinco (mg/L)	60	0,234	0,629	0,012	4,0					
Potássio (mg/L)	60	13	15	0,6	111					
Manganésio (mg/L)	60	10,6	0,141	0,006	0,71					
Níquel (mg/L)	60	0,016	0,031	0,005	0,228					
Cobalto (mg/L)	60	0,053	0,022	0,01	0,142					
Estrôncio (mg/L)	60	0,082	0,045	0,025	255					

O aquífero semiconfinado apresenta, em grande parte da sua área, águas doces de fácies bicarbonatada cálcica ($\text{Ca}-(\text{HCO}_3)_2$). Nas áreas aluvionares adjacentes aos cursos de água, surgem frequentemente águas de reduzida salinidade caracterizadas pelo predomínio de fácies Na-Cl. As águas de infiltração deverão ser recentes, com reduzidos tempos de residência, que refletem a composição da água fluvial proveniente de precipitação na região, com influência atlântica marinha (aerossol marinho) (Melo, Cabano e Silva, 2002).

Segundo Melo, Cabano e Silva (2002) existe um aumento nos aquíferos costeiros na direção da costa, de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, verificando-se pelo contrário a diminuição ligeira de Na^+ . Este tipo de evolução indica a presença ativa de fenómenos de intercâmbio catiónico, que removeram inicialmente o Na^+ do sedimento adsorvendo Ca^{2+} , provocando de forma indireta a dissolução de calcite e o posterior aumento do cálcio e do bicarbonato na água. A dissolução de calcite foi confirmada pelo aumento do índice de saturação deste mineral e pelo aumento do Sr^{2+} em solução, em águas com maior tempo de residência.

A dissolução de silicatos (provavelmente de feldspato-K) é outro dos processos ativos nos aquíferos. É indicado por um aumento de silício na direção do fluxo, sendo acompanhado por igual variação no tempo de residência, diminuição de CO_2 e aumento do pH da água (Melo, Cabano e Silva, 2002; Castilho, 2008).

Observa-se também no diagrama de Piper a redução de sulfatos, que afeta claramente o aquífero semiconfinado, indicando ambientes redutores (Melo, Cabano e Silva, 2002).

As unidades aquíferas têm comportamentos redox distintos que permitem determinar o comportamento químico e biológico de muitos elementos e, inclusivamente, influenciar a sua mobilidade e toxicidade no ambiente. Distinguem-se pelo seu comportamento redox: o aquífero semiconfinado pelas suas condições praticamente anaeróbicas que evidenciam um meio aquífero redutor ($\text{Eh} < 270 \text{ mV}$) com valores médios e de Eh de 130 mV , podendo atingir valores negativos (-40 mV) em algumas captações mais profundas e em locais junto à costa; o aquífero freático apresenta valores médios de Eh superiores a 300 mV , mostrando características de meios aeróbicos e oxidantes, embora apresente valores de oxigénio dissolvido muito variáveis ($0-9 \text{ mg/L}$) (Melo, Cabano e Silva, 2002).

Para as duas unidades freáticas que estão em condições de contato direto com O_2 atmosférico, o decaimento da matéria orgânica dá-se em condições aeróbicas e com consumo de O_2 , mas devido ao intercâmbio com o O_2 atmosférico, o Eh diminui

ligeiramente. Desta forma a maior ou menor redução do potencial redox, dependerá da relação entre a velocidade do consumo de O₂ pela matéria orgânica e a sua reposição pela atmosfera. Podemos verificar isso no caso do aquífero semiconfinado, onde o decaimento se inicia em condições aeróbias, não tendo contato direto com o O₂ atmosférico, rapidamente leva à eliminação do O₂ livre e posteriormente à redução do Eh instituindo-se condições anaeróbias. Devido a estas condições, ocorrem a redução de nitratos, desnitrificação e redução de sulfatos, muitas vezes acompanhadas pela estabilização de espécies como o Fe²⁺, Mn²⁺ e I⁻ (Melo, Cabano e Silva, 2002; Castilho, 2008).

Melo, Cabano e Silva (2002), assume que a redução de sulfatos é facilmente identificada não só pelas reduzidas concentrações de SO₄²⁻ em solução mas também pelo cheiro intenso a H₂S. Pode ainda ocorrer a génese de metano por redução das espécies carbonatadas, fenómeno já observado diversas vezes no aquífero e que dificulta a construção de captações de água subterrânea.

O sistema aquífero Quaternário de Aveiro apresenta vulnerabilidade à contaminação por nitratos, sendo estas contaminações de origem antrópica, promovida pela prática agrícola, doméstica e industrial. O aquífero freático superior é o que apresenta maior vulnerabilidade a nitratos e potássio, devido às suas condições/caraterísticas hidrogeológicas, podendo encontrar-se por vezes concentrações elevadas de cloretos, ferro e chumbo (Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano e Silva, 2002; Castilho, 2008). O aquífero semiconfinado é o que apresenta menor vulnerabilidade aos nitratos, pois este encontra-se protegido pelo aquífero, sendo a sua composição química associada maioritariamente aos processos naturais a que está submetido. Os processos de desnitrificação ativos reduzem as quantidades de nitratos na água, apesar de que, também com a redução de sulfatos e a génese de metano, promovem o aumento das quantidades de Fe²⁺ e Mn²⁺, e por outro lado de H₂S e CH₄ (Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano e Silva, 2002; Castilho, 2008).

– **Sistema Aquífero Viso-Queridas**

Sob o sistema aquífero Quaternário de Aveiro, na zona envolvente das lagoas, encontra-se o sistema aquífero Viso-Queridas. Este sistema aquífero tem cerca de 186 km² de área cartografada (Almeida *et al.*, 2000), é caracterizado como um aquífero essencialmente poroso, constituído por materiais detríticos de textura muito variável e estrutura lenticular. As camadas de argilas permitem a divisão do sistema aquífero em várias unidades aquíferas, dando globalmente um carácter multicamada ao sistema.

Devido à variabilidade da composição granulométrica, as características hidráulicas podem variar significativamente de local para local (Almeida *et al.*, 2000).

O mesmo encontra-se numa área onde afloram sedimentos do Cretácico e do Paleogénico e Miocénico indiferenciados, recobertos na sua grande maioria por terrenos plio-quadernários, principalmente areias eólicas. Da base para o topo, a sucessão litostratigráfica é: Arenitos do Carrascal (Formação da Figueira da Foz); Calcários de Tentúgal (Formação de Costa de Arnes); Grés do Furadouro; Grés de Oiã; Arenitos e Argilas do Viso e Arenitos Conglomeráticos de Queridas (Formação de Bom Sucesso) (Barbosa *et al.*, 1988; Almeida *et al.*, 2000).

Os sedimentos que constituem as litologias acima descritas, são genericamente de fácies arenítica com produtividade aquífera, com exceção das rochas carbonatadas dos Calcários de Tentúgal e as unidades argilosas que constituem os Arenitos e Argilas do Viso, que são consideradas improdutivas (Almeida *et al.*, 2000). Estes últimos sedimentos constituem o substrato do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, na maior parte da área oriental da região (Castilho, 2008).

Segundo Almeida *et al.*, (2000), a recarga aquífera mínima está estimada para 28 hm³/ano, valor idêntico às descargas efetuadas para a rede de drenagem (mar e aquíferos adjacentes). Existe reduzido número de dados para os estudos de parâmetros hidráulicos nestas unidades aquíferas, sabendo apenas a estimativa do valor de transmissividade que ronda os 90 m²/d.

Existem apenas duas análises efetuadas a amostras de água neste sistema aquífero, as mesmas foram colhidas a diferentes profundidades no furo AC2 efetuado em Gatões (AC2) (Almeida *et al.*, 2000) (Tabela 7).

Tabela 7 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Viso-Queridas (Almeida et al., 2000).

	Viso – Queridas	
	AC2-TOPO	AC2-BASE
	Arenitos	Arenitos/Calcários
Profundidade (m)	49-63	84-116
TSD (mg/L)	115	255,5
pH	6,7	7,7
Bicarbonato (mg/L)	34,2	187,9
Cloreto (mg/L)	27,7	28,4
Sulfato (mg/L)	19,8	15,97
Nitrato (mg/L)	0	0
Cálcio (mg/L)	6,8	46,4
Magnésio (mg/L)	3,2	10,7
Sódio (mg/L)	25,3	42,1
Potássio (mg/L)	2	2,5
Ferro (mg/L)	0,04	0,08

3.6.2. Hidrogeologia local

O perfil estudado é caracterizado por 8 unidades hidrogeológicas, que apresentam localizações geográficas diferentes, e que mostram propriedades hidráulicas distintas. A autora teve como alvo a definição dos aquíferos e níveis confinantes existentes, que tiveram por base as associações de uma ou mais unidades sedimentares, as quais foram definidas a partir da análise de amostras recolhidas em furos de sondagem, na informação estrutural disponível e na informação geológica inferida na fase de prospeção geofísica (Castilho, 2008).

As 8 unidades hidrogeológicas foram descritas em termos geológicos e divididas em camadas aquíferas e confinantes (aquítardos e aquícludos), as quais foram organizadas pelo número de ordem, que identifica a sua localização na sequência hidroestratigráfica (do topo para a base) e a letra W ou E, que identifica a sua inserção nos setores Ocidental ou Oriental, respetivamente. Os aquíferos estão instalados em rochas sedimentares, porosas, não consolidadas, sendo quase na totalidade aquíferos costeiros (Castilho, 2008).

As 8 unidades hidrogeológicas são as seguintes:

- **AQF1 – Areias eólicas superiores**

Aquífero freático de elevada permeabilidade, que abrange toda a zona estudada. Está instalado em sedimentos não consolidados de granulometria que vai de areia fina a média, bem calibrados e relativamente homogéneos, ocorrendo apenas ligeiras alterações no tamanho do grão para ocidente. É constituído maioritariamente por areias de cor clara designadas por WS. O aquífero AQF1 corresponde ao aquífero freático superior do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, quase totalmente formado por areias eólicas na área em estudo, com espessuras saturadas máximas de cerca de 10 metros, podendo ser de alguns centímetros a NE (Castilho, 2008).

– **AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas**

Unidade parcialmente confinante (aquífero), pois segundo Castilho (2008), este apresenta condições geológicas e hidrogeológicas que apontam para esta classificação. Estudos de sondagens realizados no setor Ocidental permitiram intercalar níveis de lodos cinzentos com conchas sob os depósitos eólicos. É uma unidade costeira caracterizada por intercalações finas de níveis lodosos, silto-argilosos, com níveis de areia fina a média, sendo constituída pelos sedimentos da unidade SM. Apresenta distribuições granulométricas bastante heterogéneas com quantidades variáveis de fração argilosa o que pode afetar a sua permeabilidade. Esta unidade apresenta espessuras que variam desde alguns centímetros, na sua extremidade oriental, até cerca de 2 metros na zona central (Castilho, 2008).

– **AQF2-W – Areias grosseiras com conchas**

Unidade semiconfinante (aquífero semiconfinado) sob a unidade anterior formado pelos lodos cinzentos com conchas (aquífero). No setor Ocidental, os furos de sondagem atravessaram uma unidade de areias grosseiras de cores claras e com elevados conteúdos de conchas, pertencentes à litofácies SS. Os sedimentos são classificados pela sua granulometria fina a grosseira, moderadamente bem calibrados e com tendência para distribuições assimétricas negativas causadas pelo enriquecimento em fração grosseira. Esta unidade semiconfinante é relativamente homogénea e de elevada permeabilidade, que aparece em algumas zonas. Não se conhece a sua espessura máxima, dada a não interseção da base da unidade nas sondagens efetuadas que indicam que é superior a 7 m, mas relatórios de sondagens efetuadas anteriormente indicam que esta poderá atingir os 30 m (Cavaco, 1996; citado em Castilho, 2008).

– **AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou com óxidos de ferro**

Unidade parcialmente confinante (aquífero), constituída por areias com lodo orgânico (WS m) ou com óxidos de ferro (WS p), e em alguns locais por areias lodosas

(OM). Este conjunto de litofácies permite que esta unidade seja heterogénea e estratificada, formada por várias camadas de espessura e permeabilidade reduzida, intercalada com alguns níveis mais arenosos e permeáveis. A sua espessura total média é de cerca de 2,5 m, variando desde alguns decímetros a 4,5 m (Castilho, 2008).

– **AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão**

Aquífero em grande parte semiconfinado, que se encontra sob as areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro do setor Oriental. Esta unidade semiconfinante é constituída por areias eólicas (WS) e areias com areão (WS g). Os sedimentos são moderadamente calibrados, com populações frequentemente bimodais, de areia fina, por vezes com intercalações de areão ou areia grosseira (cerca de 1,5%) e com uma fração silto-argilosa cujo valor médio é de 0,33%, conferindo-lhe elevada permeabilidade. A espessura da unidade aquífera é inferior a 15 m (Castilho, 2008).

– **AQT2-E – Areias argilosas micáceas**

As sondagens realizadas no setor Oriental permitiram intersetar uma unidade sedimentar constituída por areias finas, siltosas, muito ricas em moscovite designados por McS. São sedimentos heterogéneos, mal calibrados e com assimetria positiva. No que diz respeito à matriz, esta apresenta uma quantidade variável de materiais silto-argilosos (entre 3% e 19%), com uma percentagem média de 11%, indicando valores de permeabilidade que podem condicionar de maneira diversa o fluxo subterrâneo. A unidade hidrogeológica é muito variável quanto à sua dimensão vertical, podendo mesmo atingir um máximo de 9 m na zona estudada (Castilho, 2008).

– **AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas**

Unidade aquífera geralmente sob as areias argilosas micáceas, mas podendo existir contato direto com as areias com areão. Existe ainda uma camada de areias ligeiramente cascalhentas e cascalhentas, mal calibradas, em que a fração silto-argilosa é, em média, 2,6% (APS). Constitui uma camada heterogénea, com permeabilidade variável, mas geralmente elevada, sobretudo nas zonas em que a percentagem de finos é menor. A espessura desta unidade é muito variável e geralmente diminuta, podendo ser superior a 8 m (Castilho, 2008).

– **Substrato cretácico (SC) – argilas, siltes e areias argilosas**

O substrato cretácico é constituído por areias argilosas esverdeadas, mal calibradas, com conteúdos significativos de silte e argila (22%) e de fração grosseira (11%) (MGS), a que estão subjacentes siltes, ligeiramente argilosos, de cor avermelhada (RC). É uma camada confinante, de reduzida permeabilidade, que define o aquíclodo de base do sistema aquífero estudado (Castilho, 2008).

Os estudos realizados no sistema aquífero Quaternário de Aveiro, por Melo e Silva (2009), foram realizados a norte da Tocha indicam a presença de duas unidades hidrogeológicas distintas do Holocénico e do Plio-Pleistocénico: aquífero freático ou localmente aquífero semiconfinado. Segundo Castilho (2008), que também estudou o sistema aquífero Quaternário de Aveiro no seu limite meridional (sul), existe a prevalência de aquíferos semiconfinados no setor ocidental do perfil estudado (AQF2-W), numa faixa costeira com cerca de 1 km, e no setor oriental do perfil (AQF2-E) havendo perda de confinamento no setor intermédio. O aquífero freático (AQF1) abrange toda a área estudada por Castilho (2008). Na parte sul é ainda possível encontrar-se aquíferos profundos ligados ao sistema aquífero de Viso-Queridas (AQF3-E).

3.7. Perfil hidroestratigráfico da praia da Costinha

Descritos os enquadramentos geológico e hidrogeológico, conjugou-se a informação de ambos e construiu-se um perfil hidroestratigráfico (Figura 30) no *software RockWorks 16*, que tivesse em conta as diferentes litofácies definidas por Castilho (2008), bem como os níveis aquíferos que as mesmas dão origem.

Após a escolha dos métodos de análise estatística (descritos no capítulo da metodologia) que melhor se adequavam ao perfil hidroestratigráfico que se pretendia obter, e já com o perfil construído, foi possível dividir o mesmo em 3 setores distintos: Ocidental, Central e Oriental, sendo que cada setor apresenta sequências e litofácies distintas.

No Setor Ocidental a sequência hidroestratigráfica é formada, do topo para a base, pela unidade aquífera AQF1 (litofácie WS), por uma unidade confinante AQT1-W (litofácie SM) e por uma unidade aquífera AQF2-W (litofácie SS), em que a base não se conhece na zona em estudo. Este setor mostra uma sucessão de influência marinha. A litofácie WS é formada por areias eólicas; litofácie SM é formada por sedimentos de lagoa salobra e a litofácie SS é formada por sedimentos de praia (Castilho, 2008; Danielsen *et al.*, 2011).

No Setor Central ou Setor de Transição a sequência hidroestratigráfica é formada, do topo para a base, pela unidade aquífera AQF1 (litofácie WS), sendo que no seu interior existe a ausência da camada confinante limitado a cima e a baixo por duas unidades aquíferas. Esta camada confinante a Ocidente é designada de AQT1-W (litofácie SM) e a Oriente é designada de AQT1-E (litofácies WS m, WS p e OM), que devido à sua ausência faz com que o aquífero inferior (AQF2) passe a ser um aquífero livre, multicamada, formado pelas camadas aquíferas AQF1 e AQF2 (Castilho, 2008; Danielsen *et al.*, 2011).

No Sector Oriental a sequência hidroestratigráfica é composta, do topo para a base, pela unidade aquífera AQF1 (litofácie WS), pela unidade confinante AQT1-E (litofácies WS m, WS p e OM), e subjacentes, a unidade aquífera AQF2-E (litofácie WS e WS g), a unidade confinante AQT2-E (litofácie McS) e a unidade aquífera AQF3-E (litofácie APS). Assume-se como forma de simplificação que estas três últimas unidades hidrogeológicas possam constituir um aquífero multicamada, que seria designado de AQF2-E. A litofácie WS é formada por areias eólicas; litofácie OM é formada por depósitos de lagos; é possível encontrar um ou mais níveis de podzol (WS p) e a litofácie WS m é formada por sedimentos interdunares (Castilho, 2008; Danielsen *et al.*, 2011).

Abaixo de todo o sistema aquífero parece ser o aquífero constituído por sedimentos cretácicos das unidades MGS ou RC, cartografados como Arenitos e Argilas de Viso. Estes sedimentos nesta zona de estudo foram encontrados a cotas de cerca de 40 m acima do nível médio do mar atual, apesar de que na zona da praia da Tocha estes mesmos sedimentos encontram-se a cotas de -30 m em relação ao nível médio do mar atual (Cavaco, 1996; Castilho, 2008).

No entanto, existem muitas incertezas no que diz respeito ao comportamento individual de cada unidade hidrogeológica, sendo que para Castilho (2008) existem três hipóteses que se podem considerar:

- a primeira segue a organização do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, em que podemos considerar a existência de um aquífero freático superior, formado pela unidade AQF1, e um aquífero inferior semiconfinado (aquífero de base do Quaternário), constituído pelas unidades AQF2-W, AQF2-E e AQF3-E, sendo estas duas últimas unidades parte de um aquífero multicamada com uma unidade intermédia de permeabilidade mais reduzida (AQT2-E);
- a segunda hipótese mantém uma organização detalhada, considerando todos os níveis aquíferos e confinantes, referidos no subcapítulo 3.6.2;
- a terceira hipótese considera que todas as unidades hidrogeológicas definidas no subcapítulo 3.6.2 seriam parte integrante de um aquífero multicamada, com um comportamento intermédio entre um aquífero livre ou freático e um aquífero semiconfinado.

Legenda:

Litofácies		Aquíferos	Litofácies		Aquíferos
	WS - Areias eólicas superiores	AQF1		SM - Lodos cinzentos com conchas	AQT1-W
	WS m - Areias com lodo orgânico	AQT1-E		SS - Areias grosseiras com conchas	AQF2-W
	WS p - Areias com óxidos de ferro			McS - Areias argilosas micáceas	AQT2-E
	OM - Lodos orgânicos			APS - Areias angulosas mal calibradas	AQF3-E
	WS - Areias eólicas inferiores	AQF2-E		MGS - Areias argilosas esverdeadas	SC
	WS g - Areias com areão			RC - Areias avermelhadas	

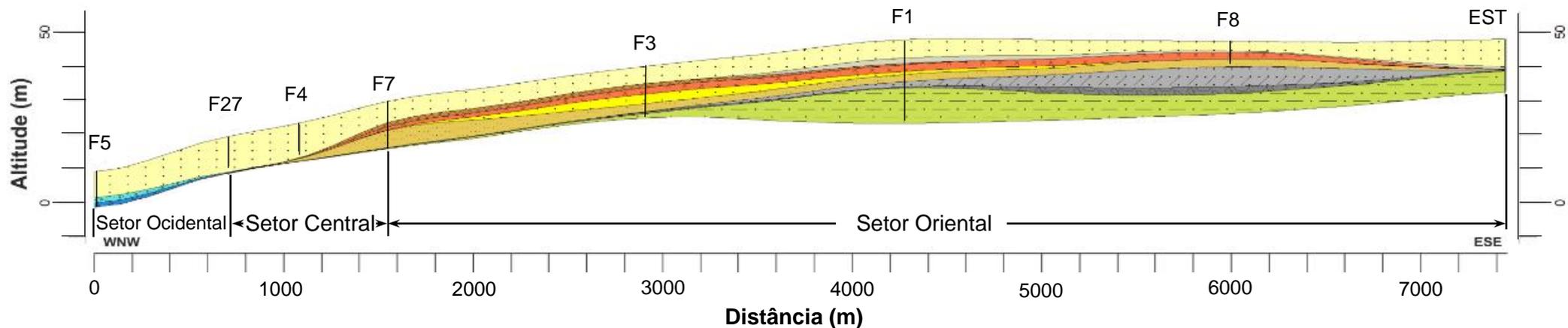


Figura 30 – Perfil hidroestratigráfico da praia da Costinha dividido por setores, de orientação WNW-ESE e com um exagero de 20 vezes, criado no software RockWorks 16 (adaptado de Danielsen *et al.*, 2011).

4. Resultados e Discussão

A estimação das propriedades hidráulicas dos aquíferos é essencial em qualquer estudo hidrogeológico, nomeadamente para caracterizar os reservatórios e os recursos hídricos, descrever o fluxo de água subterrânea e possibilitar o desenvolvimento de modelos que descrevam esse fluxo.

A condutividade hidráulica é uma propriedade hidráulica que expressa a facilidade com que a água, ou outro fluido, se movimenta nas formações geológicas, sendo de extrema importância para o estudo dos recursos hídricos, a agricultura e, conseqüentemente à preservação do solo, e o ambiente (Gonçalves e Libardi, 2013). Esta depende de várias características do meio físico como porosidade, tamanho, arranjo e forma das partículas e também das propriedades do fluido, como viscosidade e do peso específico (Darcy, 1856; Hubbert, 1956; citados em Fetter, 2001). No entanto, a condutividade hidráulica na condição saturada depende muitas vezes mais da estrutura do que da textura do solo ou rocha, sendo que, os materiais consolidados apresentam geralmente, uma condutividade hidráulica mais baixa do que o seu equivalente friável (solto), devido à presença do cimento que diminui a dimensão dos poros, chegando mesmo a impedir a comunicação entre estes.

A condutividade hidráulica corresponde ao coeficiente de proporcionalidade K que aparece na Lei de Darcy (1956) e é definida como o volume de água por unidade de tempo (caudal) que passa através uma superfície de área unitária, perpendicular à direção de fluxo, sob a ação de um gradiente hidráulico unitário (Boonstra e Soppe, 2007). Esta pode ser estimada através de fórmulas empíricas, ensaios de laboratório ou ensaios de campo. Os seus valores são geralmente expressos em m/s ou cm/s.

Os parâmetros hidráulicos de uma formação geológica, como a porosidade, a condutividade hidráulica, a compressibilidade do meio poroso, a cedência específica, entre outros, podem ser estimados a partir de dados retirados das distribuições granulométricas (Kalbus, Reinstof e Schirmer, 2006; citado em Castilho, 2008). No entanto, os ensaios de campo (*in situ*) são os mais frequentes, pois apresentam uma boa representatividade e menor erro associado. Os ensaios de campo mais usados são os ensaios de bombagem (*pumping tests*), os *slug tests* e os testes com permeâmetros de campo. Apesar de os ensaios realizados no campo serem mais trabalhosos, quando são bem executados fornecem dados mais fiáveis do que os ensaios de laboratório (Ferraz, 2015). Estes são diversas vezes utilizados porque permitem estimar a condutividade hidráulica a uma escala mais detalhada a partir das distribuições granulométricas dos sedimentos colhidos na etapa de furação ou através de ensaios de

permeabilidade com permeâmetros. Segundo Dourado (2003), os ensaios de laboratório comparados com os ensaios de campo apresentam vantagens nas condições de controlo (saturação, nível de tensões efetivas, carga hidráulica e direção do fluxo), tempo de ensaio, para além de que permitem obter medidas de anisotropia hidráulica quando as amostras são ensaiadas em direções específicas do fluxo. Apesar disso as desvantagens acontecem devido ao efeito da escala, isto é, o volume de solo que é geralmente envolvido no processo de fluxo é muito menor, e ao facto de serem muitas vezes utilizadas amostras perturbadas.

4.1. Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de distribuições granulométricas

A condutividade hidráulica (K) de aquíferos porosos não consolidados pode ser estimada a partir das distribuições granulométricas dos sedimentos que formam os aquíferos. Para tal foram criadas diversas fórmulas empíricas com base na distribuição granulométrica: Hazen; Fair e Hatch, Krumbein e Monk; Kozeny-Carman; Harleman *et al.*; Shepherd; Therzaghi e Peck; Sperry e Peirce, Dane e Puckett; Alyamani e Sen, entre outros (Domenico e Schwartz, 1990; Batu, 1998; Weight e Sonderegger, 2000; Fetter, 2001; Cronican e Gribb, 2004; Odong, 2008; citados em Castilho, 2008). Neste caso, foram apenas usadas três fórmulas empíricas: Hazen; Kozeny-Carman e Shepherd que foram explicadas na metodologia (capítulo 2.3.1).

Após os cálculos de K com as fórmulas empíricas atrás referidas, foi usado o *software RockWorks 16* para tratar esses dados, permitindo interpretar os valores de K de forma ilustrativa para mais facilmente extrair conclusões.

Para a determinação da porosidade (η), necessária para o cálculo de K através da equação de Kozeny-Carman, utilizou-se a aplicação *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator software* (Saxton e Rawls, 2009) e o modelo *SPAW (Soil - Plant - Atmosphere - Water)* (Saxton, 2009) que possibilitaram de forma mais simples e rápida a aquisição dos valores da porosidade. Para tal foi necessário fornecer dados de textura do sedimento, como a percentagem de areia e a percentagem de argila que constavam dos dados de análises granulométricas das amostras de cada sondagem (Castilho, 2008), obtendo-se posteriormente os valores da saturação, estimadores dos valores da porosidade eficaz. O *software* para além de fornecer os dados anteriormente descritos, possibilitou a obtenção direta dos valores da condutividade hidráulica em polegadas por hora, sendo apenas necessário a conversão dos mesmos para cm/s. Apesar disso, optou-se por realizar os cálculos através da fórmula de Kozeny-Carman, onde se usaram os valores da porosidade fornecidos pelo *SPAW* e d_{10} .

As equações de Hazen e de Kozeny-Carman, com a aplicação do diâmetro d_{10} , permitem-nos aferir valores semelhantes. Já para valores de condutividade hidráulica determinados pela equação de Shepherd com aplicação do diâmetro d_{50} permitiu-nos aferir que os valores são geralmente bastante mais elevados (Tabela 8, ANEXO 2).

Tabela 8 – Média geométrica para K obtidos pelas fórmulas empíricas.

Unidades aquíferas	Sondagem	K Hazen (cm/s)	K K-C (d_{10}) (cm/s)	K Shepherd (cm/s)
AQF1	EST	$1,66 \times 10^{-2}$	$6,00 \times 10^{-3}$	$2,51 \times 10^{-3}$
AQT1-E	EST	$3,75 \times 10^{-5}$	$2,95 \times 10^{-5}$	$1,95 \times 10^{-3}$
SC	EST	$1,11 \times 10^{-5}$	$9,67 \times 10^{-6}$	$6,87 \times 10^{-4}$
AQF1	F8	$3,36 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$	$4,67 \times 10^{-3}$
AQT1-E	F8	$1,26 \times 10^{-2}$	$5,32 \times 10^{-3}$	$3,33 \times 10^{-3}$
AQF2-E	F8	$1,66 \times 10^{-2}$	$6,58 \times 10^{-3}$	$3,13 \times 10^{-3}$
AQT2-E	F8	$5,78 \times 10^{-3}$	$2,58 \times 10^{-3}$	$2,90 \times 10^{-3}$
AQF1	F1	$3,29 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-2}$	$4,64 \times 10^{-3}$
AQT1-E	F1	$1,76 \times 10^{-2}$	$7,00 \times 10^{-3}$	$3,37 \times 10^{-3}$
AQF2-E	F1	$1,46 \times 10^{-2}$	$5,85 \times 10^{-3}$	$2,51 \times 10^{-3}$
AQT2-E	F1	$1,47 \times 10^{-3}$	$7,20 \times 10^{-4}$	$1,75 \times 10^{-3}$
SC	F1	$5,50 \times 10^{-5}$	$4,11 \times 10^{-5}$	$8,73 \times 10^{-4}$
AQF1	F3	$3,68 \times 10^{-2}$	$1,43 \times 10^{-2}$	$5,32 \times 10^{-3}$
AQT1-E	F3	$7,05 \times 10^{-3}$	$3,06 \times 10^{-3}$	$2,87 \times 10^{-3}$
AQF2-E	F3	$1,71 \times 10^{-2}$	$6,54 \times 10^{-3}$	$2,78 \times 10^{-3}$
AQF1	F4	$3,22 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^{-2}$	$4,86 \times 10^{-3}$
AQF1	F5	$4,00 \times 10^{-2}$	$1,51 \times 10^{-2}$	$5,03 \times 10^{-3}$
AQT1-W	F5	$2,49 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$	$3,57 \times 10^{-3}$
AQF2-W	F5	$2,06 \times 10^{-2}$	$8,99 \times 10^{-3}$	$4,47 \times 10^{-3}$
AQF1	F7	$3,70 \times 10^{-2}$	$1,44 \times 10^{-2}$	$5,40 \times 10^{-3}$
AQT1-E	F7	$3,05 \times 10^{-2}$	$1,19 \times 10^{-2}$	$4,49 \times 10^{-3}$
AQF2-E	F7	$1,50 \times 10^{-2}$	$6,16 \times 10^{-3}$	$2,88 \times 10^{-3}$
AQF1	F27	$3,18 \times 10^{-2}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$4,55 \times 10^{-3}$

Para as camadas constituídas por sedimentos bem calibrados, com granulometria da areia e onde a percentagem da fração silto-argilosa é reduzida, são considerados válidos os valores obtidos pelas equações de Hazen e Kozeny-Carman (d_{10}), pois nestas condições estas equações são aplicáveis. Já para casos de camadas de onde foram retiradas amostras de sedimentos mal calibrados, com percentagem de fração silto-argilosa elevada, estas equações deixam de ser aplicáveis e, portanto, os

valores obtidos pela equação de Shepherd passam a ser os únicos que se podem considerar válidos, apesar de que esta equação apresentar resultados um pouco mais elevados (Tabela 8, ANEXO 2).

Da análise pormenorizada dos registos de sondagens (*striplogs*) (Figura 31 à Figura 35) verifica-se que, para amostras com sedimentos bem calibrados e de granulometria grosseira em que a fração fina é reduzida, os valores de condutividade hidráulica são mais elevados; no entanto, para sedimentos cuja fração fina é elevada e a calibração é pior, os valores obtidos para a condutividade hidráulica diminuem nitidamente.

Realizaram-se ainda cálculos da média geométrica da condutividade hidráulica para cada unidade aquífera e confinante a partir dos resultados das diferentes fórmulas empíricas usadas, obtendo-se os seguintes valores tabelados (Tabela 9, ANEXO 2).

Tabela 9 – Média geométrica de K para cada unidade aquífera em m/d.

Unidades aquíferas	Litofácies	K Hazen (m/d) (cm/s)	K κ-C (d10) (m/d) (cm/s)	K Shepherd (m/d) (cm/s)
AQF1	WS1.1	27,6 (3,2x10 ⁻²)	10,6 (1,2x10 ⁻²)	3,9 (0,5x10 ⁻²)
AQT1-E	WS m	5,0 (5,8x10 ⁻²)	2,3 (0,3x10 ⁻²)	2,6 (0,3x10 ⁻²)
	WS p			
	OM			
AQF2-E	WS1.2	13,1 (1,5x10 ⁻²)	5,2 (0,6x10 ⁻²)	2,4 (0,3x10 ⁻²)
	WS g			
AQT1-W	SM	2,1 (0,3x10 ⁻²)	1,2 (0,1x10 ⁻²)	3,1 (0,4x10 ⁻²)
AQF2-W	SS	17,8 (2,1x10 ⁻²)	7,8 (0,9x10 ⁻²)	3,9 (0,5x10 ⁻²)
AQT2-E	McS	1,8 (0,2x10 ⁻²)	0,9 (0,1x10 ⁻²)	2,0 (0,2x10 ⁻²)
SC	MGS	0,02 (0,002x10 ⁻²)	0,01 (0,001x10 ⁻²)	0,6 (0,07x10 ⁻²)
	RC			

Os valores da condutividade hidráulica obtidos pela equação de Hazen são mais aceitáveis quando comparados com os valores da tabela 3 (capítulo 2), sendo os valores obtidos pela equação de Kozeny-Carman (d_{10}) no geral relativamente próximos. Os valores determinados pela equação de Shepherd são, no geral, mais baixos para a condutividade hidráulica, exceto nos casos de sedimentos mal calibrados com fração silto-argilosa acima de 5% em que a condutividade hidráulica é mais elevada.

No seguimento do tratamento de dados de K para diferentes fórmulas empíricas, foi possível construir perfis de condutividade hidráulica, associando os mesmos com as localizações geográficas das amostras recolhidas *in situ* e analisadas em laboratório, pois estas são representativas de uma determinada unidade aquífera ou confinante (Figura 36).

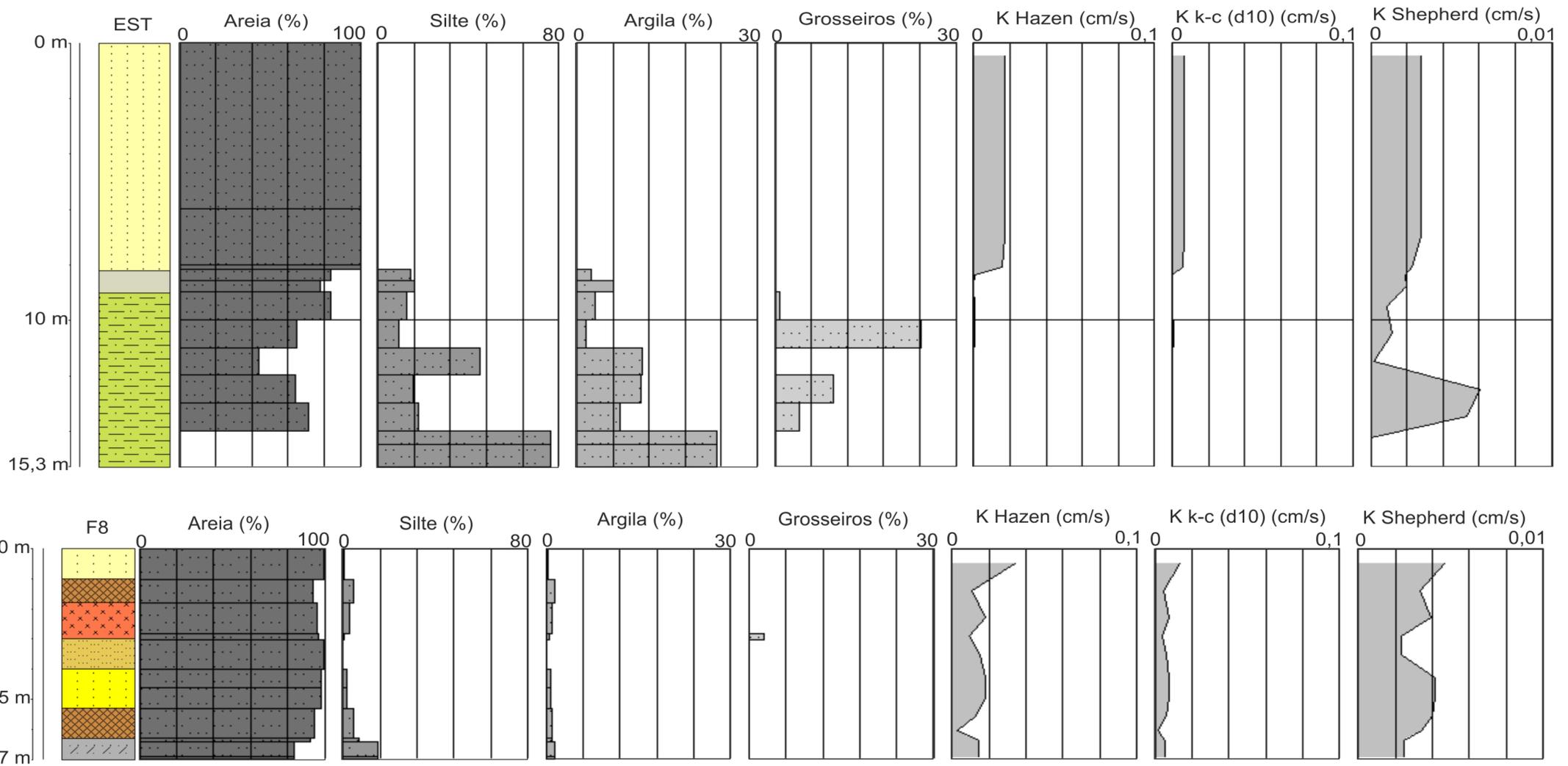


Figura 31 – Striplogs dos furos EST e F8, criados no software RockWorks 16.

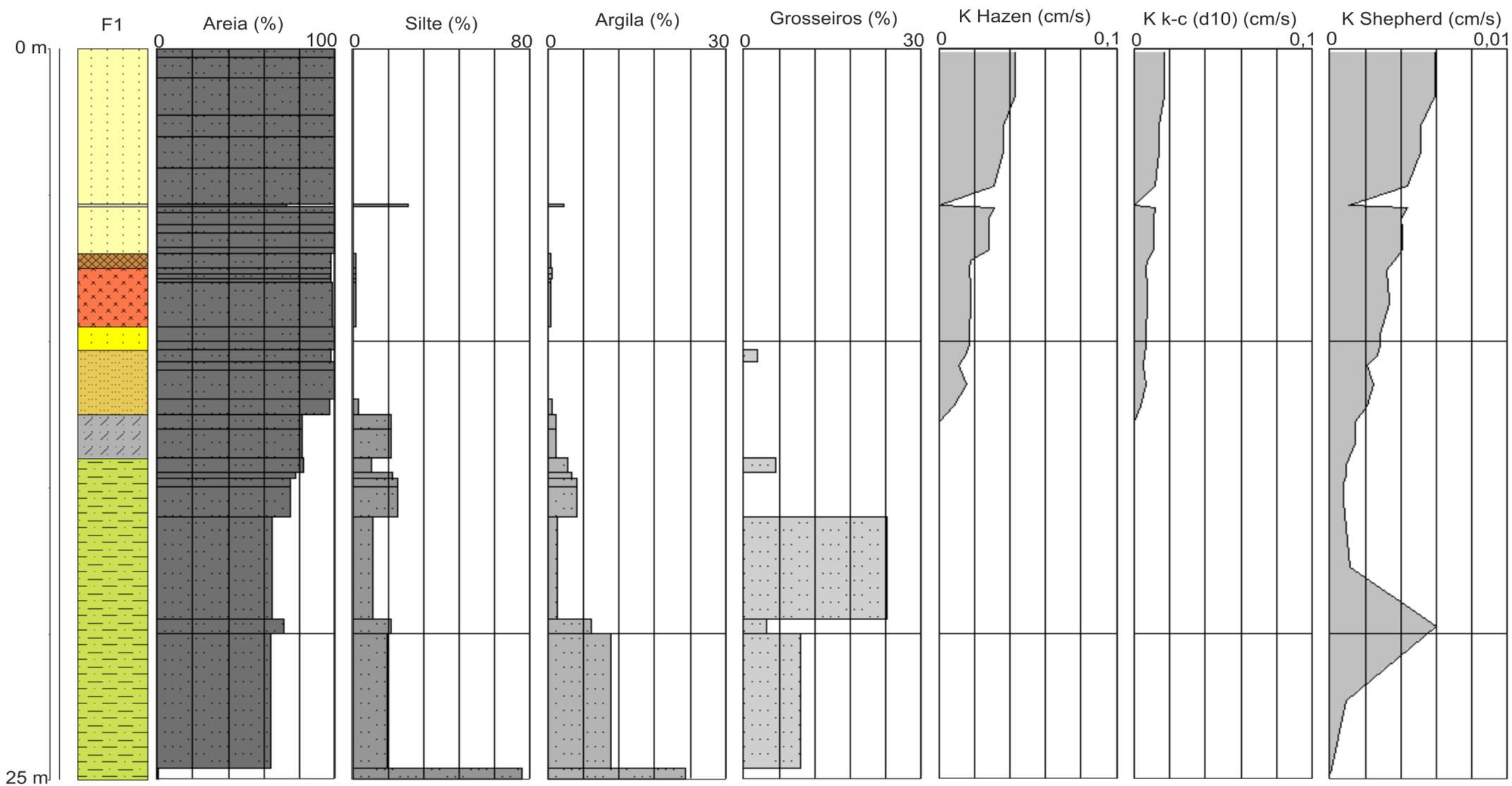


Figura 32 – Striplog do furo F1, criado no software RockWorks 16.

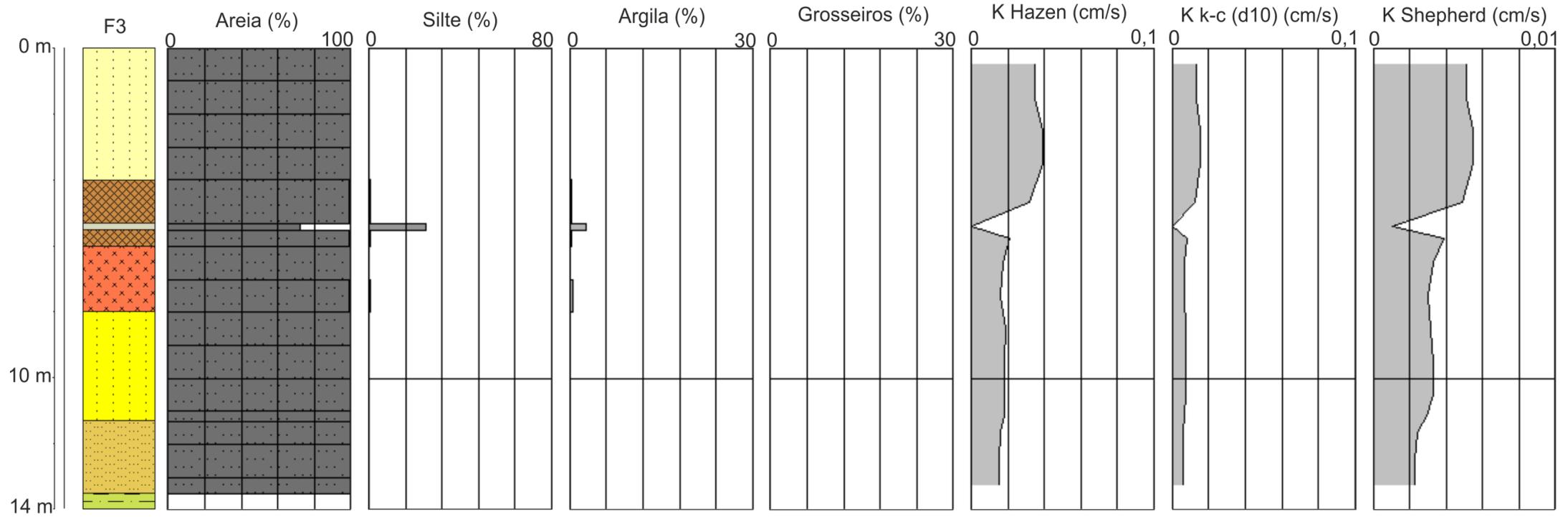


Figura 33 – Striplog do furo F3, criado no software *RockWorks 16*

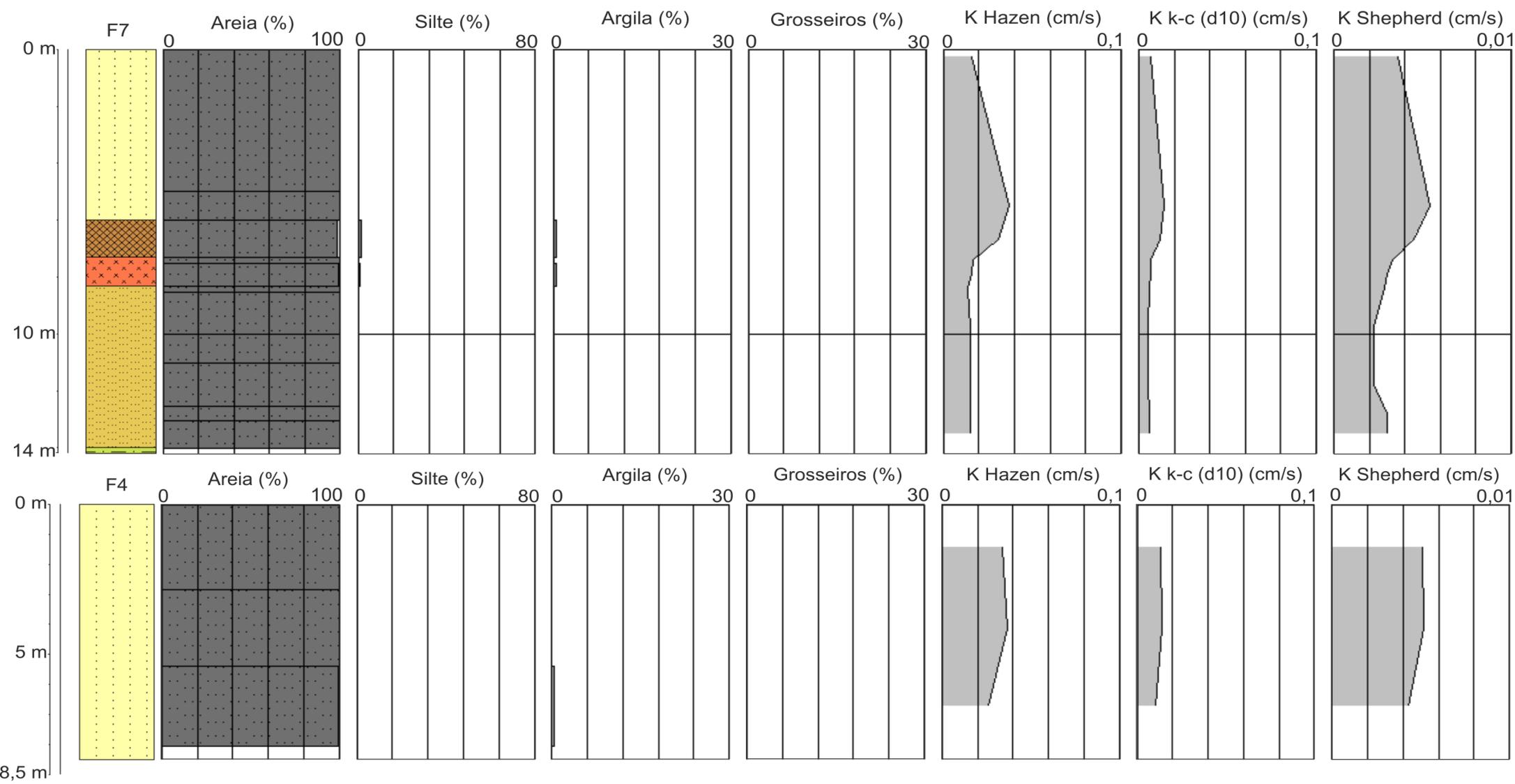


Figura 34 – Striplogs dos furos F7 e F4, criados no software RockWorks 16.

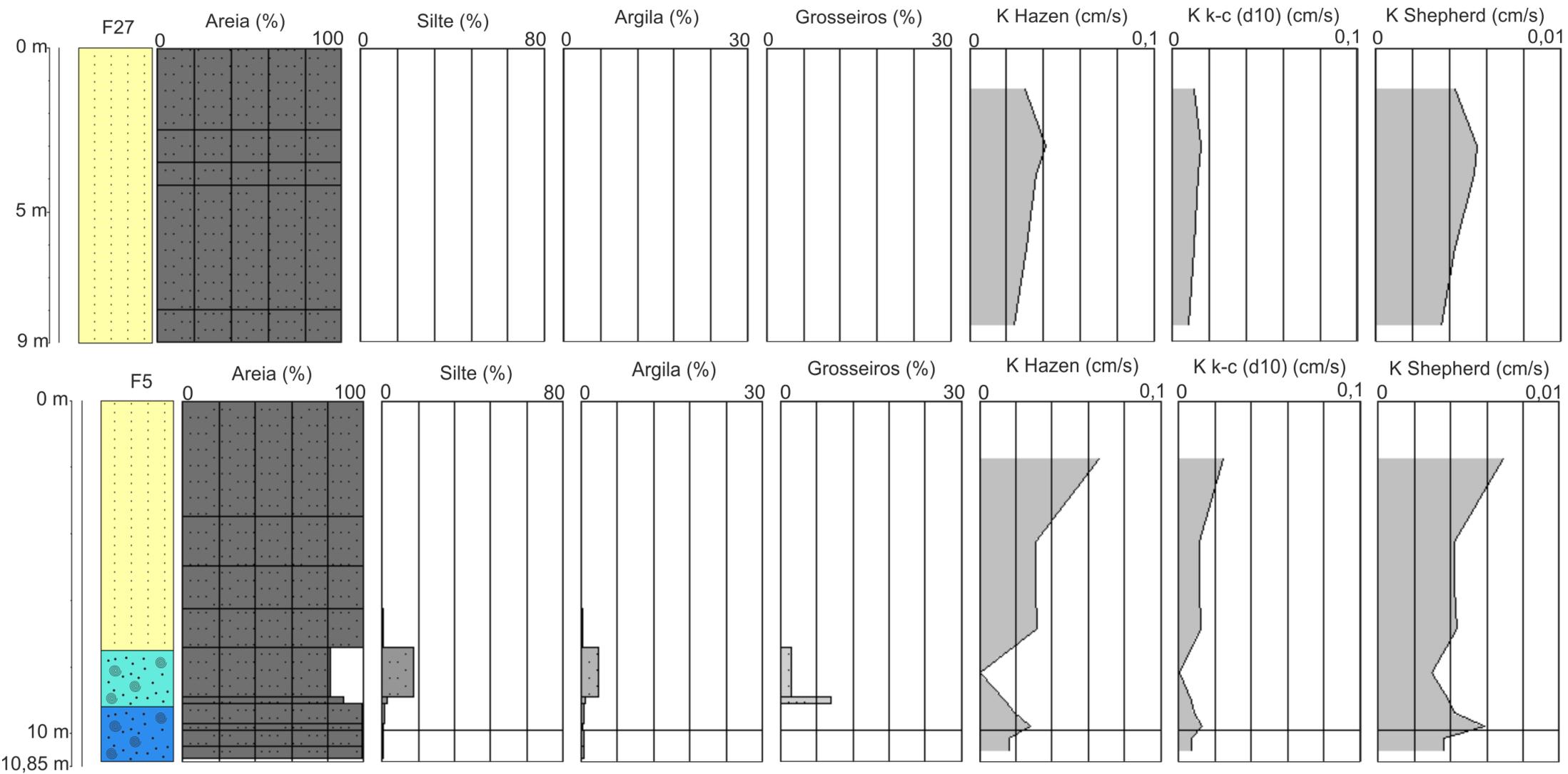


Figura 35 – Striplogs dos furos F27 e F5, criados no software RockWorks 16.

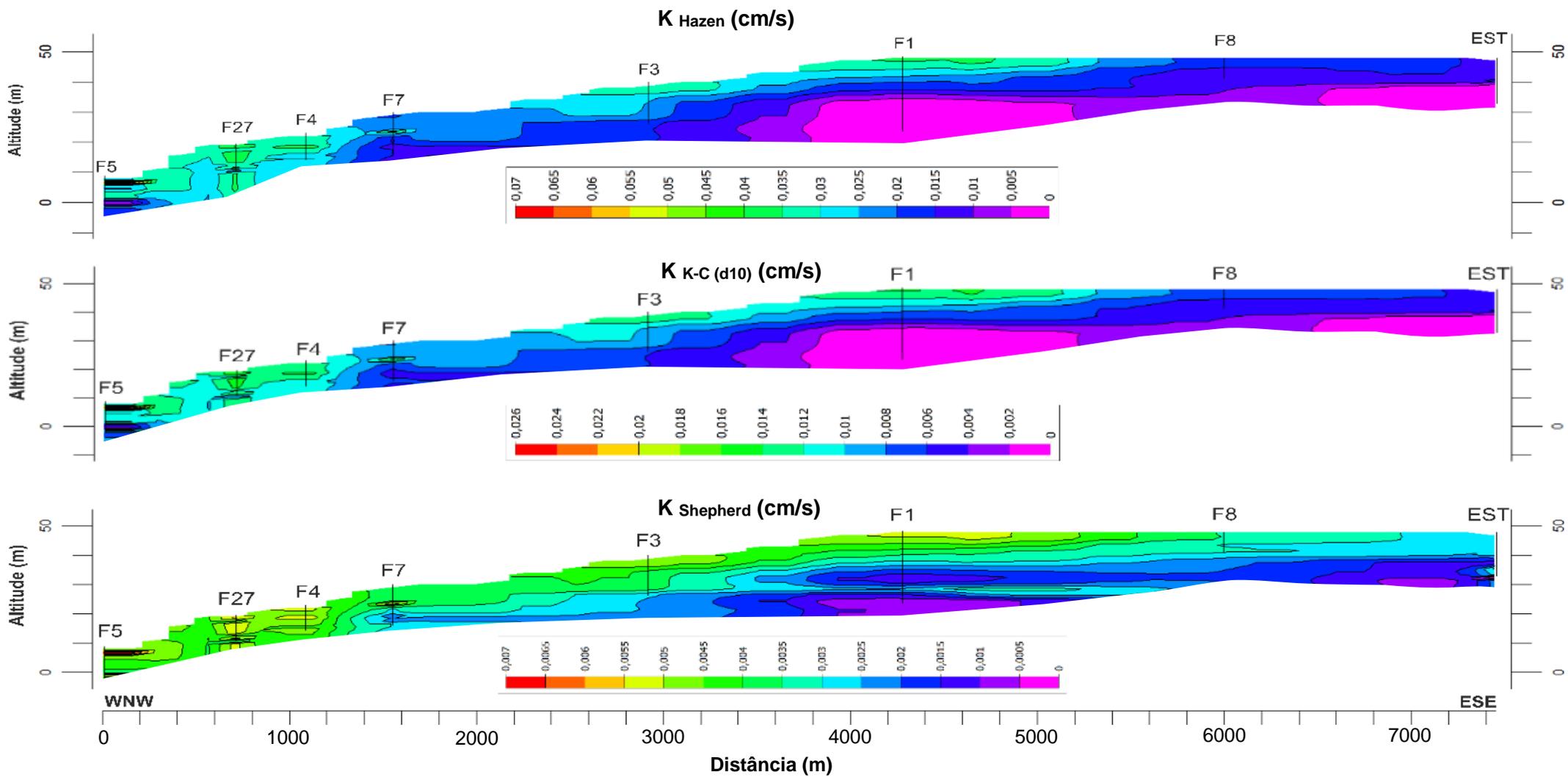


Figura 36 - Perfis de condutividade hidráulica (K) para as formulas empíricas de Hazen, Konezy-Carman e Shepherd, com um exagero de 20 vezes, criados no software *RockWorks 16*.

Posteriormente à análise dos *striplogs*, dos perfis de condutividade hidráulica e conjuntamente com os dados obtidos pelos cálculos das diferentes fórmulas empíricas, pode dizer-se que as unidades aquíferas AQF1, AQF2-E e AQF2-W, se destacam pela maior condutividade hidráulica exibida. As unidades confinantes AQT1-E, AQT2-E e AQT1-W mostram valores de K muito heterogéneos, podendo comportar-se como aquíferos, pois os valores não são demasiado baixos para apresentarem confinamento elevado (Tabela 8).

Segundo Castilho (2008), em algumas amostras das unidades hidrogeológicas AQT1-E, AQT1-W e AQT2-E a condutividade hidráulica é tal, que estas camadas podem mesmo comportar-se como níveis aquíferos dentro de um aquífero multicamada.

Para os sedimentos do Cretácico (SC) os valores de K são muito baixos, indicando características de confinamento compatíveis com aquíferos, o que corroboraria a escolha desta camada como sendo a base do sistema aquífero nesta zona.

4.2. Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de ensaios hidráulicos em piezômetros

A estimação da condutividade hidráulica pode ser alcançada através de ensaios *in situ* realizados em furos de bombagem com furos de observação (situação mais complexa e onerosa, mas onde se ficam a conhecer um número maior de parâmetros hidráulicos) ou apenas em furo/piezómetro único (*single-well tests*), usando *slug tests* ou ensaios hidráulicos de bombagem com recuperação de níveis piezométricos, mesmo que neste caso haja alguma perda de informação e um maior erro associado. Existem diversas formas para colher estes dados, bem como para os tratar, dependendo do tipo de aquífero, furo e ensaio efetuado. Para este trabalho foram realizados ensaios de *slug tests* com subida de níveis (*rising head test*) e ensaios de recuperação após bombagem (*pumping tests*) em piezômetros.

Inicia-se assim o tratamento dos resultados obtidos pelos *slug tests*, mostrando quais foram os métodos usados e os valores da condutividade hidráulica obtidos, seguindo-se os métodos usados e os valores da condutividade hidráulica conseguidos pelos testes de recuperação após bombagem. Será feita a análise dos furos de sondagem segundo a orientação E-W do perfil em estudo. No final será feita uma breve discussão dos resultados obtidos pelos diversos métodos para os dois ensaios de campo realizados. O tratamento e a análise dos dados foram realizados com o *software Aquifer Test Pro* (versão 2016.1) (Schlumberger Water Services, 2016).

4.2.1 Slug tests

Após tratamento e análise dos dados através do *software Aquifer Test Pro* (versão 2016.1) obtiveram-se os seguintes resultados para os ensaios de *slug test* com subida de níveis ou *rising head test* (RHT) e as diversas interpretações são apresentados nas figuras seguintes (Figura 37 a Figura 48):

F8 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 1,47	Nível estático da água (m): 1,00	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,47
Espessura do aquífero (m): 10,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $1,15 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $1,27 \times 10^{-2}$	

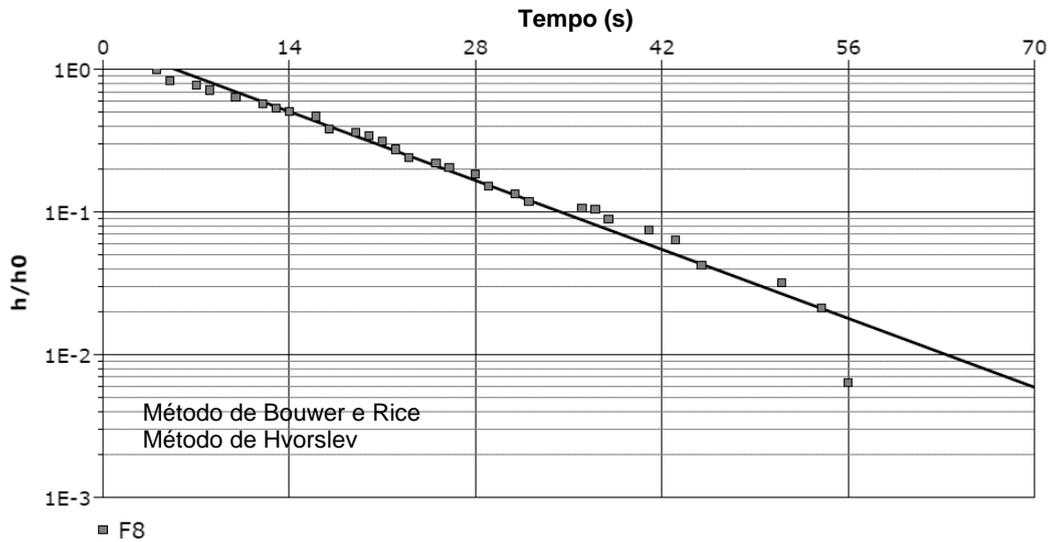


Figura 37 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F8.

F8 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 1,40	Nível estático da água (m): 1,00	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,40
Espessura do aquífero (m): 10,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $7,59 \times 10^{-3}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $9,08 \times 10^{-3}$	

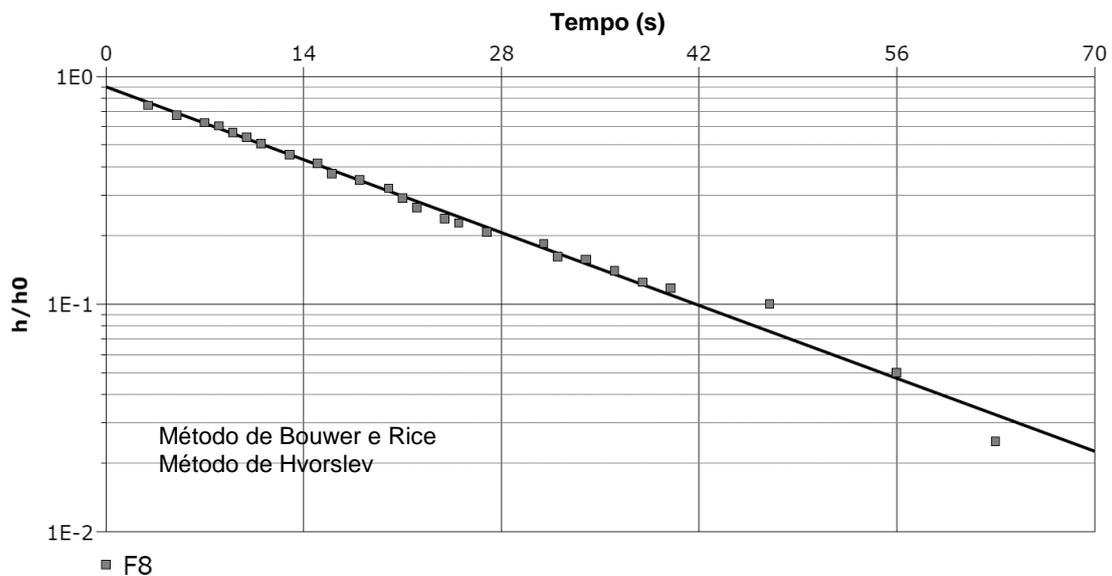


Figura 38 - Resultados do 2º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F8.

F1 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,54	Nível estático da água (m): 2,35	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,19
Espessura do aquífero (m): 10,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,19 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,27 \times 10^{-2}$	

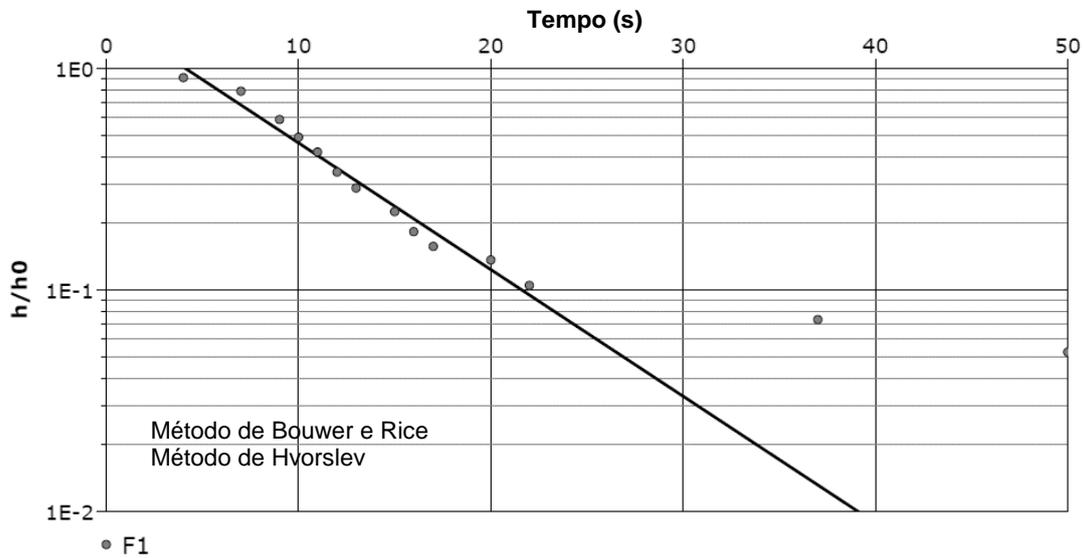


Figura 39 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F1.

F1 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,00	Nível estático da água (m): 2,35	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,65
Espessura do aquífero (m): 10,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,14 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,15 \times 10^{-2}$	

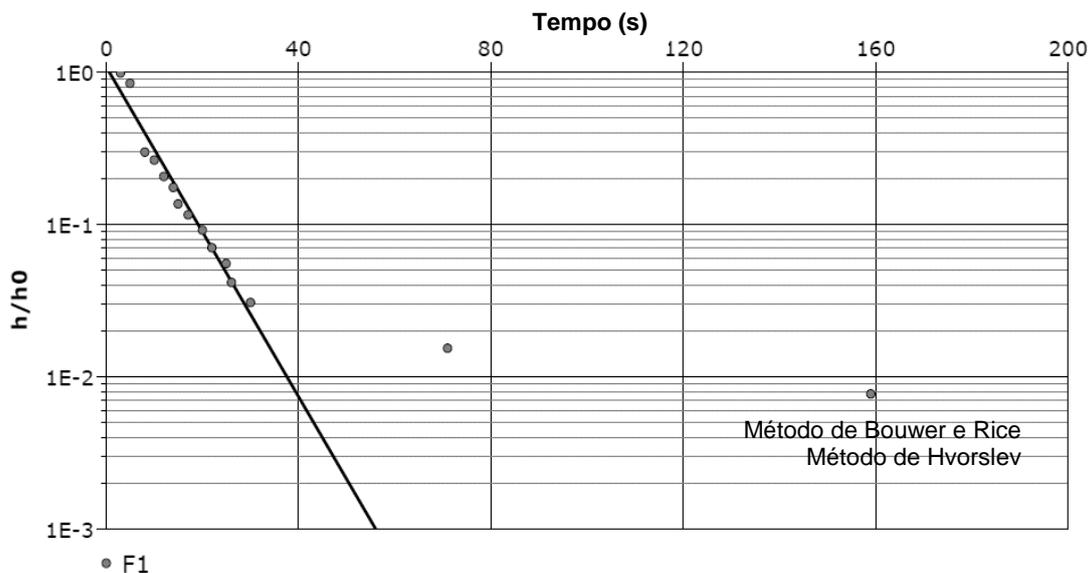


Figura 40 - Resultados do 2º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F1.

F2 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,50	Nível estático da água (m): 2,27	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,23
Espessura do aquífero (m): 3,03		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $3,08 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $3,77 \times 10^{-2}$	

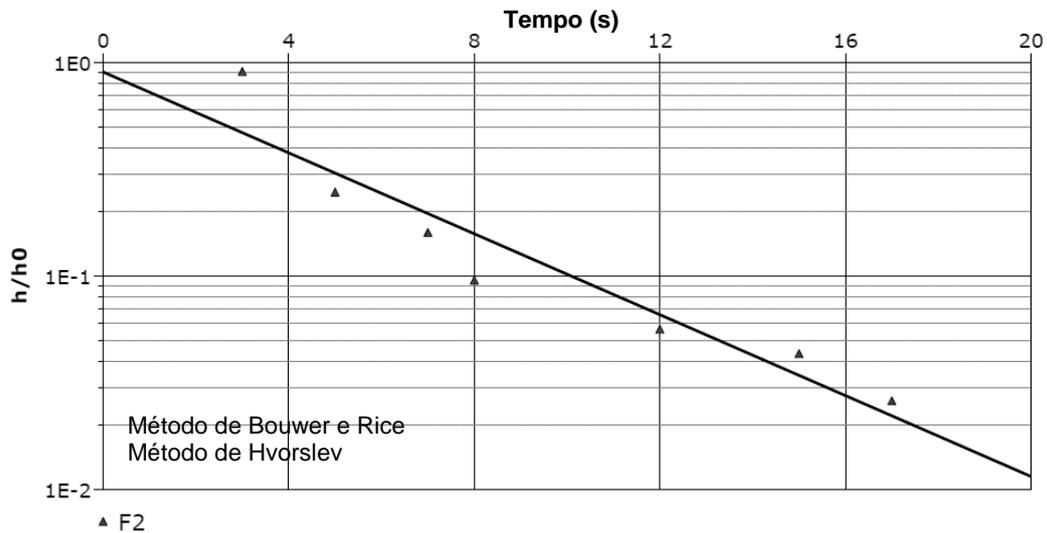


Figura 41 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F2.

F3 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,70	Nível estático da água (m): 3,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,51
Espessura do aquífero (m): 13,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $7,72 \times 10^{-3}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $8,59 \times 10^{-3}$	

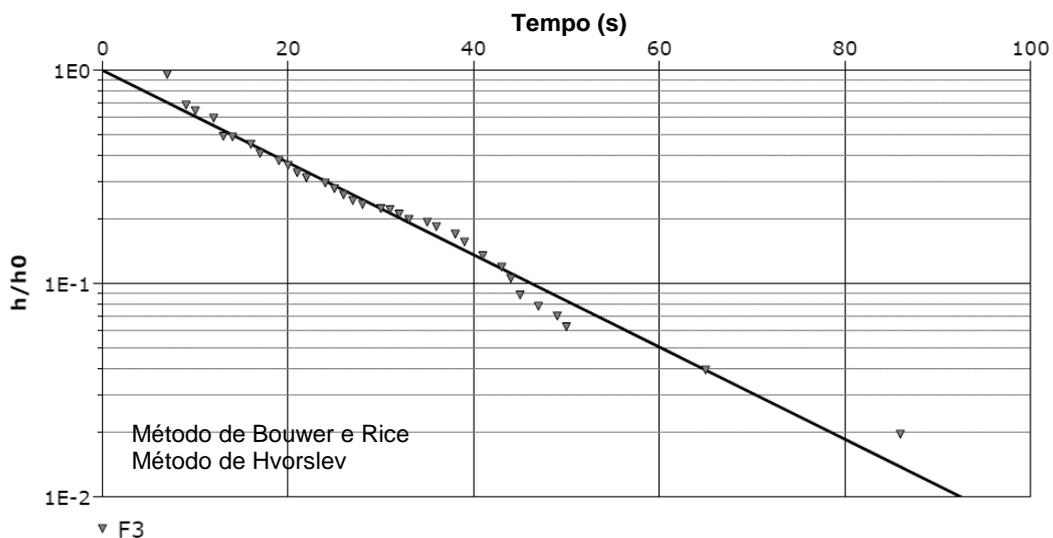


Figura 42 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F3.

F3 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,73	Nível estático da água (m): 3,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,54
Espessura do aquífero (m): 13,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $7,40 \times 10^{-3}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $8,23 \times 10^{-3}$	

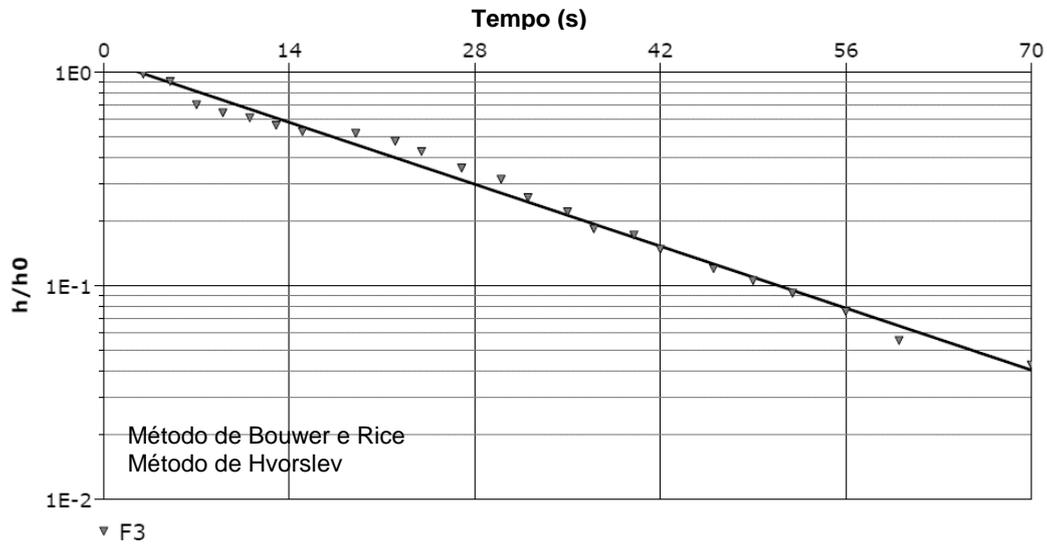


Figura 43 - Resultados do 2º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F3.

F7 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 4,40	Nível estático da água (m): 4,21	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,19
Espessura do aquífero (m): 9,79		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $1,30 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $1,42 \times 10^{-2}$	

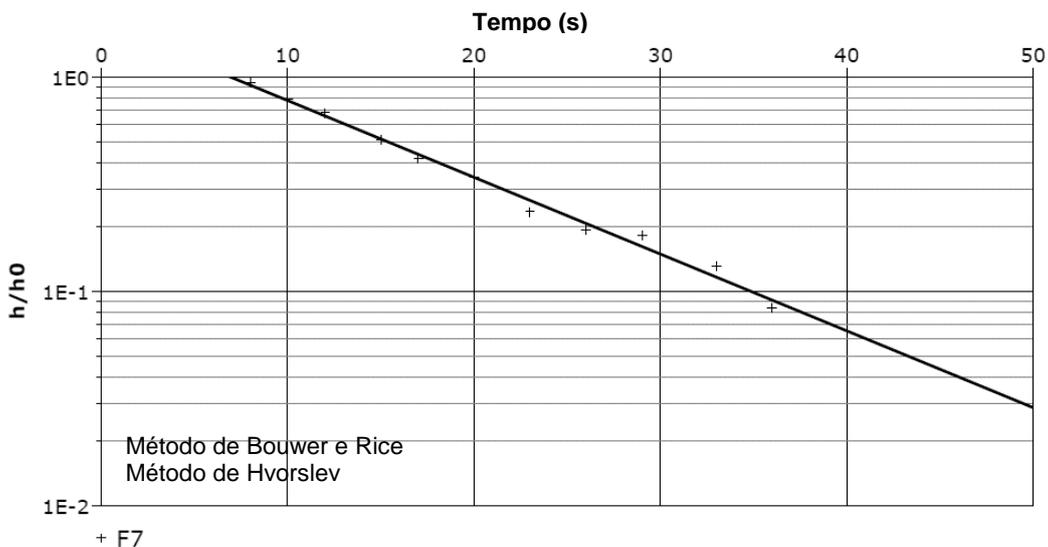


Figura 44 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F7.

F7 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 4,57	Nível estático da água (m): 4,21	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,36
Espessura do aquífero (m): 9,79		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $9,67 \times 10^{-3}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $1,06 \times 10^{-2}$	

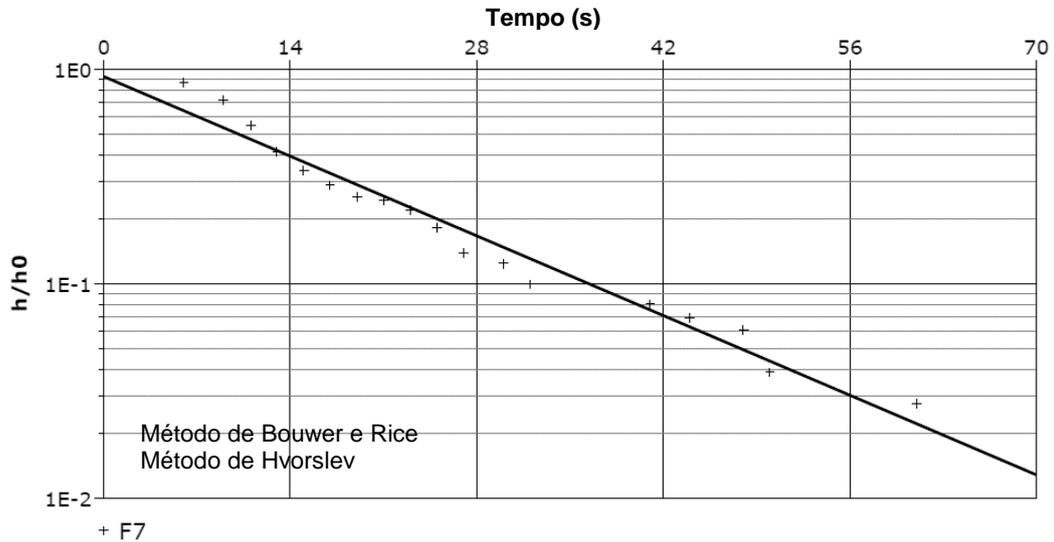


Figura 45 - Resultados do 2º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F7.

F27 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 5,40	Nível estático da água (m): 4,91	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,49
Espessura do aquífero (m): 7,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $3,20 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $3,85 \times 10^{-2}$	

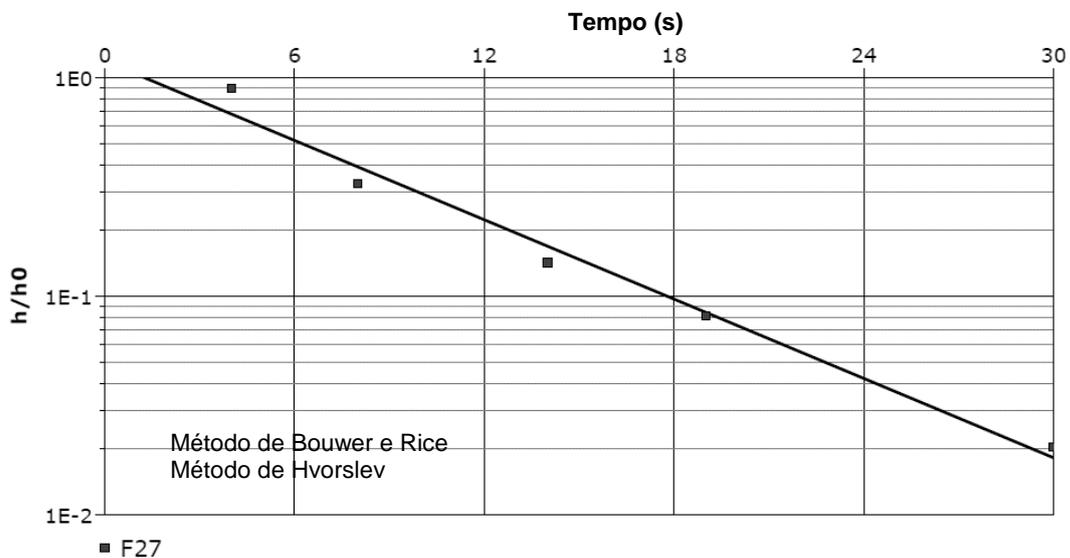


Figura 46 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F27.

F5 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,00	Nível estático da água (m): 2,65	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,35
Espessura do aquífero (m): 3,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,16 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $2,88 \times 10^{-2}$	

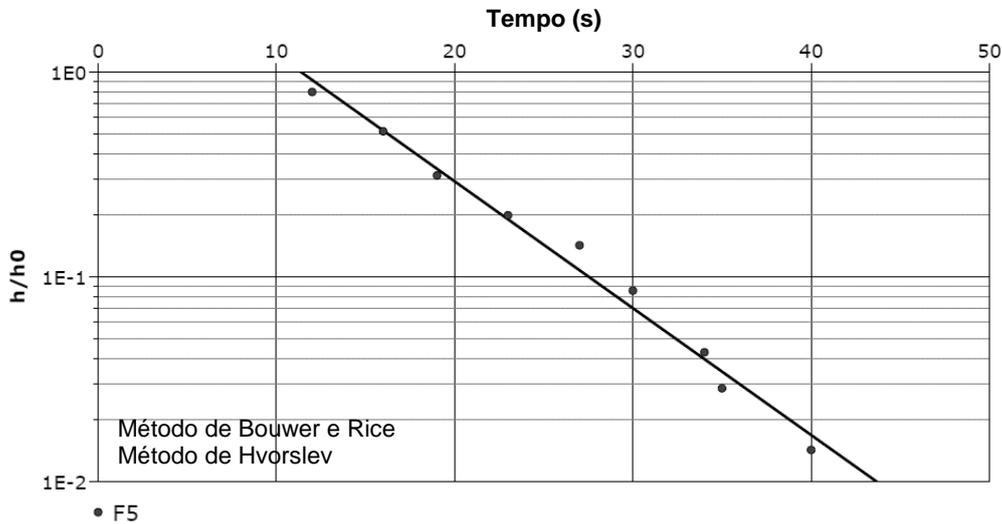


Figura 47 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F5.

F6 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,40	Nível estático da água (m): 2,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,21
Espessura do aquífero (m): 6,00		
Método: Bouwer e Rice (1976)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $4,36 \times 10^{-2}$	
Método: Hvorslev (1951)	Condutividade Hidráulica (cm/s): $6,24 \times 10^{-2}$	

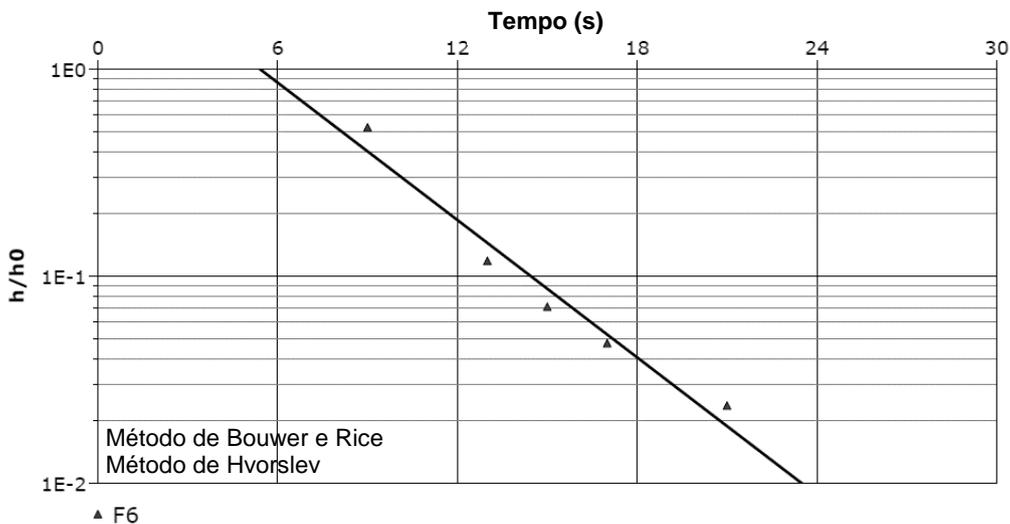


Figura 48 - Resultados do 1º ensaio de *slug test* com subida de nível no furo F6.

Os métodos usados para a análise dos dados de campo obtidos pelos ensaios acima descritos, foram o método de Bouwer e Rice (1976) e o método de Hvorslev (1951). Obtiveram-se resultados de condutividade hidráulica muito próximos quando calculada pelos dois métodos. Os valores de condutividade hidráulica obtidos pelo método de Bouwer e Rice (1976) têm em conta a espessura do aquífero e o facto de o furo não ser totalmente penetrante no aquífero, o que o diferencia do método de Hvorslev (1951) (ver capítulo 2). Para mais fácil comparação e análise dos valores de condutividade hidráulica (K), apresenta-se abaixo a Tabela 10.

Tabela 10 – Condutividade hidráulica (K) determinada através de métodos de análise de *slug tests*.

Sondagem	Método de Bouwer e Rice (cm/s)		Método de Hvorslev (cm/s)	
	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste
F8	1,15x10 ⁻²	0,91x10 ⁻²	1,27x10 ⁻²	0,91x10 ⁻²
F1	2,19x10 ⁻²	2,14x10 ⁻²	2,27x10 ⁻²	2,15x10 ⁻²
F2	3,08x10 ⁻²		3,77x10 ⁻²	
F3	0,77x10 ⁻²	0,74x10 ⁻²	0,86x10 ⁻²	0,82x10 ⁻²
F7	1,30x10 ⁻²	0,97x10 ⁻²	1,42x10 ⁻²	1,06x10 ⁻²
F27	3,20x10 ⁻²		3,85x10 ⁻²	
F5	2,16x10 ⁻²		2,88x10 ⁻²	
F6	4,36x10 ⁻²		6,24x10 ⁻²	

Após observação da tabela acima, constata-se que os valores de condutividade hidráulica se aproximam nitidamente uns dos outros, mesmo quando utilizados diferentes métodos de análise. Se assumirmos estes valores de K como verosímeis pode dizer-se que independentemente de cada furo ter já predefinido um tipo de aquífero no qual capta, encontramos nestes valores elevados de K a indicação de que os aquíferos que funcionam como níveis confinantes dos aquíferos semiconfinados, identificados com base na litologia, poderão não apresentar confinamento físico importante no que diz respeito aos escoamentos dos fluídos. O aquífero, identificados pela análise litológica, poderão, pela sua reduzida espessura e elevada condutividade hidráulica, permitir que o fluído (água) circule quase livremente. É preciso ter em conta que os *slug test* apenas mostram dados de K a uma pequena distância nas redondezas dos furos (em pequena escala) e, portanto, não existem dados suficientes para se conhecer a sua influência física a maiores distâncias dos furos.

No entanto, os resultados de K em pequena escala, alcançados pelos ensaios de *slug test*, são relevantes para identificar os caminhos de fluxo preferenciais (Sakata *et al.*, 2015).

4.2.2 Ensaios hidráulicos com recuperação de níveis após bombagem (Pumping tests – recovery period)

Para a análise dos resultados dos ensaios de recuperação após bombagem, não se teve em consideração nenhuma classificação aquífera prévia em termos de transmissão de água. Assim foram analisados os resultados dos ensaios e através destes tentou classificar-se o aquífero estudado a partir dos resultados dos testes. Para tal, foi colocado um gráfico dos dados de rebaixamento *versus* log de tempo, para que se comparassem os valores obtidos no campo com as curvas típicas para aquíferos confinados, não confinados e semiconfinados. Teve-se ainda em atenção a possível existência barreiras de recarga ou de barreiras impermeáveis e a possibilidade de haver alteração da condutividade hidráulica com o desenvolvimento do ensaio e o efeito de escala.

A análise de ensaios hidráulicos pressupõe o conhecimento dos modelos e equações teóricas que presidem ao fluxo através de furos e exige competências de interpretação das condições hidrogeológicas de cada furo e do aquífero captado (Boonstra e Soppe, 2007). Para tornar a análise mais simples compararam-se os resultados dos aquíferos reais com as curvas típicas de aquíferos ideais (Figura 49).

Os resultados dos ensaios dos testes de recuperação após bombagem (*pumping tests*) (TR) e as diversas interpretações são apresentados nas Figura 50 a Figura 65.

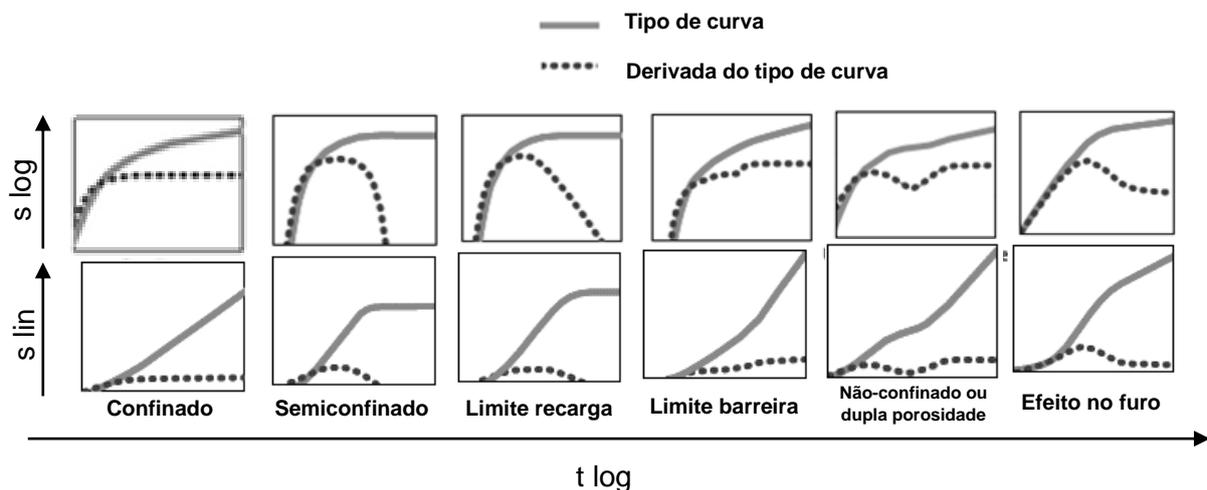


Figura 49 – Curvas teóricas, logarítmicas e semilogarítmicas, de aquíferos-tipo em diferentes condições (Schlumberger Water Services, 2016).

F8 – TR		
Tempo de descarga (s): 21,00	Descarga (m ³ /s): 0,000374	Nível estático da água (m): 1,00
Espessura do aquífero (m): 10,00		
Diagnóstico: Aquífero não confinado (com possível barreira de recarga)		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m ² /s): 3,88x10 ⁻⁵	Condutividade Hidráulica (cm/s): 3,88x10 ⁻⁴
Método: Agarwal+Neuman	Transmissividade (m ² /s): 3,91x10 ⁻⁵	Condutividade Hidráulica (cm/s): 3,91x10 ⁻⁴

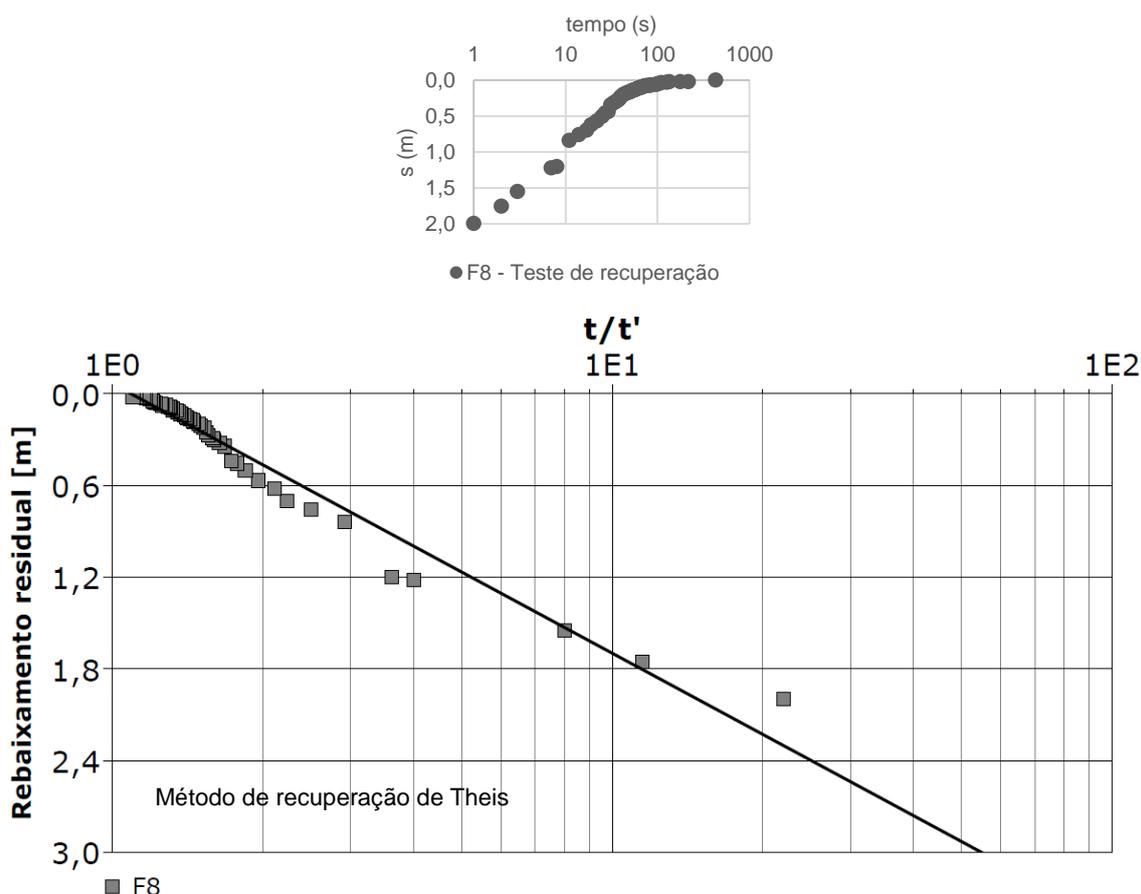


Figura 50 - Resultados do ensaio de recuperação *TR* no furo F8, interpretados com o método de recuperação de Theis.

A análise de ensaios hidráulicos do furo F8 indica que o aquífero captado se encontra em condições de não confinamento, aplicando-se as curvas teóricas de Recuperação de Theis e Agarwal com Neuman. Assim, o material poroso comporta-se como um conjunto semelhante, em termos de condutividade hidráulica, não sofrendo influência de uma camada superior confinante. Verifica-se, no entanto, um aumento do ajuste dos dados quando se compara com uma curva teórica de aquíferos não confinados com barreira de recarga próxima, o que é admissível dada a proximidade da Lagoa das Braças.

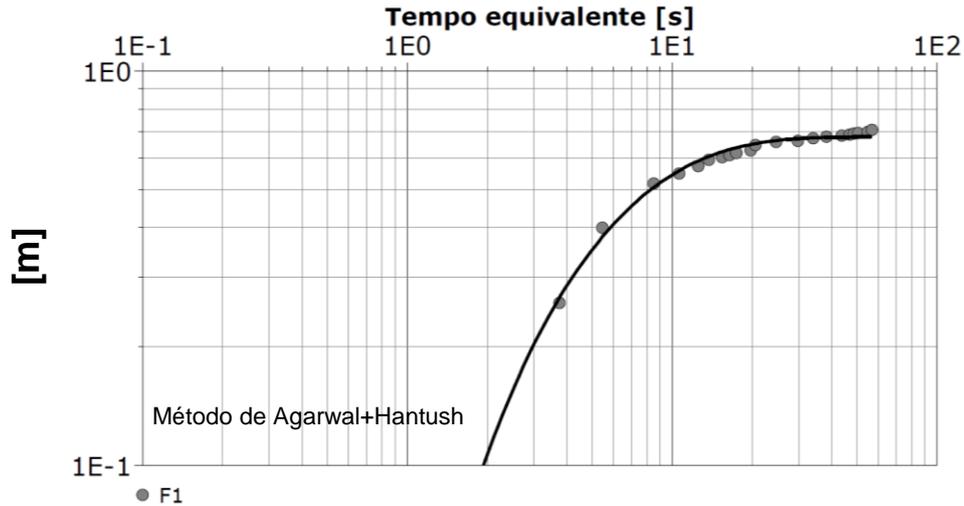


Figura 53 - Resultados do ensaio de recuperação *TR* no furo F1, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush

Inicialmente o aquífero captado no furo F1 foi identificado como semiconfinado, tendo sido reconhecida uma camada confinante constituída por lodos orgânicos (OM) a cerca de 5 m.

Após a análise dos resultados confirmou-se esta classificação, tendo-se ajustado os dados a uma curva teórica de Hantush (Figura 53). A camada confinante apresenta espessura aparentemente reduzida mas tem um papel ativo no confinamento do aquífero AQF2-E.

Surpresa existiu quando se analisaram os resultados obtidos para o furo F2, tendo-se repetido os ensaios de recuperação. Aparentemente o aquífero captado comporta-se como um aquífero semiconfinado, com características muito semelhantes ao aquífero inferior. Assim, parece haver um comportamento único dos níveis captados como parte de um aquífero sistema semiconfinado. Dada a colocação do tubo ralo muito próximo da camada confinante, pode ter acontecido que esta esteja efetivamente acima dando-lhe o caráter semiconfinado, o que justificou o tratamento dos dados através de Theis e Agarwal com Hantush (Figura 54 a Figura 57).

No segundo ensaio em F2, o comportamento foi semelhante ao primeiro ensaio e, portanto, obtém-se as mesmas evidências, assumindo a possibilidade de o mesmo estar a captar num aquífero semiconfinado.

F2 – 1º TR		
Tempo de descarga (s): 29,00	Descarga (m³/s): 0,000271	Nível estático da água (m): 2,27
Espessura do aquífero (m): 3,03		
Diagnóstico: Aquífero semiconfinado		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m²/s): 1,63x10 ⁻⁴	Condutividade Hidráulica (cm/s): 5,38x10 ⁻³
Método: Agarwal+Hantush	Transmissividade (m²/s): 2,85x10 ⁻⁷	Condutividade Hidráulica (cm/s): 9,41x10 ⁻⁶

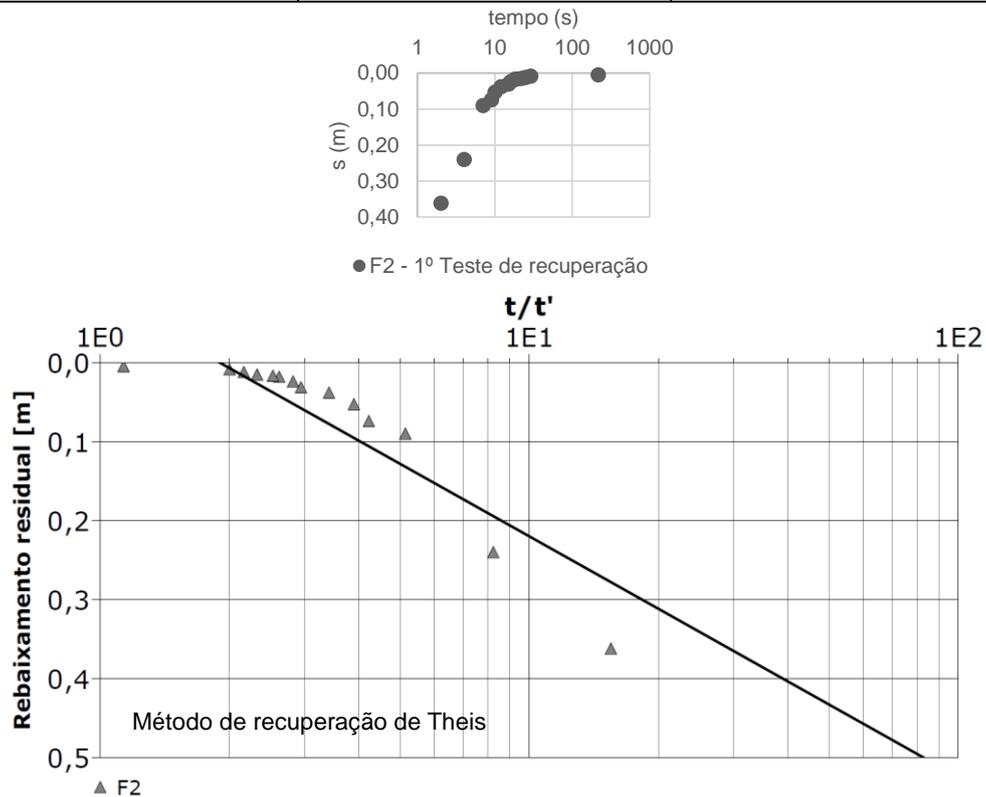


Figura 54 – Resultados do 1º ensaio de recuperação *TR* no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Theis.

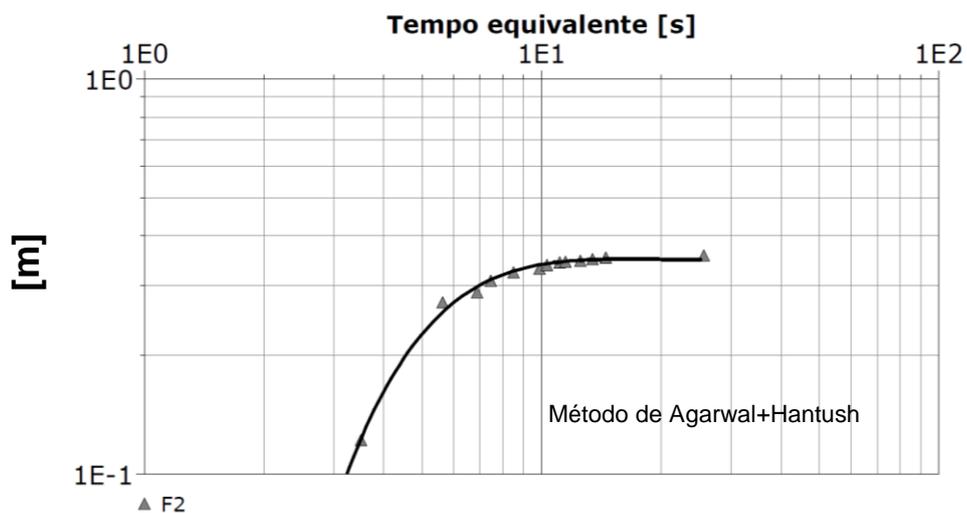


Figura 55 - Resultados do 1º ensaio de recuperação *TR* no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.

F2 – 2º TR		
Tempo de descarga (s): 11,00	Descarga (m³/s): 0,000714	Nível estático da água (m): 2,27
Espessura do aquífero (m): 3,03		
Diagnóstico: Aquífero semiconfinado		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m²/s): 2,50x10 ⁻⁴	Condutividade Hidráulica (cm/s): 7,58x10 ⁻³
Método: Agarwal+Hantush	Transmissividade (m²/s): 2,75x10 ⁻⁶	Condutividade Hidráulica (cm/s): 9,06x10 ⁻⁵

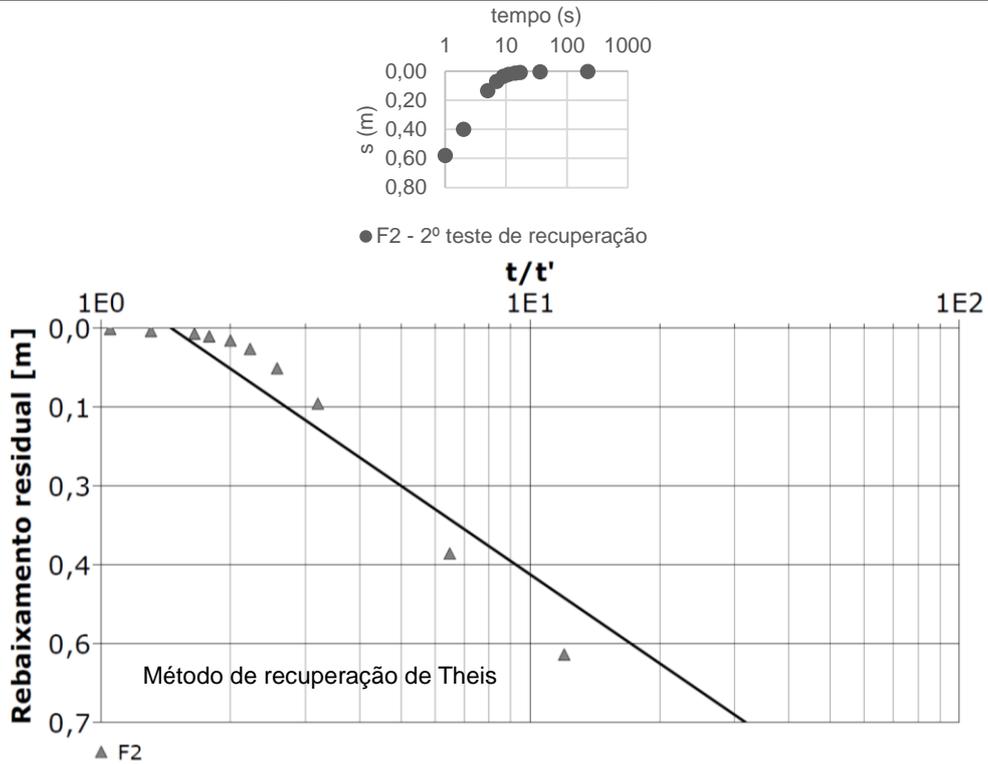


Figura 56 – Resultados do 2º ensaio de recuperação *TR* no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Theis.

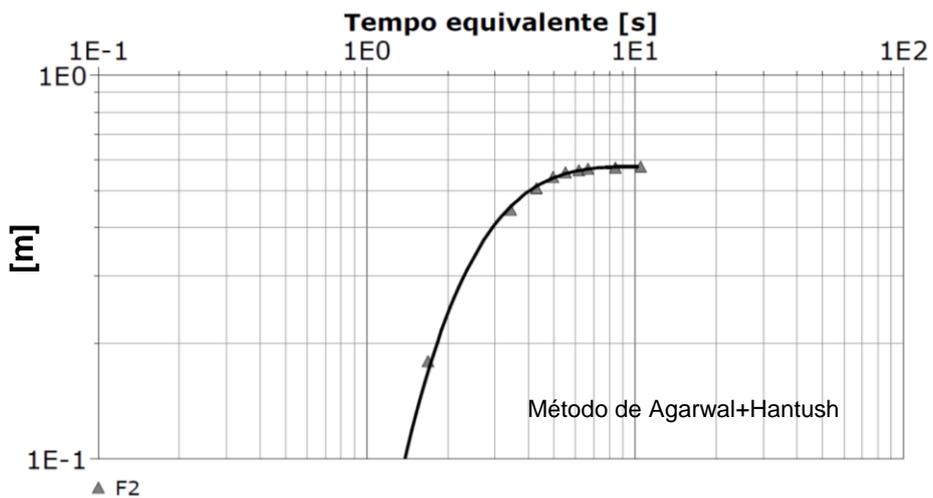


Figura 57 - Resultados do 2º ensaio de recuperação *TR* no furo F2, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.

F3 – TR		
Tempo de descarga (s): 117,00	Descarga (m ³ /s): 0,000314	Nível estático da água (m): 3,19
Espessura do aquífero (m): 13,00		
Diagnóstico: Aquífero semiconfinado / heterogéneo		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m ² /s): 5,16x10 ⁻⁵	Condutividade Hidráulica (cm/s): 3,97x10 ⁻⁴
Método: Agarwal+Hantush	Transmissividade (m ² /s): 5,05x10 ⁻⁶	Condutividade Hidráulica (cm/s): 3,88x10 ⁻⁵

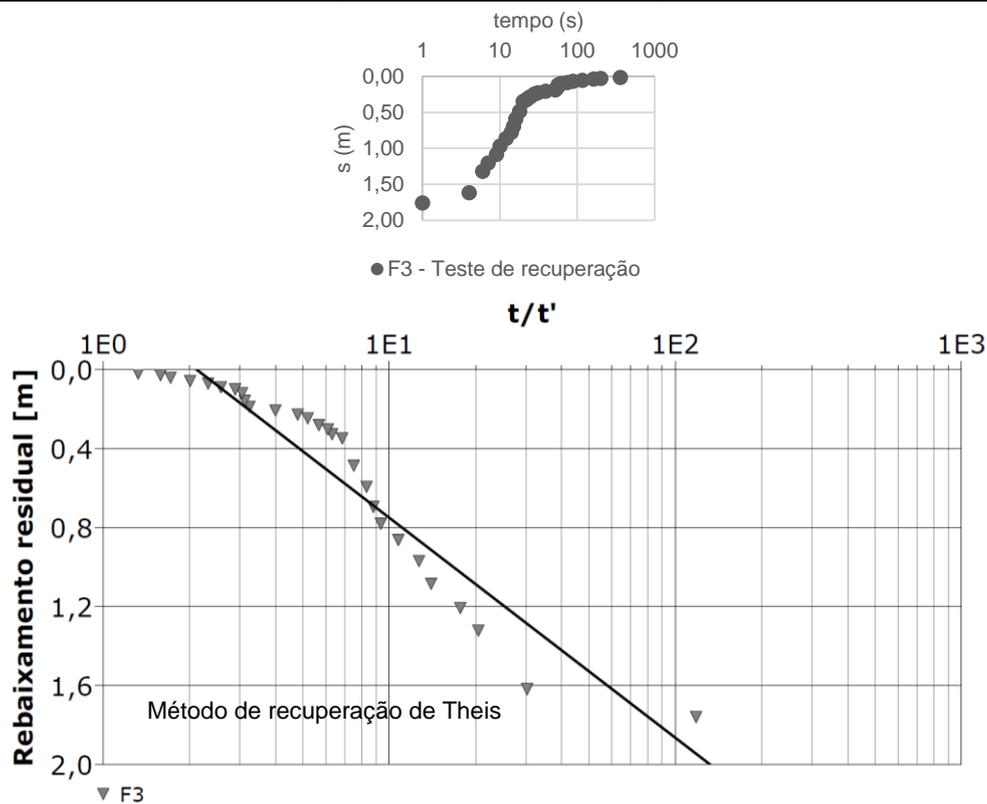


Figura 58 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F3, interpretados com o método de recuperação de Theis.

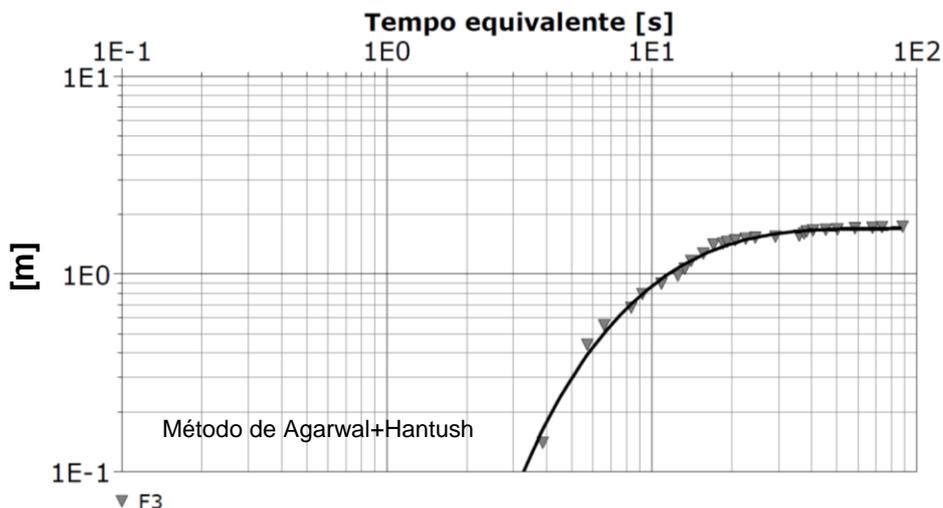


Figura 59 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F3, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.

As curvas dos resultados obtidos para o furo F3 (Figura 58 e Figura 59) mostram que o mesmo poderá estar a captar em aquífero semiconfinado, mas com alguma heterogeneidade. Com efeito, existe um primeiro troço reto seguido de um segundo, o que pode indicar a existência de alterações do aquífero com a distância de influência do ensaio. Quando se ajustam as curvas reais a curvas teóricas de Agarwal e Neuman não se consegue obter um ajuste razoável, o que acontece apenas quando se ajustam os dados a curvas teóricas de Agarwal e Hantush. Poderá então corresponder a um aquífero semiconfinado com heterogeneidade lateral ou alteração da espessura. A camada confinante poderá corresponder a um nível de lodos orgânicos (OM) encontrado a uma profundidade de 5 m.

F7 – TR		
Tempo de descarga (s): 65,00	Descarga (m ³ /s): 0,000565	Nível estático da água (m): 4,21
Espessura do aquífero (m): 9,79		
Diagnóstico: Aquífero não confinado / semiconfinado		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m ² /s): 5,50x10 ⁻⁵	Condutividade Hidráulica (cm/s): 5,62x10 ⁻⁴
Método: Agarwal+Hantush	Transmissividade (m ² /s): 3,51x10 ⁻⁷	Condutividade Hidráulica (cm/s): 3,59x10 ⁻⁶

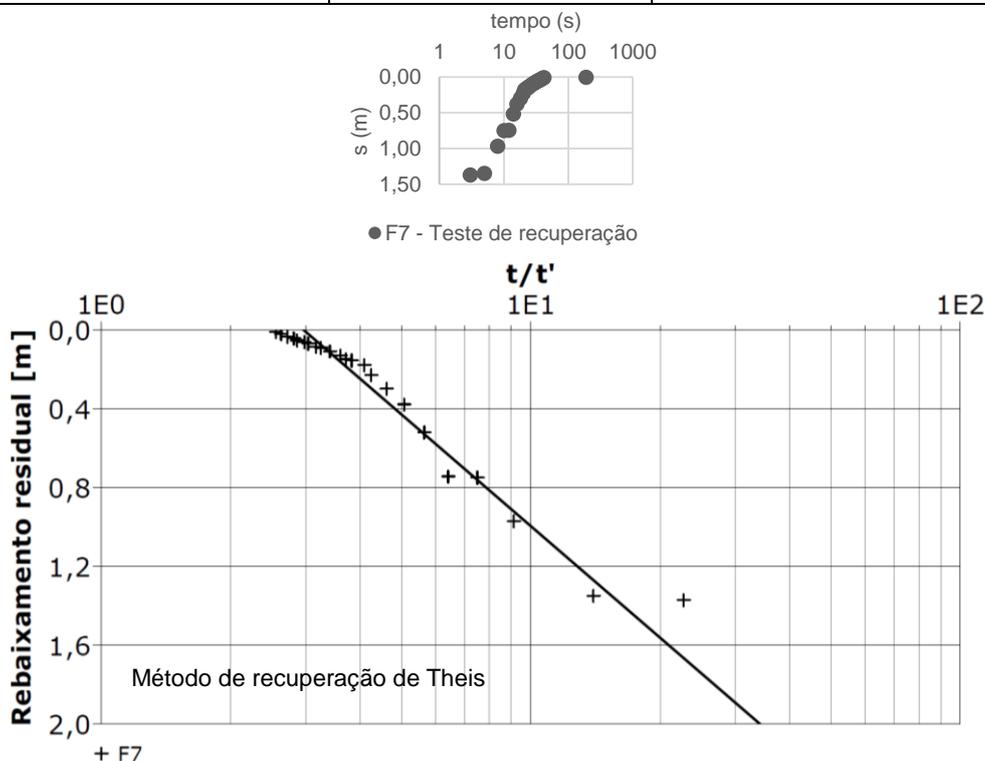


Figura 60 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F7, interpretados com o método de recuperação de Theis.

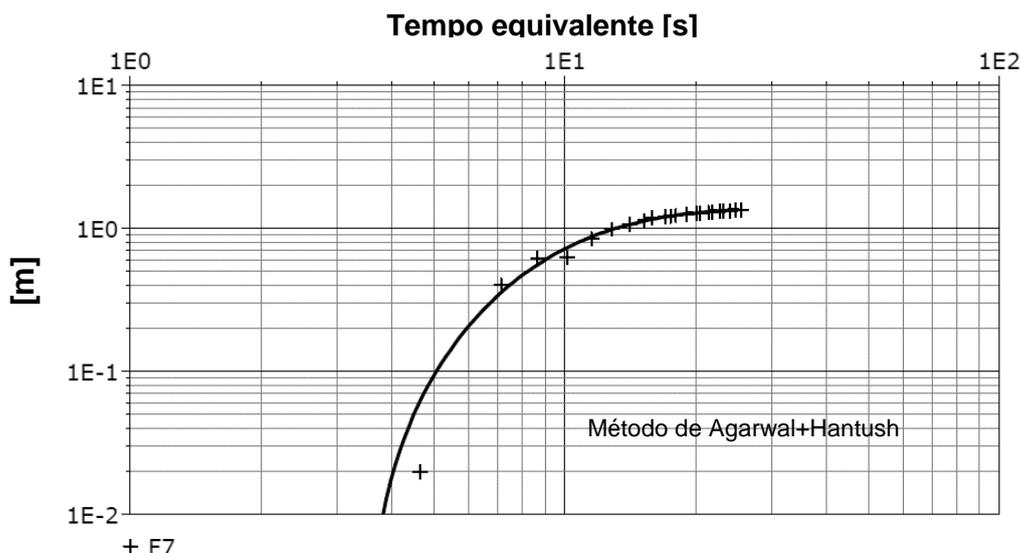


Figura 61 - Resultados do ensaio de recuperação *TR* no furo F7, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.

No local do furo F7 a superfície freática apresenta gradiente mais elevado do que nos furos situados a oriente, uma vez que se perde a camada confinante dos lodos orgânicos (OM) e o nível freático desce para uma profundidade de cerca de 4,21 m. As curvas neste furo não se ajustam facilmente a nenhuma curva teórica, no troço inicial junto ao primeiro ponto, e apenas forçando o ajuste a curvas de Agarwal e Hantush se consegue um ajuste razoável. No entanto, a transmissividade determinada inicialmente, que era da ordem de 10^{-5} m²/s (para o primeiro ajuste), passa para 10^{-7} m²/s (para o ajuste forçado). O ajuste inicial tinha sido semelhante para curvas de Agarwal e Neuman e Agarwal e Hantush dando resultados semelhantes para a condutividade hidráulica ($4,19 \times 10^{-5}$ m²/s e $4,11 \times 10^{-5}$ m²/s, respetivamente).

Assim, considera-se que o aquífero captado no furo F7 pode ser um aquífero não confinado ou cujo confinamento é muito limitado e é efetuado pelas camadas de areias com lodos ou podzol, que localmente pode ser consistente. No entanto, existem outras condicionantes que tornam difícil o ajuste a curvas teóricas, como a inclinação da superfície freática ou heterogeneidades laterais.

Situação idêntica é observada no furo F27, cujo enquadramento hidrogeológico é idêntico ao do furo F7, mas que se situa a poucas centenas de metros para ocidente e onde não se identificaram níveis potencialmente confinantes.

F27 – TR		
Tempo de descarga (s): 150,00	Descarga (m ³ /s): 0,000245	Nível estático da água (m): 4,91
Espessura do aquífero (m): 7,00		
Diagnóstico: Aquífero não confinado / semiconfinado		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m ² /s): 1,02x10 ⁻⁴	Condutividade Hidráulica (cm/s): 1,46x10 ⁻³
Método: Agarwal+Hantush	Transmissividade (m ² /s): 4,04x10 ⁻⁶	Condutividade Hidráulica (cm/s): 5,77x10 ⁻⁵

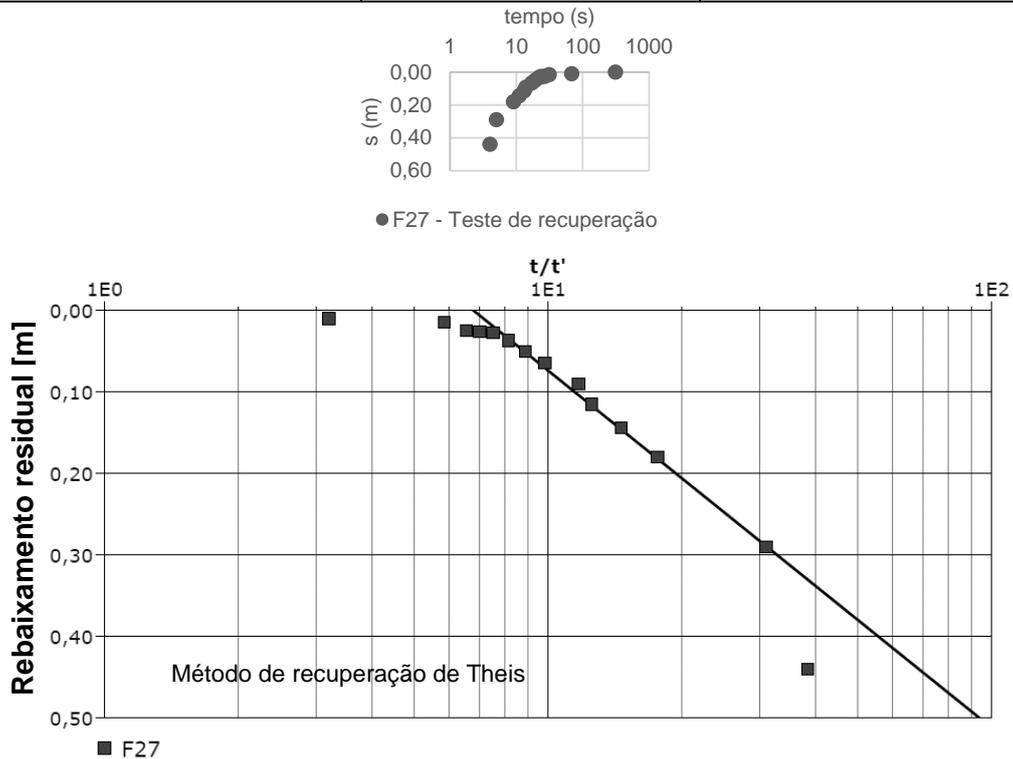


Figura 62 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F27, interpretados com o método de recuperação de Theis.

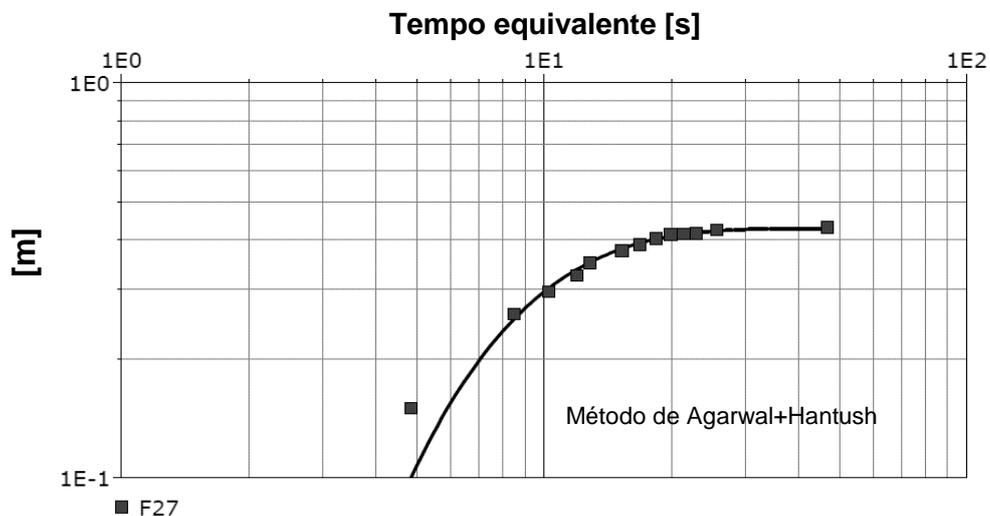


Figura 63 - Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F27, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush.

No furo F5 capta-se um aquífero cujo confinamento era esperado, já que a camada sobrejacente é de lodos com conchas, com grande percentagem de material silto-argiloso. A condutividade hidráulica da camada aquífera é elevada o que torna muito difícil a recolha de dados sem um transdutor de pressão, o que acabou por resultar numa perda de dados do ensaio. Assim, apenas se consegue visualizar com sequência os dados do troço final e raros dados do troço inicial não se conseguindo obter a zona de inflexão da curva (Figura 64). Quando se faz o ajuste automático no método de recuperação de Theis, o valor obtido para T é muito baixo ($5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) mas quando se ajusta a reta manualmente ao primeiro troço de dados o valor aumenta para $2,59 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ valor que poderá ser mais próximo da realidade. Para se obterem valores fidedignos para este aquífero seria necessário repetir o procedimento com um transdutor de pressão e correção barométrica.

F5 – TR		
Tempo de descarga (s): 100,32	Descarga (m^3/s): 0,000366	Nível estático da água (m): 2,65
Espessura do aquífero (m): 3,00		
Diagnóstico: semiconfinado		
Método: recuperação de Theis	Transmissividade (m^2/s): $2,59 \times 10^{-4}$	Condutividade Hidráulica (cm/s): $8,63 \times 10^{-3}$
Método: Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero	Transmissividade (m^2/s): $2,73 \times 10^{-8}$	Condutividade Hidráulica (cm/s): $9,10 \times 10^{-7}$

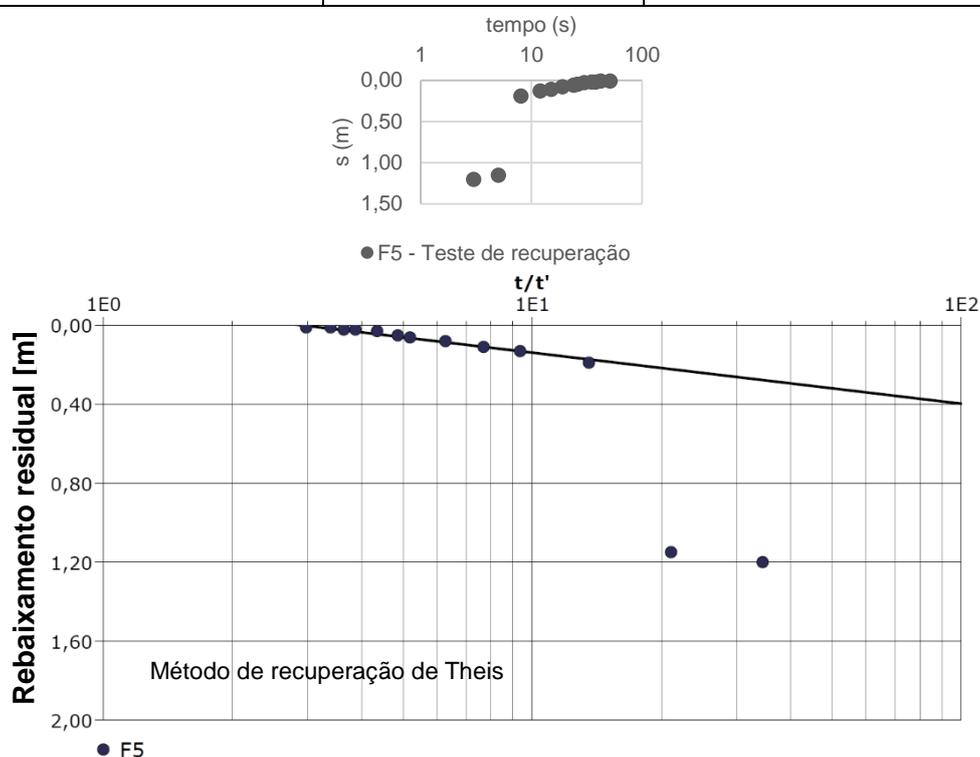


Figura 64 – Resultados do ensaio de recuperação TR no furo F5, interpretados com o método de recuperação de Theis.

Quando se ajustam os dados a curvas teóricas (Figura 65) o ajuste é muito difícil e os valores obtidos para a transmissividade são muito baixos ($2,73 \times 10^{-8}$ m²/s). A espessura do aquífero é bastante mais elevada do que a obtida na sondagem efetuada no local. Admitindo uma espessura de mais de 20 m, dada a consulta de dados de sondagens de outros locais (Castilho, 2008) a condutividade hidráulica desta unidade aquífera poderá ser de cerca de 1×10^{-3} cm/s.

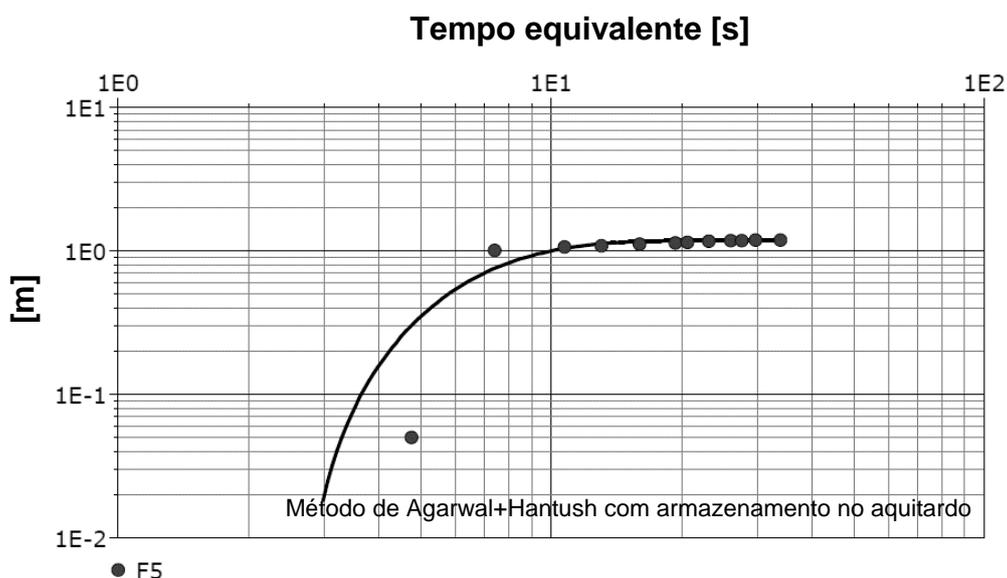


Figura 65 - Resultados do ensaio de recuperação *TR* no furo F5, interpretados com o método de recuperação de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero.

Cada método é aplicado em determinadas condições, dependendo do tipo de aquífero a tratar, bem como da geometria do furo (se totalmente ou parcialmente penetrante). No entanto, para o método de recuperação de Theis, existem limitações (descritas no capítulo da metodologia) que devem ser seguidas à regra para se poder aplicar em aquíferos semiconfinados e freáticos (não confinados). Uma das condições para que os resultados de transmissividade mostrassem valores viáveis, era o ajuste da reta aos pontos (os pontos são resultado de: rebaixamento residual versus t/t') do gráfico. Assim utilizaram-se essas limitações e aplicou-se aos casos específicos de cada furo, tentando perceber se os valores *T* e *K* eram aceitáveis e consequentemente assumir perante os resultados, um tipo de aquífero.

Tendo sempre em consideração a definição dos níveis aquíferos realizados por Castilho (2008) para os furos de sondagem estudados, tentou-se para todos os furos do perfil em estudo, estudar casos de possíveis aquíferos semiconfinados ou de aquíferos freáticos, ajustando-se a reta ao(s) troço(s) linear(es) dos pontos do gráfico.

O método de Agarwal não apresenta limitações, pois o mesmo pode ser aplicado em casos em que temos apenas dados do nível da água após término da bombagem (dados de teste de recuperação) e o mesmo pode ser combinado com um outro método, mesmo não indicando o tipo de aquífero que se está a investigar.

Quando se comparam os resultados da condutividade hidráulica obtidos através do *Aquífer Test Pro*, para diferentes métodos de tratamento de dados de ensaios de recuperação é evidente a semelhança entre os resultados de K obtidos com o método de recuperação de Theis e o método de Agarwal e Neuman. A discrepância de valores é notória quando comparados os valores de K dos métodos de recuperação de Theis e Agarwal e Neuman com o método de Agarwal e Hantush e o método de Agarwal e Hantush com armazenamento no aquífero (Tabela 11).

Tabela 11 – Condutividade hidráulica (K) estimada por ensaios de recuperação.

Sondagem	Método de Recuperação de Theis (cm/s)		Método de Agarwal+Neuman (cm/s)		Método de Agarwal+Hantush (cm/s)		Método de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero (cm/s)	
	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste
F8	3,88x10 ⁻⁴		3,91x10 ⁻⁴					
F1	3,59x10 ⁻³				5,51x10 ⁻⁴			
F2	5,38x10 ⁻³	7,58x10 ⁻³			9,41x10 ⁻⁶	9,06x10 ⁻⁵		
F3	3,97x10 ⁻⁴				3,88x10 ⁻⁵			
F7	5,62x10 ⁻⁴		4,11x10 ⁻³		3,59x10 ⁻⁶			
F27	1,46x10 ⁻³		1,58x10 ⁻³		5,77x10 ⁻⁵			
F5	8,63x10 ⁻³						9,10x10 ⁻⁷	

Numa análise mais aprofundada de todos os valores da condutividade hidráulica tabelados, conseguiu-se identificar os possíveis níveis aquíferos existentes no perfil em estudo, utilizando ainda a informação preexistente sobre os níveis aquíferos do perfil tornando mais fácil a compreensão destes resultados de K.

No que diz respeito a F1, F2, F27 e F5 é clara a existência de valores de K mais elevados, à exceção do método de Agarwal e Hantush que deduz valores bastante mais baixos, no entanto, as semelhanças de comportamento entre estes resultados e os resultados tipicamente obtidos por furos que captam em aquíferos semiconfinados são maiores, com exceção do furo F27.

Em F5, apesar de no geral os valores de K rondarem as mesmas grandezas dos valores de K dos furos anteriormente descritos, existe para o método de Agarwal e Hantush com armazenamento no aquífero valor de K bastante mais baixo. Se

atendermos apenas ao segundo troço do gráfico semilogarítmico de rebaixamento *versus* tempo, os pontos definem uma linha reta, o que aponta para condições de confinamento elevadas, após uma recuperação muito mais rápida na fase inicial do ensaio o que poderá sugerir um afluxo inicial de água que se encontra numa zona mais próxima do furo.

Um sumário dos resultados obtidos com os diversos métodos de estimação de K pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de condutividade hidráulica (K) das unidades aquíferas captadas nos furos F8 a F6, para os diferentes métodos de análise.

Unidades aquíferas	Sondagem	K Hazen (cm/s)		K _{K-C d10} (cm/s)		K shepherd (cm/s)	
AQF2-E	F8	1,26x10 ⁻²		5,24x10 ⁻³		3,31x10 ⁻³	
AQF2-E	F1	5,85x10 ⁻³		2,62x10 ⁻³		2,56x10 ⁻³	
AQF2-E	F3	1,34x10 ⁻²		5,43x10 ⁻³		3,14x10 ⁻³	
AQF2-E	F7	1,96x10 ⁻²		7,92x10 ⁻³		3,44x10 ⁻³	
AQF1	F27	3,18x10 ⁻²		1,21x10 ⁻²		4,55x10 ⁻³	
AQF2-W	F5	1,27x10 ⁻²		5,76x10 ⁻³		4,31x10 ⁻³	
		Método de Bouwer e Rice (cm/s)		Método de Hvorslev (cm/s)		Método de Recuperação de Theis (cm/s)	
Unidades aquíferas	Sondagem	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste
AQF2-E	F8	1,15x10 ⁻²	0,91x10 ⁻²	1,27x10 ⁻²	0,91x10 ⁻²	0,39x10 ⁻³	
AQF2-E	F1	2,19x10 ⁻²	2,14x10 ⁻²	2,27x10 ⁻²	2,15x10 ⁻²	0,36x10 ⁻²	
AQF1	F2	3,08x10 ⁻²		3,77x10 ⁻²		0,54x10 ⁻²	0,76x10 ⁻²
AQF2-E	F3	0,77x10 ⁻²	0,74x10 ⁻²	0,86x10 ⁻²	0,82x10 ⁻²	0,39x10 ⁻³	
AQF2-E	F7	1,30x10 ⁻²	0,97x10 ⁻²	1,42x10 ⁻²	1,06x10 ⁻²	0,56x10 ⁻³	
AQF1	F27	3,20x10 ⁻²		3,85x10 ⁻²		0,15x10 ⁻²	
AQF2-W	F5	2,16x10 ⁻²		2,88x10 ⁻²		0,86x10 ⁻²	
AQF1	F6	4,36x10 ⁻²		6,24x10 ⁻²			
		Método Agarwal+Neuman (cm/s)		Método de Agarwal+Hantush (cm/s)		Método de Agarwal+Hantush com armazenamento no aquífero (cm/s)	
Unidades aquíferas	Sondagem	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste	1º teste	2º teste
AQF2-E	F8	0,39x10 ⁻³					
AQF2-E	F1			0,55x10 ⁻³			
AQF1	F2			0,94x10 ⁻⁵	0,91x10 ⁻⁴		
AQF2-E	F3			0,39x10 ⁻⁴			
AQF2-E	F7	4,11x10 ⁻³		0,36x10 ⁻⁵			
AQF1	F27	1,58x10 ⁻³		0,58x10 ⁻⁴			
AQF2-W	F5					0,91x10 ⁻⁶	
AQF1	F6						

Perante a análise dos resultados da condutividade hidráulica obtidos pelo *Aquifer Test Pro*, podemos dizer que os mesmos se encontram dentro dos intervalos admissíveis para os materiais geológicos que integram os níveis aquíferos (Tabela 3). É observável a maior inconstância de valores nos testes de recuperação do que nos *slug test*, pois a área de influência dos ensaios de bombagem com recuperação (*pumping tests*) são superiores às dos *slug tests*, permitindo alcançar resultados da condutividade hidráulica para uma área mais extensa em redor do furo.

Comparando-se todos os resultados de K é aceitável dizer-se que:

- as unidades aquíferas captadas nos furos F27 e F7 apresentam os maiores valores de K estimados através das distribuições granulométricas, enquanto que as distribuições granulométricas dos sedimentos das amostras recolhidas no furo F1 determinam o menor valor de K para todas as equações empíricas utilizadas;

- quando se utilizam os métodos e análise de *slug tests* os valores mantêm a mesma ordem de grandeza mas alteram-se ligeiramente, permanecendo mais elevados para o aquífero captado em F27, a que se juntam F6 e F2, não analisados na fase anterior, mas passando os valores mínimos para os aquíferos captados em F3 e F8;

- os valores de K obtidos pelo método de recuperação de Theis são cerca de 10 vezes menores, mantendo valores mais elevados para os aquíferos F5, F2, F1 e F27 e sendo mais baixos os valores obtidos para F3 e F8.

Os níveis aquíferos que foram estudados na área apresentam elevada condutividade hidráulica, com influência pouco notória de camadas confinantes (aquitardos), exceto no caso dos furos F1, F2, F3 e F5.

Avaliou-se ainda a possibilidade de ocorrência de efeitos do armazenamento no furo ou no maciço filtrante (*well effects*) e/ou existência de barreiras impermeáveis ou de recarga (*boundaries*), comparando os gráficos de cada furo com curvas de rebaixamento teóricas predefinidas (Figura 49).

No furo F8 os resultados apontam para a possibilidade de existência de aquíferos não confinados, apesar de também exibir algumas semelhanças com as curvas do limite de barreira de recarga (Figura 49). O limite de barreira pode ser deduzido por um declive nos dados de rebaixamento ou pela curva de Theis quando existe um aumento notável no rebaixamento (Kasenow, 2001). Analisando as curvas, está patente no início da recuperação do nível da água a existência de K mais baixo, que ao longo da recuperação vai tendencialmente aumentando, o que significa que poderá existir um limite de recarga, que estará na Lagoa das Braças na vizinhança do furo.

Os resultados dos ensaios efetuados em F1 e F2 são muito semelhantes entre si, encontrando-se analogias com as curvas de aquíferos semiconfinados com alguma recarga. Podem estes furos captar num aquífero múltiplo com comportamento semelhante. Os resultados dos ensaios efetuados nos furos F7 e F27 sugerem igualmente a existência de aquífero com algum confinamento. As camadas que oferecem este confinamento são geralmente constituídas por lodos ou podzol mais consolidado.

Comportamentos semelhantes podem também ser observados em ensaios efetuados em aquíferos heterogéneos, já que as condições mudam com o aumento da zona de influência do ensaio de recuperação efetuado. Assim, resultados da fase inicial de recuperação dizem respeito a zonas mais próximas do furo (ou do furo ele próprio), e resultados obtidos na fase final se relacionarão com zonas mais afastadas em relação ao furo e que por isso poderão não ser exatamente iguais em termos de parâmetros hidráulicos, quer por motivos de heterogeneidade do aquífero quer por efeitos de furo.

No que diz respeito a F5, observou-se que a representação da curva indica a existência de um aquífero (semi)confinado mas cujos dados são incompletos. Este furo encontra-se na zona ocidental do perfil e foi o primeiro a ser analisado pelos ensaios de *slug test* e ensaios de recuperação após bombagem, no entanto, a velocidade a que o nível de água recuperou provocou uma diminuição na resolução de recolha de dados do nível da água, pelo facto de se utilizar uma sonda de nível para registar os valores do rebaixamento e não um transdutor de pressão. Tal, reflete-se graficamente na falta de dados iniciais.

Com a tabela acima indicada pode-se concluir que existem bastantes conformidades entre os diferentes métodos usados para o estudo da condutividade hidráulica (K). Ao comparar-se os diversos resultados de K, obtidos quer pelas fórmulas empíricas, quer pelos métodos de *slug tests* e testes de recuperação é perceptível a aproximação dos valores de K resultantes da equação de Hazen com os valores de K resultantes da aplicação dos métodos de Bouwer e Rice e Hvorslev. Outra comparação possível e evidente é a aproximação dos valores da condutividade hidráulica entre os valores obtidos pela equação de Kozeny-Carman (d_{10}) e os valores alcançados pelas aplicações dos métodos de recuperação de Theis e Agarwal e Neuman. Para os métodos de Agarwal e Hantush e Agarwal e Hantush com armazenamento no aquífero, os valores de condutividade hidráulica são ligeiramente comparáveis com os valores da equação de Shepherd, dada a diminuição da permeabilidade pela existência de material silto-argiloso. É de notar que F2 e F6 não estão presentes nesta tabela, pelo facto de

não terem sido calculados os valores de condutividade hidráulica através das fórmulas empíricas, pois os primeiros 5 m do furo F1, representam a profundidade total do furo F2 que capta no aquífero AQF1, já para os primeiros 3,5 m do furo F5, representam a profundidade total do furo F6 que capta no aquífero AQF1, impossibilitando a comparação com os métodos usados no *Aquifer Test Pro*.

Portanto, considera-se que os valores da equação de Hazen são bastante aceitáveis para as condições geológicas e hidrogeológicas do terreno estudado (referido no subcapítulo 4.1). Também analisando os valores da condutividade hidráulica obtidos pelos distintos métodos usados para o tratamento de dados de *slug tests* e *pumping tests*, verifica-se que os resultados de K obtidos pelos métodos de Bouwer e Rice e Hvorslev são semelhantes entre si e admitem menos problemas de interpretação que os resultados obtidos pelos testes de recuperação.

No entanto, se analisarmos os resultados à escala do perfil e com objetivo do conhecimento do comportamento real do aquífero, os resultados de K obtidos pelos testes de recuperação são mais representativos pois mostram, com uma extensão maior no terreno, o comportamento da água no interior dos aquíferos, o que não acontece ao analisarmos em laboratório as amostras individualmente e através dos *slug tests*.

5. Conclusão

Com este trabalho de investigação foi possível aumentar o conhecimento de um conjunto de unidades aquíferas, que constituem o sistema aquífero Quaternário de Aveiro (O1) no seu setor meridional. O trabalho de investigação teve por base a quantificação de parâmetros hidráulicos, nomeadamente da condutividade hidráulica (K), em unidades aquíferas e confinantes ao longo do perfil que une a praia da Costinha a Camarçã, a norte de Quiaios (Centro de Portugal), usando métodos de laboratório e ensaios de campo adequados aos objetivos.

Decidiu-se relacionar a geologia com as unidades aquíferas locais e, partindo desse ponto, avaliar a condutividade hidráulica a partir de dados de sedimentos colhidos anteriormente e referidos em relatórios e *logs* de sondagens efetuados na área estudada, o que constituiu um instrumento indispensável para a compreensão da geologia e hidrogeologia subterrâneas. Ao conjugarmos as diferentes unidades sedimentares presentes nos *logs* de sondagem, foi possível construir um perfil hidroestratigráfico detalhado da zona em estudo.

Utilizaram-se as distribuições granulométricas dos sedimentos presentes nessas bases de dados e, através de várias fórmulas empíricas, realizaram-se os cálculos para obter as condutividades hidráulicas, comparando posteriormente os diferentes resultados obtidos. Aplicaram-se ainda técnicas para estimação da condutividade hidráulica *in situ*, como os ensaios do tipo *slug tests* e os ensaios de bombagem a caudal constante com recuperação de níveis de água em piezómetros (*recovery after pumping tests*). Os resultados obtidos para a condutividade hidráulica e a transmissividade permitiram ir mais longe.

O estudo da condutividade hidráulica das unidades hidrogeológicas foi assim realizado a diferentes escalas, alcançando-se diferentes resultados. As condutividades hidráulicas obtidas após a aplicação de fórmulas laboratório através de distribuições granulométricas apresentam resultados detalhados, à escala da amostra, mas, uma vez que as amostras recolhidas foram sempre perturbadas, os resultados obtidos tendem a ser mais elevados (cerca de 10 vezes) do que os obtidos nos ensaios de campo. A colheita e desagregação da amostra podem ter contribuído para esta alteração de valores, no entanto, as diferenças são mínimas se considerarmos os valores gerais para este parâmetro hidráulico.

De forma a ampliar o volume de aquífero estudado e estimar a condutividade hidráulica à escala da sondagem ou numa zona maior em torno desta escala, realizaram-se ensaios de campo (*slug tests* e *recovery after pumping tests*), que

mostraram ser bastante exequíveis, quer na sua aplicação em campo quer no posterior tratamento dos dados. Analisando os diferentes valores de condutividade hidráulica para os ensaios de campo, conseguiu-se perceber que os mesmos entre si apresentavam resultados um pouco diferentes. A explicação para estas diferenças diminutas nos valores de K entre ensaios, é clarificado pelo facto de os *slug tests* quando aplicados em campo, apenas mostrarem K numa zona a pequena distância dos furos, já para os ensaios de recuperação de níveis (*pumping tests*) verifica-se que estes testes permitem alcançar distâncias maiores em torno do piezómetro, o que torna a sua análise mais complexa.

Os resultados obtidos com os ensaios de *slug tests*, não exibiam grandes oscilações gráficas, tendo sido simples efetuar o ajustamento a curvas teóricas, reforçando-se a ideia de que os mesmos só permitem a noção aproximada do comportamento do fluído nos aquíferos numa pequena distância em torno dos furos.

No entanto, os resultados obtidos pelos *pumping tests* apresentaram uma maior complexidade, o que justificou uma maior dificuldade na interpretação dos mesmos. Os *pumping tests* têm a capacidade de atingir maiores distâncias no terreno, registando as influências de possíveis camadas confinantes que possam existir ao longo do perfil, diferenças ou heterogeneidades na própria camada aquífera, alterações da sua espessura e o contacto com possíveis limites de recarga ou impermeáveis, por conseguinte, leva a que graficamente sejam exibidas curvas de rebaixamento mais complexas, mas que são diagnósticas do tipo de aquífero que descrevem. Essas curvas permitem assim perceber qual foi o comportamento do fluído no aquífero durante o tempo de recuperação e se existiu alguma condicionante durante o processo de subida do nível da água no furo, como por exemplo, possíveis efeitos de armazenamento ou perda de carga no furo, entre outros. A dificuldade da interpretação destas curvas passa pela comparação com as curvas de rebaixamento teóricas, verificando-se as semelhanças e as diferenças entre elas, tentando perceber quais seriam os aquíferos que os furos estariam a captar e se podiam existir condicionantes nos furos que pudessem fazer variar os valores de K.

Para colmatar a dificuldade em identificar os possíveis níveis aquíferos, utilizou-se informação pre-existente sobre as unidades aquíferas do perfil tornando mais fácil a compreensão dos resultados de K. Assim analisaram-se os resultados de condutividade hidráulica dos testes de recuperação, sem definição explícita dos tipos de aquíferos, apenas com o intuito de perceber qual era o comportamento do fluído (água) e conjugar

essa informação com a existente na bibliografia, percebendo quais seriam os possíveis níveis aquíferos captados pelos furos existentes no perfil.

Apesar destas dificuldades podemos assumir que os dados de campo gerados pelos *pumping tests* são verosímeis e devem ser tidos em conta.

A escolha dos métodos de análise para dados dos ensaios de recuperação de níveis efetuados no campo, foram feitas de acordo com o ensaio realizado, o possível nível aquífero captado, a geometria do furo (se totalmente ou parcialmente penetrante), e tendo sempre em consideração as limitações aplicadas por cada método. Como a dificuldade na identificação dos possíveis níveis confinantes e a extensão desse confinamento era elevada, escolheram-se métodos que pudessem ser aplicados em qualquer tipo de aquífero, para assim diminuir a possibilidade de erros na obtenção dos resultados de condutividade hidráulica.

Importa ainda referir, que o trabalho desta dissertação na sua grande maioria envolveu a aprendizagem de alguns *softwares*, tais como: *RockWorks 16*, *Aquifer Test Pro*, *SPAW* e *ArcGis*, os quais são difíceis de manusear.

O trabalho de campo requereu leituras pormenorizadas de técnicas detalhadas, tais como *slug tests* e *pumping tests*, para que fosse possível realizar *in situ* tudo de forma correta e com o mínimo de erros possíveis.

Em suma é necessário um bom conhecimento da geologia e hidrogeologia local onde irão ser realizados os ensaios para se conseguir uma análise correta dos níveis produtivos. Este conhecimento prévio nem sempre é possível, e neste caso de trabalho, ele existe, mas não à escala do perfil, considerando-se que determinar as propriedades físicas das unidades aquíferas nestas condições é mais uma arte que uma ciência.

5.1. Recomendações

Com base em todo o trabalho realizado e no conjunto de dados e conhecimentos hidrogeológicos adquiridos, as recomendações são orientadas para o incentivo na continuação de trabalhos que possam reforçar esta investigação e clarificar algumas das incertezas que ainda permanecem.

Assim, recomenda-se:

- (1) – Estudo pormenorizado da tectónica local e a conjugação da mesma com os estudos realizados de natureza hidrogeológica;
- (2) – Construção de novos furos de sondagem mais profundos no setor central do perfil estudado, e noutros perfis da área envolvente, com o objetivo de recolher informações que permitam clarificar as incertezas quanto ao desaparecimento das camadas confinantes;
- (3) – Continuação de estudos hidrogeoquímicos para que possam esclarecer a possibilidade da mistura de águas provenientes de diferentes níveis aquíferos;
- (4) – Realização de mais ensaios de campo, tais como, *slug tests* e *pumping tests*, aumentando a área de abrangência, para reforçar o trabalho desta dissertação e amplificar o conhecimento da hidrodinâmica da região;
- (5) - A elaboração de publicações, para divulgação dos resultados desta dissertação.

Referências Bibliográficas

- Agarwal, R.G. (1980). A new method to account for producing time effects when drawdown type curves are used to analyze pressure buildup and other test data. *Proceedings of the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers. Paper SPE 9289. Disponível em:* [http://www.pe.tamu.edu/blasingame/data/z_zCourse_Archive/P648_15A/P648_15A_Lectures_\(working_lectures\)/20150216_P648_15A_Lec_06_SPE_009289_\[PDF\].pdf](http://www.pe.tamu.edu/blasingame/data/z_zCourse_Archive/P648_15A/P648_15A_Lectures_(working_lectures)/20150216_P648_15A_Lec_06_SPE_009289_[PDF].pdf)
- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4. (PGBH4). Relatório Técnico.* Disponível em: <http://www.apambiente.pt/>
- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2016). Disponível em: <http://www.apambiente.pt/>
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental.* Lisboa: Centro de Geologia / Instituto da Água.
- Alves, E. D. L.; Vecchia, F. A. S. (2011). Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. Universidade de São Paulo. *Maringá. v.33. n.2:* 193-197.
- Assaad F.A., Lamoreaux P.E., Hughes T.H., Wangfang Z., Jordan H. (2004). *Field methods for geologists and hydrogeologists.* Springer-Verlag.
- Atlas Digital do Ambiente (1980). *Atlas Digital do Ambiente.* Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Disponível online em: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>
- Barbosa, B. P. (1981). *Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 16-C. Vagos.* Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Barbosa, B. P.; Soares, A. F.; Rocha, R. B., Henriques, M. H. (1998). *Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000.* Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Batu, V. (1998). *Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis.* New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Berthou, P. Y. (1984). Résumé synthétique de la stratigraphie et de la paléo-géographie du Crétace moyen et supérieur du bassin occidental portugais. *Geonovas, 7:* 99-120.
- Boosntra, H.; Soppe, R. (2007) Well Hydraulics and Aquifer Tests. In Delleur, J. W. (Ed) *The Handbook of Groundwater Engineering.* (2nd. Ed). Chapter 10. New York: CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Bouwer, H., Rice, R.C. (1976). A Slug Test for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers With Completely or Partially Penetrating Wells. *U.S Water Conservation Laboratory. Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture.* Phoenix. Arizona. Vol. 12:423 - 428.

- Brassington, R. (2007). *Field Hydrogeology. The Geological Field Guide Series* (3th Ed.). New York: John Wiley e Sons, Ltd.
- Cabral, J. & Ribeiro, A. (1988). *Carta Neotectónica de Portugal Continental*. Lisboa: Serv. Geol. Portugal.
- Carvalho, A.M., Freitas, L.G., Barbosa, A.M., Filho, J.L.A., Mondelli, G. (2013). Determinação da condutividade hidráulica de uma área contaminada no município de Santo André utilizando-se método *slug test*. *Águas Subterrâneas* 27(3): 71 – 87.
- Carvalho, G. S. (1964). Areias da Gândra (Portugal); uma formação eólica quaternária. *Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências* 82 (4ª série): 7-32.
- Castany G. (1982). *Principes et Méthodes de l'Hydrogeologie*. Dunod Université,
- Castilho, A.M.A. (2008). *Lagoas de Quiaios – Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Chirlin, G. R. (1989). A Critique of the Hvorslev Method for Slug Test Analysis: The Fully Penetration Well. *Groundwater Monitoring & Remediation*. Vol.9: 130-138.
- Clark, I.; Harper, W.V. (2000). *Practical geostatistics*. Columbus, Ohio, USA: Ecosse North Amer., LLC.
- Cooper, H. H., Jacob, C. E. (1953). A Generalized Graphical Method of Evaluating Formation Constants and Summarizing Well-Field History. *Transactions, American Geophysical Union*. Vol 27:526-534
- Cunha, L.V., Ribeiro, L., Oliveira, R. P., Nascimento, J. (2006). Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Recursos Hídricos. *Projeto SIAM II*. Lisboa: 114 – 168.
- Cunha, P. & Reis, R. (1995). Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16: 155-170.
- Cunha, P. M. (1999). Unidades Litostratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo Viseu (Bacia do Mondego, Portugal). *Com. Inst. Geol. Mineiro*: 86: 143 – 196.
- Cunha, P. M. R. R. P. (1992). *Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico superior e do Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Cunha, P. M. R. R. P. (1992). *Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico superior e do Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Cunha, P. P., Martins, A. A. (2004). Principais Aspectos Geomorfologicos de Portugal Central, Sua Relação com o Registo Sedimentar e a Importância do Controlo Tectónico. *Actas*

- de *Geomorfologia do Noroeste da Península Ibérica*: 155-182. Porto: Faculdade de Letras.
- Cunha, P., Reis, R. (1995). Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16: 155 – 170.
- Danielsen, R., Castilho, A.M., Dinis, P.A., Almeida, A.C., Callapez, P.M. (2011). Holocene interplay between a dune field and coastal lakes in the Quiaios – Tocha region, central littoral Portugal. *The Holocene* 22(4):383 - 395.
- Decreto Lei nº 244/2002, de 5 de novembro. *Diário da República nº 255 - I Série A*. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2002/11/255A00/71017103.pdf>
- Delleur, J. W. (Ed) (2007). *The Handbook of Groundwater Engineering*. (2nd. Ed). New York: CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Dinis, J. L. (2001). *Definição da Formação da Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector central da margem oeste ibérica*. Com. Serv. Geol. Portugal, 88: 127-160.
- Dinis, J. M. L. (1999). *Estratigrafia e Sedimentologia da Formação de Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector norte da Bacia Lusitânica*. Tese de Doutoramento: Universidade de Coimbra.
- Dinis, P & Soares, A. F. (2007). Controlling factors on clay mineral assemblages: insights from facies analysis of Pliocene to Pleistocene coastal margin deposits, Western Portugal. *Geologica Acta*, Vol. 5, N°2, 177-192.
- Dinis, P. A. (2004). *Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Dinis, P., Castilho, A. (2012). Integrating Sieving and Laser Data to Obtain Bulk Grain-Size Distributions. *Journal of Sedimentary Research*. v.82: 747-754. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258671584>
- Direção Geral do Território (DGT). (2015). *dgTerritório*. Disponível em: <http://www.dgterritorio.pt/>
- Direção Regional de Florestas do Centro. (DRFC). (2010). *Plano de gestão florestal da Mata Nacional das Dunas de Quiaios (2011-2016)*. Unidade de Gestão Florestal do Centro Litoral: 98 – 100.
- Domenico, P.A.; Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. New York: Ed. John Willey & Sons.
- Dourado, K. A. (2003). *Condutividade Hidráulica de Materiais de Baixa Permeabilidade: Desenvolvimento, Construção e Teste de um Sistema de Medida*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Ferraz, F.M., Miyashiro, N.J., Riyis, M.T., Cunha, R.C.A. (2015). Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e *slug test* em poços

- de monitoramento. *InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Vol 10 no 1: 67 – 68.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4th Ed.). London: Pearson Education International.
- Gonçalves, A.D.M.A., Libardi, P.L. (2013). Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *R. Bras. Ci. Solo*, 37: 1174 –1184.
- Hipólito, J. R.; Vaz, A. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: IST Press.
- HydroSOLVE. (2016). *AQTESOLV: Slug Tests*. Disponível em: <http://www.aqtesolv.com/slug-tests/slug-tests.htm>
- Instituto Geográfico do Exército (2001). *Carta Militar de Portugal 1:25 000*. Continente. Série M 888. Folha 228. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército (IGE).
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (2016). O Clima. Normais climatológicas. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Kasenow, M. (2001). *Applied ground-water hydrology and well hydraulics*. Water Resources Publication.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, Vol. 15, 259 – 263. doi: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kruseman, G. P., de Ridder, N. A. (2000). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data* (2th Ed.). International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Kullberg, J.C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A. C., ..., Nogueira, C.R. (2013). A Bacia Lusitânica: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In Rui Dias, Alexandre Araújo, Pedro Terrinha, José Carlos Kulberg (Eds.), *Geologia de Portugal, Volume II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal*: 196 – 347. Lisboa: Escolar Editora.
- Landim, P. M. B. (2000). *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. Texto Didático 02: 20. Laboratório de Geomatématica. Departamento de Geologia Aplicada. IGCE. UNESP, Rio Claro.
- Landim, P. M. B. (2006). Sobre Geoestatística e mapas. *Terrae Didatica* 2(1): 19-33.
- Marques, J. (1997). O significado dos depósitos Quaternários do Baixo Mondego. *Seminário “O Baixo Mondego”*: 21-39. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Melo, M. T. C., Cabano, G., Silva, M. M. (2002). Evolução hidrogeoquímica do Sistema Multiaquífero Quaternário de Aveiro, in *Actas do 6º Congresso da Água*. PDF 57:1 – 17. Porto: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Melo, M. T. C.; Silva, M. A. M. (2009). The Aveiro Quaternary and Cretaceous Aquifers, Portugal. In W. Mike Edmunds, Paul Shand (Eds.), *Natural Groundwater Quality*:233-262. Blackwell Publishing.

- Odong, J. (2008). Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain-Size Analysis. *Journ. American Science* 4(1):1-6.
- Ohio Environmental Protection Agency. (OhioEPA). (1995). Technical Guidance Manual for Hydrogeologic Investigations and Ground Water Monitoring. Division of Drinking and Ground Waters. Columbus, Ohio;
- Ramos, A. M. (2000). *Organização e Significado dos Depósitos Mais Recentes da Zona Vestibular do Rio Mondego*. Tese de Mestrado: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Regulamento (UE) n.º 868/2014 da Comissão, de 8 de agosto de 2014. Jornal Oficial da União Europeia. Disponível em: http://www.ccdr-lvt.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.ccdr-lvt.pt/files/afcae511fa47542e76b144ba4aaf7533c02adde2.pdf&fileDesc=Regulamento_Ue_868_2014_NUTS.
- Reis, R. P. (1983). *A Sedimentologia de Depósitos Continentais. Dois Exemplos do Cretácico Superior - Miocénico de Portugal*. Tese de Doutoramento: Universidade de Coimbra.
- Reis, R.P.; Cunha, Pedro P.; Dinis, J.; Trincão, P.R. (2000). Geological evolution of the Lusitanian Basin (Portugal) during the Late Jurassic, *GeoResearch Forum*, Transtec Publications, 6, 6, 345-356.
- Rocha, R. B.; Manupella, G.; Mouterde, R, Ruget, C. & Zbyszewski, G. (1981). *Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 19-C. Figueira da Foz*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Sakata, Y.; Imai, T.; Ikeda, R.; Nishigaki, M. (2015). Analysis of partially penetrating slug tests in a stratified formation by alternating piezometer and tube methods. *Journal of Hydrology* 528:385-396.
- Sanders, L. L. (1998). *A Manual of Field Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Santos, V.C., Ferreira, E.T.D., Vanderlei, R.D., Aragão, E.V., Filho, D.A.M. (2015). Estudo dos Procedimentos do Ensaio de Caracterização Hidráulica (Slug Test). *VI CONCCEPAR: Congresso Científico da Região Centro Ocidental do Paraná*. Faculdade Integrado de Campo Mourão: 1 – 2
- Saxton, K. E. (2009) *SPAW*. Soil - Plant - Atmosphere – Water Field & Pond Hydrology (Version 2009). [software]. USDA. Disponível em: <http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/Index.htm>
- Saxton, K. E.; Rawls, W (2009) *Soil Water Characteristics*. (Version 2009). [software]. USDA. Disponível em: <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>
- Schlumberger Water Services (SWS). (2016). *Aquifer Test Pro (version 2016.1)*.
- Schlumberger. (2016). *Glossary Oilfield*. Disponível em: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>

- Shiklomanov, I. (1993). World fresh water resource. In Peter H. Gleick (ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York:Oxford University Press.
- Shiklomanov, I. (1998). World water resource. A new appraisal and assessment for the 21st century. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAmb). (2016). Disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). (1995-2016). Disponível em: <http://snirh.apambiente.pt/>
- Soares, A. F. (1966). Estudo das formações pós-jurássicas da região entre Sargento-Mor e Montemor-o-Novo (margem direita do rio Mondego). *Memórias e Notícias* Nº 62: 1-343.
- Soares, A. F. (1999). As unidades pliocénicas e quaternárias no espaço do Baixo Mondego (uma perspectiva de ordem). *Estudos do Quaternário* 2: 7-17.
- Soares, A. F.; Barbosa, B. P. & Pena dos Reis, R. P. B. (1982). Esboço de enquadramento cronostratigráfico das unidades líticas pós-jurássicas da Orla Meso-Cenozóica Ocidental entre os paralelos de Pombal e Aveiro. *Memórias e Notícias*, Nº 93.
- Soares, A. F.; Cunha, L. Almeida, A. C. & Marques, J. F. (1992). Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Estado actual dos conhecimentos e tentativa de coordenação morfogenética. *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*: 1-14. Porto: Universidade do Porto.
- Soares, A. F.; Cunha, L.; Marques, J. F. & Almeida, A. C. (1993). Depósitos de vertente no Cabo Mondego. Integração no modelo evolutivo do Quaternário no Baixo Mondego. *Actas da III Reunião do Quaternário Ibérico*: 199-208. Coimbra.
- Tonicher, P. M. C. (1998). *Estratigrafia e Paleobiologia do Cenomaniano-Turoniano - O significado do eixo da Nazaré-Leiria- Pombal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- União Europeia. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. L 327/1.
- Weight, W. D.; Sonderegger, J. L. (2000). *Manual of Applied Field Hydrogeology*. New York: McGraw-Hill.
- Weight, Willis D. (2008). *Hydrogeology Field Manual* (2th Ed.). Montana Tech of The University of Montana. Butte, Montana.
- Yamamoto, J. K.; Landim, P. M. B. (2013). *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos.

Anexo 1

**Inventário dos níveis de água usados no cálculo de K
no software *Aquifer Test Pro* 2016.1**

F8 – 1º ST-RHT**Nível da água em t=0 (m): 1,47****Nível estático da água (m): 1,00****Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,47****Espessura do aquífero (m): 10,00**

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
4	1,465	0,465
5	1,39	0,39
7	1,362	0,362
8	1,336	0,336
10	1,301	0,301
12	1,27	0,27
13	1,252	0,252
14	1,24	0,24
16	1,22	0,22
17	1,18	0,18
19	1,171	0,171
20	1,162	0,162
21	1,148	0,148
22	1,129	0,129
23	1,114	0,114
25	1,104	0,104
26	1,096	0,096
28	1,087	0,087
29	1,072	0,072
31	1,063	0,063
32	1,056	0,056
36	1,05	0,05
37	1,049	0,049
38	1,042	0,042
41	1,035	0,035
43	1,03	0,03
45	1,02	0,02
51	1,015	0,015
54	1,01	0,01
56	1,003	0,003

F8 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 1,40	Nível estático da água (m): 1,00	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,40
Espessura do aquífero (m): 10,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	1,3	0,30
5	1,272	0,272
7	1,251	0,251
8	1,243	0,243
9	1,227	0,227
10	1,216	0,216
11	1,204	0,204
13	1,181	0,181
15	1,166	0,166
16	1,15	0,15
18	1,141	0,141
20	1,129	0,129
21	1,117	0,117
22	1,106	0,106
24	1,095	0,095
25	1,091	0,091
27	1,083	0,083
31	1,074	0,074
32	1,065	0,065
34	1,063	0,063
36	1,056	0,056
38	1,05	0,05
40	1,049	0,047
47	1,042	0,04
56	1,035	0,02
63	1,03	0,01
79	1,02	0

F8 – TR		
Tempo de descarga (s): 21,00	Descarga (m ³ /s): 0,000374	Nível estático da água (m): 1,00
Espessura do aquífero (m): 10,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
0	3,2	2,20
1	2,995	1,995
2	2,755	1,755
3	2,55	1,55
7	2,22	1,22
8	2,202	1,202
11	1,838	0,838
14	1,757	0,757
17	1,699	0,699
19	1,62	0,62
22	1,568	0,568
25	1,505	0,505
27	1,455	0,455
29	1,44	0,44
31	1,345	0,345
33	1,318	0,318
35	1,302	0,302
36	1,29	0,29
38	1,27	0,27
39	1,252	0,252
40	1,225	0,225
42	1,21	0,21
43	1,195	0,195
46	1,184	0,184
47	1,175	0,175
49	1,167	0,167
51	1,16	0,16
52	1,151	0,151
54	1,142	0,142
56	1,137	0,137
57	1,134	0,134
59	1,125	0,125
60	1,119	0,119
62	1,112	0,112
65	1,108	0,108
66	1,10	0,10
68	1,092	0,092
70	1,088	0,088
72	1,083	0,083

76	1,075	0,075
82	1,074	0,074
84	1,068	0,068
96	1,06	0,06
100	1,052	0,052
103	1,048	0,048
110	1,035	0,035
126	1,03	0,03
134	1,024	0,024
177	1,023	0,023
216	1,02	0,02
428	1	0

F1 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,54	Nível estático da água (m): 2,35	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,19
Espessura do aquífero (m): 10,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
4	2,523	0,173
7	2,5	0,15
9	2,462	0,112
10	2,443	0,093
11	2,43	0,08
12	2,415	0,065
13	2,405	0,055
15	2,393	0,043
16	2,385	0,035
17	2,38	0,03
20	2,376	0,026
22	2,37	0,02
37	2,364	0,014
50	2,36	0,01
238	2,355	0,005

F1 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,00	Nível estático da água (m): 2,35	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,65
Espessura do aquífero (m): 10,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	2,995	0,645
5	2,903	0,553
8	2,545	0,195
10	2,523	0,173
12	2,485	0,135
14	2,464	0,114
15	2,439	0,089
17	2,425	0,075
20	2,41	0,06
22	2,396	0,046
25	2,386	0,036
26	2,377	0,027
30	2,37	0,02
71	2,36	0,01
159	2,355	0,005

F1 – TR		
Tempo de descarga (s): 58,00	Descarga (m³/s): 0,000634	Nível estático da água (m): 2,35
Espessura do aquífero (m): 10,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
1	3,06	0,71
4	2,802	0,452
6	2,66	0,31
10	2,541	0,191
13	2,51	0,16
16	2,486	0,136
18	2,465	0,115
21	2,455	0,105
23	2,449	0,099
25	2,44	0,09
30	2,431	0,081
32	2,411	0,061
43	2,4	0,05
61	2,395	0,045
82	2,385	0,035
112	2,378	0,028
177	2,375	0,025

242	2,371	0,021
299	2,366	0,016
381	2,363	0,013
962	2,36	0,01
2822	2,351	0,001

F2 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,50	Nível estático da água (m): 2,27	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,23
Espessura do aquífero (m): 3,03		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	2,48	0,21
5	2,327	0,057
7	2,307	0,037
8	2,292	0,022
12	2,283	0,013
15	2,28	0,01
17	2,276	0,006
24	2,27	0

F2 – 1º TR		
Tempo de descarga (s): 29,00	Descarga (m³/s): 0,000271	Nível estático da água (m): 2,27
Espessura do aquífero (m): 3,03		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
2	2,632	0,362
4	2,51	0,24
7	2,36	0,09
9	2,344	0,074
10	2,323	0,053
12	2,308	0,038
15	2,301	0,031
16	2,294	0,024
18	2,288	0,018
19	2,287	0,017
22	2,285	0,015
25	2,282	0,012
29	2,279	0,009
217	2,275	0,005

F2 – 2º TR		
Tempo de descarga (s): 11,00	Descarga (m³/s): 0,000714	Nível estático da água (m): 2,27
Espessura do aquífero (m): 3,03		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
1	2,85	0,58
2	2,67	0,40
5	2,404	0,134
7	2,342	0,072
9	2,307	0,037
11	2,292	0,022
14	2,285	0,015
17	2,28	0,01
36	2,276	0,006
220	2,272	0,002

F3 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,70	Nível estático da água (m): 3,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,51
Espessura do aquífero (m): 13,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
7	3,68	0,49
9	3,54	0,35
10	3,52	0,33
12	3,495	0,305
13	3,44	0,25
14	3,438	0,248
16	3,419	0,229
17	3,398	0,208
19	3,382	0,192
20	3,373	0,183
21	3,359	0,169
22	3,35	0,16
24	3,341	0,151
25	3,332	0,142
26	3,323	0,133
27	3,315	0,125
28	3,31	0,12
30	3,305	0,115
31	3,303	0,113
32	3,298	0,108
33	3,292	0,102
35	3,289	0,099

36	3,284	0,094
38	3,277	0,087
39	3,27	0,08
41	3,259	0,069
43	3,251	0,061
44	3,244	0,054
45	3,235	0,045
47	3,23	0,04
49	3,226	0,036
50	3,222	0,032
65	3,21	0,02
86	3,2	0,01
217	3,195	0,005
327	3,19	0

F3 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,73	Nível estático da água (m): 3,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,54
Espessura do aquífero (m): 13,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	3,72	0,53
5	3,68	0,49
7	3,57	0,38
9	3,54	0,35
11	3,52	0,33
13	3,495	0,305
15	3,475	0,285
19	3,47	0,28
22	3,447	0,257
24	3,42	0,23
27	3,382	0,192
30	3,36	0,17
32	3,33	0,14
35	3,31	0,12
37	3,29	0,10
40	3,283	0,093
42	3,27	0,08
46	3,255	0,065
49	3,247	0,057
52	3,24	0,05
56	3,231	0,041
60	3,22	0,03
70	3,213	0,023

F3 – TR		
Tempo de descarga (s): 117,00	Descarga (m³/s): 0,000314	Nível estático da água (m): 3,19
Espessura do aquífero (m): 13,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
1	4,95	1,76
4	4,81	1,62
6	4,512	1,322
7	4,398	1,208
9	4,275	1,085
10	4,16	0,97
12	4,055	0,865
14	3,97	0,78
15	3,885	0,695
16	3,785	0,595
18	3,678	0,488
20	3,54	0,35
22	3,519	0,329
23	3,495	0,305
25	3,472	0,282
28	3,438	0,248
31	3,42	0,23
39	3,399	0,209
52	3,38	0,19
55	3,35	0,16
57	3,31	0,12
62	3,29	0,10
74	3,28	0,09
88	3,261	0,071
116	3,249	0,059
162	3,232	0,042
200	3,22	0,03
360	3,21	0,02

F7 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 4,40	Nível estático da água (m): 4,21	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,19
Espessura do aquífero (m): 9,79		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
8	4,39	0,18
10	4,36	0,15
12	4,34	0,13
15	4,307	0,097
17	4,29	0,08
20	4,275	0,065
23	4,255	0,045
26	4,247	0,037
29	4,245	0,035
33	4,235	0,025
36	4,226	0,016
40	4,21	0

F7 – 2º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 4,57	Nível estático da água (m): 4,21	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,36
Espessura do aquífero (m): 9,79		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
6	4,525	0,315
9	4,47	0,26
11	4,408	0,198
13	4,36	0,15
15	4,332	0,122
17	4,314	0,104
19	4,302	0,092
21	4,298	0,088
23	4,29	0,08
25	4,276	0,066
27	4,26	0,05
30	4,255	0,045
32	4,246	0,036
41	4,239	0,029
44	4,235	0,025
48	4,232	0,022
50	4,224	0,014
61	4,22	0,01
189	4,215	0,005

F7 – TR		
Tempo de descarga (s): 65,00	Descarga (m³/s): 0,000565	Nível estático da água (m): 4,21
Espessura do aquífero (m): 9,79		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	5,58	1,37
5	5,56	1,35
8	5,18	0,97
10	4,96	0,75
12	4,955	0,745
14	4,73	0,52
16	4,59	0,38
18	4,51	0,30
20	4,44	0,23
21	4,39	0,18
23	4,365	0,155
24	4,36	0,15
25	4,34	0,13
27	4,32	0,11
29	4,302	0,092
30	4,295	0,085
32	4,28	0,07
33	4,272	0,062
35	4,263	0,053
36	4,252	0,042
38	4,245	0,035
40	4,23	0,02
42	4,22	0,01
188	4,215	0,005

F27 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 5,40	Nível estático da água (m): 4,91	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,49
Espessura do aquífero (m): 7,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
4	5,35	0,44
8	5,07	0,16
14	4,98	0,07
19	4,95	0,04
30	4,92	0,01

F27 – TR		
Tempo de descarga (s): 150,00	Descarga (m³/s): 0,000245	Nível estático da água (m): 4,91
Espessura do aquífero (m): 7,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
4	5,35	0,44
5	5,2	0,29
9	5,09	0,18
11	5,054	0,144
13	5,025	0,115
14	5,00	0,09
17	4,975	0,065
19	4,96	0,05
21	4,947	0,037
23	4,937	0,027
25	4,936	0,026
27	4,935	0,025
31	4,925	0,015
68	4,92	0,01
310	4,91	0

F5 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 3,00	Nível estático da água (m): 2,65	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,35
Espessura do aquífero (m): 3,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
12	2,93	0,28
16	2,83	0,18
19	2,76	0,11
23	2,72	0,07
27	2,7	0,05
30	2,68	0,03
34	2,665	0,015
35	2,66	0,01
40	2,655	0,005
47	2,65	0

F5 – TR		
Tempo de descarga (s): 100,32	Descarga (m³/s): 0,000366	Nível estático da água (m): 2,65
Espessura do aquífero (m): 3,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
3	3,85	1,20
5	3,8	1,15
8	2,84	0,19
12	2,78	0,13
15	2,76	0,11
19	2,73	0,08
24	2,71	0,06
26	2,7	0,05
30	2,68	0,03
35	2,67	0,02
38	2,67	0,02
42	2,66	0,01
51	2,66	0,01

F6 – 1º ST-RHT		
Nível da água em t=0 (m): 2,40	Nível estático da água (m): 2,19	Alteração do nível da água em t=0 (m): 0,21
Espessura do aquífero (m): 6,00		

Tempo (s)	Nível da água (m)	Alteração do nível da água (m)
9	2,3	0,11
13	2,215	0,025
15	2,205	0,015
17	2,2	0,01
21	2,195	0,005
26	2,19	0

Anexo 2

**Determinação de parâmetros hidráulicos com base nas
distribuições granulométricas**

Sondagem	Amostra	Litofácies	Distância ao mar (m)	Zsup (WGS84)	d10(mm)	d50(mm)	Cu=d60/d10
EST	EST 0	WS	7500	48,00	0,113	0,176	1,36
EST	EST 01	WS	7500	48,00	0,106	0,153	1,19
EST	EST 1	OM	7500	48,00	0,012	0,137	10,40
EST	EST 2t	MGS	7500	48,00	0,014	0,084	6,07
EST	EST 3	OM	7500	48,00	0,006	0,140	30,17
EST	EST 4t	MGS	7500	48,00	0,031	0,098	35,27
EST	EST 5t	MGS	7500	48,00	0,002	0,029	15,49
EST	EST 7c	MGS	7500	48,00	0,004	0,294	124,83
EST	EST 8t	MGS	7500	48,00	0,003	0,269	109,24
EST	EST 9	RC	7500	48,00	0,001	0,006	9,05
F8	F8A1	WS	6538	48,00	0,158	0,248	1,38
F8	F8A11	McS	6538	48,00	0,106	0,161	1,78
F8	F8A2	WS m	6538	48,00	0,096	0,199	1,91
F8	F8A3.1	WS p	6538	48,00	0,119	0,223	1,71
F8	F8A3.2t	WS p	6538	48,00	0,087	0,155	1,70
F8	F8A4	WS g	6538	48,00	0,105	0,157	1,34
F8	F8A6	WS	6538	48,00	0,121	0,231	1,69
F8	F8A7	WS m	6538	48,00	0,106	0,225	1,92
F8	F8A9	McS	6538	48,00	0,051	0,202	3,87
F1	F1A10	WS	4787	48,40	0,145	0,226	1,37
F1	F1A13	WS m	4787	48,40	0,118	0,212	1,59
F1	F1A15	WS p	4787	48,40	0,114	0,192	1,48
F1	F1A16	WS p	4787	48,40	0,116	0,197	1,49
F1	F1A17	WS p	4787	48,40	0,117	0,198	1,46
F1	F1A19	WS	4787	48,40	0,113	0,178	1,35
F1	F1A2	WS	4787	48,40	0,181	0,290	1,44
F1	F1A20t	WS g	4787	48,40	0,107	0,171	1,58
F1	F1A21	WS g	4787	48,40	0,097	0,145	2,05
F1	F1A22	WS g	4787	48,40	0,110	0,163	1,30
F1	F1A23	McS	4787	48,40	0,082	0,146	1,63
F1	F1A24	McS	4787	48,40	0,018	0,115	7,04
F1	F1A26t	MGS	4787	48,40	0,023	0,083	12,34
F1	F1A27	MGS	4787	48,40	0,007	0,085	29,03
F1	F1A29	MGS	4787	48,40	0,006	0,076	11,53
F1	F1A5	WS	4787	48,40	0,164	0,263	1,36
F1	F1A8	WS	4787	48,40	0,152	0,237	1,35
F1	F1A9	WS	4787	48,40	0,144	0,225	1,36
F3	F3A10	WS	3434	40,00	0,118	0,196	1,49
F3	F3A12	WS	3434	40,00	0,115	0,181	1,36
F3	F3A13	WS g	3434	40,00	0,107	0,160	1,31
F3	F3A13.5	WS g	3434	40,00	0,106	0,155	1,26
F3	F3A2	WS	3434	40,00	0,161	0,264	1,42
F3	F3A3	WS	3434	40,00	0,172	0,277	1,41
F3	F3A5	WS m	3434	40,00	0,155	0,257	1,44
F3	F3A5L	OM	3434	40,00	0,012	0,092	10,43
F3	F3A6	WS m	3434	40,00	0,127	0,220	1,58
F3	F3A7	WS p	3434	40,00	0,116	0,196	1,59
F3	F3A8	WS p	3434	40,00	0,112	0,184	1,46
F3	F3A9	WS	3434	40,00	0,118	0,191	1,39
F4	F4A1	WS	1581	23,00	0,161	0,263	1,41
F4	F4A2	WS	1581	23,00	0,167	0,266	1,39
F4	F4A3	WS	1581	23,00	0,142	0,236	1,52
F5	F5A1	WS	496	8,70	0,217	0,322	1,24
F5	F5A3	WS m	496	8,70	0,151	0,232	1,35
F5	F5A4	WS	496	8,70	0,153	0,238	1,34
F5	F5A5t	SM	496	8,70	0,011	0,185	14,42

Sondagem	Amostra	Litofácies	Distância ao mar (m)	Zsup (WGS84)	d10(mm)	d50(mm)	Cu=d60/d10
F5	F5A6t	SM	496	8,70	0,120	0,220	3,27
F5	F5A6t	SM	496	8,70	0,120	0,220	3,27
F5	F5A7	SS	496	8,70	0,125	0,231	1,81
F5	F5A8	SS	496	8,70	0,156	0,288	2,05
F5	F5A9	SS	496	8,70	0,118	0,210	2,05
F7	F7A11	WS g	2048	30,00	0,115	0,209	1,82
F7	F7A2	WS	2048	30,00	0,167	0,274	1,42
F7	F7A3	WS m	2048	30,00	0,152	0,242	1,41
F7	F7A6	WS g	2048	30,00	0,108	0,179	1,80
F7	F7A7	WS g	2048	30,00	0,104	0,151	1,29
F7	F7A9	WS g	2048	30,00	0,110	0,184	1,77
F27	F27A1	WS	1242	19,50	0,149	0,235	1,40
F27	F27A2	WS	1242	19,50	0,173	0,277	1,33
F27	F27A3	WS	1242	19,50	0,166	0,271	1,44
F27	F27A4	WS	1242	19,50	0,153	0,236	1,37
F27	F27A5	WS	1242	19,50	0,133	0,207	1,36

Sondagem	Amostra	C (cm ⁻¹ s ⁻¹)	K Hazen (cm/s)	K shepherd (cm/s)	n (média)	K _{K-C d10} (cm/s)	n (SPAW)	K _{K-C d10} (cm/s) (n SPAW)
EST	EST 0	135	1,7E-02	2,79E-03	0,35	3,46E-03	0,42	6,37E-03
EST	EST 01	141	1,6E-02	2,26E-03	0,35	3,07E-03	0,42	5,66E-03
EST	EST 1	66	1,0E-04	1,92E-03	0,35	4,15E-05	0,41	6,92E-05
EST	EST 2t	79	1,6E-04	9,14E-04	0,35	5,55E-05	0,41	9,18E-05
EST	EST 3	45	1,4E-05	1,97E-03	0,35	8,41E-06	0,40	1,26E-05
EST	EST 4t	43	4,2E-04	1,16E-03	0,35	2,65E-04	0,39	3,73E-04
EST	EST 5t	57	2,5E-06	1,82E-04	0,35	1,18E-06	0,38	1,55E-06
EST	EST 7c	27	4,2E-06	6,02E-03	0,35	4,14E-06	0,38	5,63E-06
EST	EST 8t	29	3,4E-06	5,28E-03	0,35	3,22E-06	0,39	4,57E-06
EST	EST 9	69	7,8E-07	1,71E-05	0,35	3,07E-07	0,43	5,98E-07
F8	F8A1	134	3,4E-02	4,67E-03	0,35	6,81E-03	0,42	1,30E-02
F8	F8A11	122	1,4E-02	2,44E-03	0,35	3,07E-03	0,41	5,12E-03
F8	F8A2	119	1,1E-02	3,36E-03	0,35	2,52E-03	0,42	4,76E-03
F8	F8A3.1	124	1,8E-02	3,97E-03	0,35	3,85E-03	0,42	7,32E-03
F8	F8A3.2t	124	9,5E-03	2,30E-03	0,35	2,07E-03	0,42	3,94E-03
F8	F8A4	135	1,5E-02	2,34E-03	0,35	3,00E-03	0,42	5,71E-03
F8	F8A6	125	1,8E-02	4,18E-03	0,35	3,99E-03	0,42	7,59E-03
F8	F8A7	119	1,3E-02	4,03E-03	0,35	3,07E-03	0,42	5,84E-03
F8	F8A9	93	2,4E-03	3,44E-03	0,35	7,03E-04	0,42	1,30E-03
F1	F1A10	134	2,8E-02	4,06E-03	0,35	5,71E-03	0,42	1,09E-02
F1	F1A13	127	1,8E-02	3,68E-03	0,35	3,77E-03	0,42	7,17E-03
F1	F1A15	131	1,7E-02	3,18E-03	0,35	3,54E-03	0,42	6,74E-03
F1	F1A16	130	1,8E-02	3,30E-03	0,35	3,68E-03	0,42	7,00E-03
F1	F1A17	131	1,8E-02	3,34E-03	0,35	3,72E-03	0,42	7,08E-03
F1	F1A19	135	1,7E-02	2,84E-03	0,35	3,45E-03	0,42	6,57E-03
F1	F1A2	132	4,3E-02	5,90E-03	0,35	8,86E-03	0,42	1,68E-02
F1	F1A20t	128	1,5E-02	2,67E-03	0,35	3,12E-03	0,42	5,93E-03
F1	F1A21	117	1,1E-02	2,09E-03	0,35	2,55E-03	0,42	4,85E-03
F1	F1A22	137	1,6E-02	2,50E-03	0,35	3,26E-03	0,42	6,21E-03
F1	F1A23	126	8,6E-03	2,10E-03	0,35	1,85E-03	0,42	3,51E-03
F1	F1A24	75	2,5E-04	1,47E-03	0,35	8,99E-05	0,41	1,47E-04
F1	F1A26t	62	3,2E-04	8,98E-04	0,35	1,42E-04	0,41	2,32E-04
F1	F1A27	46	2,5E-05	9,38E-04	0,35	1,50E-05	0,40	2,32E-05
F1	F1A29	63	2,0E-05	7,89E-04	0,35	8,72E-06	0,39	1,29E-05
F1	F1A5	135	3,6E-02	5,10E-03	0,35	7,31E-03	0,42	1,39E-02
F1	F1A8	135	3,1E-02	4,37E-03	0,35	6,25E-03	0,42	1,19E-02
F1	F1A9	135	2,8E-02	4,04E-03	0,35	5,67E-03	0,42	1,08E-02
F3	F3A10	130	1,8E-02	3,27E-03	0,35	3,78E-03	0,42	7,18E-03
F3	F3A12	135	1,8E-02	2,91E-03	0,35	3,60E-03	0,42	6,84E-03
F3	F3A13	136	1,6E-02	2,41E-03	0,35	3,11E-03	0,42	5,91E-03
F3	F3A13.5	138	1,5E-02	2,30E-03	0,35	3,02E-03	0,42	5,75E-03
F3	F3A2	133	3,5E-02	5,13E-03	0,35	7,06E-03	0,42	1,34E-02
F3	F3A3	133	3,9E-02	5,51E-03	0,35	8,00E-03	0,42	1,52E-02
F3	F3A5	132	3,2E-02	4,93E-03	0,35	6,53E-03	0,42	1,24E-02

Sondagem	Amostra	C (cm ⁻¹ s ⁻¹)	K Hazen (cm/s)	K shepherd (cm/s)	n (média)	K _{K-C d10} (cm/s)	n (SPAW)	K _{K-C d10} (cm/s) (n SPAW)
F3	F3A5L	66	9,5E-05	1,05E-03	0,35	3,92E-05	0,39	5,81E-05
F3	F3A6	128	2,1E-02	3,89E-03	0,35	4,40E-03	0,42	8,37E-03
F3	F3A7	127	1,7E-02	3,28E-03	0,35	3,65E-03	0,42	6,94E-03
F3	F3A8	131	1,6E-02	2,99E-03	0,35	3,38E-03	0,42	6,43E-03
F3	F3A9	134	1,9E-02	3,16E-03	0,35	3,77E-03	0,42	7,17E-03
F4	F4A1	133	3,4E-02	5,10E-03	0,35	7,03E-03	0,42	1,34E-02
F4	F4A2	134	3,7E-02	5,18E-03	0,35	7,53E-03	0,42	1,43E-02
F4	F4A3	129	2,6E-02	4,33E-03	0,35	5,50E-03	0,42	1,05E-02
F5	F5A1	139	6,6E-02	6,91E-03	0,35	1,28E-02	0,42	2,44E-02
F5	F5A3	135	3,1E-02	4,21E-03	0,35	6,17E-03	0,42	1,17E-02
F5	F5A4	135	3,2E-02	4,38E-03	0,35	6,36E-03	0,42	1,21E-02
F5	F5A5t	59	7,5E-05	3,00E-03	0,35	3,47E-05	0,41	5,65E-05
F5	F5A6t	99	1,4E-02	3,90E-03	0,35	3,93E-03	0,42	7,00E-03
F5	F5A6t	99	1,4E-02	3,90E-03	0,35	3,93E-03	0,42	7,00E-03
F5	F5A7	122	1,9E-02	4,18E-03	0,35	4,26E-03	0,42	8,10E-03
F5	F5A8	116	2,8E-02	5,85E-03	0,35	6,57E-03	0,42	1,25E-02
F5	F5A9	117	1,6E-02	3,64E-03	0,35	3,77E-03	0,42	7,17E-03
F7	F7A11	121	1,6E-02	3,61E-03	0,35	3,58E-03	0,42	6,80E-03
F7	F7A2	133	3,7E-02	5,40E-03	0,35	7,57E-03	0,42	1,44E-02
F7	F7A3	133	3,1E-02	4,49E-03	0,35	6,24E-03	0,42	1,19E-02
F7	F7A6	122	1,4E-02	2,87E-03	0,35	3,18E-03	0,42	6,05E-03
F7	F7A7	137	1,5E-02	2,22E-03	0,35	2,93E-03	0,42	5,57E-03
F7	F7A9	123	1,5E-02	2,99E-03	0,35	3,31E-03	0,42	6,30E-03
F27	F27A1	133	3,0E-02	4,31E-03	0,35	6,06E-03	0,42	1,15E-02
F27	F27A2	136	4,1E-02	5,50E-03	0,35	8,17E-03	0,42	1,55E-02
F27	F27A3	132	3,6E-02	5,34E-03	0,35	7,44E-03	0,42	1,41E-02
F27	F27A4	134	3,1E-02	4,32E-03	0,35	6,33E-03	0,42	1,17E-02
F27	F27A5	134	2,4E-02	3,56E-03	0,35	4,79E-03	0,42	8,82E-03

Unidade hidrogeológica	Litofácies		K Hazen (cm/s)	K Hazen (m/d)	K _{K-C d10} (cm/s) (n SPAW)	K _{K-C d10} (m/d) (n SPAW)	K _{shepherd} (cm/s)	K _{shepherd} (m/d)
AQF1	WS1.1	máximo	0,07	56,9	0,024	21,10	0,01	6,0
		mínimo	0,02	13,8	0,006	4,89	0,002	2,0
		média geométrica	0,03	27,6	0,01	10,6	0,005	3,9
AQT1-E	WS m	máximo	0,03	27,4	0,01	10,73	0,005	4,3
	WS p	mínimo	0,00001	0,01	0,00001	0,01	0,001	0,9
	OM	média geométrica	0,01	5,0	0,003	2,3	0,003	2,6
AQF2-E	WS1.2	máximo	0,02	16,0	0,008	6,56	0,004	3,6
	WS g	mínimo	0,01	7,4	0,004	3,03	0,002	1,8
		média geométrica	0,02	13,1	0,006	5,2	0,003	2,4
AQT1-W	SM	máximo	0,01	12,4	0,007	6,05	0,004	3,4
		mínimo	0,0001	0,06	0,00006	0,05	0,003	2,6
		média geométrica	0,002	2,1	0,001	1,2	0,004	3,1
AQF2-W	SS	máximo	0,03	24,4	0,013	10,80	0,01	5,1
		mínimo	0,02	14,0	0,007	6,20	0,004	3,1
		média geométrica	0,02	17,8	0,009	7,8	0,004	3,9
AQT2-E	McS	máximo	0,01	12,0	0,005	4,42	0,003	3,0
		mínimo	0,0002	0,22	0,0001	0,127	0,001	1,3
		média geométrica	0,002	1,8	0,001	0,9	0,002	2,0
SC	MGS	máximo	0,0004	0,36	0,0004	0,32	0,01	5,2
	RC	mínimo	0,000001	0,0007	0,0000006	0,0005	0,00002	0,01
		média geométrica	0,00002	0,02	0,00002	0,01	0,001	0,6

