



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

**MODELO MATEMÁTICO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO
NO VALE DE ALCÂNTARA**

Relatório das Tarefas 1, 2 e 3.1

Lisboa, Setembro de 2008

Estudo realizado para a REFER, EP.

**MODELO MATEMÁTICO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO
NO VALE DE ALCÂNTARA
RELATÓRIO DAS TAREFAS 1, 2 E 3.1**

**MATHEMATICAL MODEL OF GROUNDWATER FLOW IN
ALCÂNTARA VALLEY (LISBON)
REPORT ON TASKS 1, 2 AND 3.1**

**MODELE MATHEMATIQUE DE L'ECOULEMENT D'EAUX
SOUTERRAINES DANS LE VALLEE D'ALCÂNTARA (LISBONNE)
RAPORTE DES TACHES 1, 2 ET 3.1**

RESUMO

O principal objectivo deste estudo é a avaliação do efeito de barreira à circulação de água subterrânea criado pela construção dos túneis na parte terminal do vale de Alcântara. O presente relatório inclui os trabalhos desenvolvidos para a concretização das Tarefas 1, 2 e 3.1.

A tarefa 1 consiste na "Definição do modelo conceptual de escoamento subterrâneo", a tarefa 2 consiste na "Monitorização dos níveis de água subterrânea e estudo do efeito da maré" e a tarefa 3.1 consiste no "Estudo do efeito de barragem mediante a aplicação expedita de formulações analíticas do escoamento subterrâneo".

Para a concretização do modelo conceptual de escoamento subterrâneo apresenta-se a caracterização dos aspectos geológicos e hidrogeológicos da área em estudo e faz-se a estimativa da recarga de águas subterrâneas. Geologicamente ocorrem formações calcárias e detríticas, de espessuras variáveis, e idades desde o Cenomaniano médio até à Actualidade. Estas formações apresentam aspectos hidrogeológicos distintos, e são recarregadas pela infiltração da água da chuva e pelas perdas na rede de distribuição de água.

Apresentam-se os resultados da monitorização de 14 piezómetros, tendo ficado claramente demonstrado o efeito de maré nas águas subterrâneas na zona de construção dos túneis.

Com base nos dados desta monitorização estimam-se os caudais de água subterrânea para o rio e faz-se uma avaliação do efeito de barreira ao escoamento subterrâneo devido à construção dos túneis.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se:

Prof. António Bento Franco, e Eng.º Joaquim Sereno, da EPAL, a cedência de informação relativamente às perdas de água na rede de abastecimento público.

Prof.^a Isabel Maria Nunes de Sousa, e Eng. Anabela Morgado, do Instituto Superior de Agronomia, pela colaboração e informação prestada sobre os furos localizados neste Instituto.

Eng.^a Anabela Oliveira e Eng.º Luís Portela, do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras do LNEC, com quem se discutiu assuntos relacionados com as marés e zonas costeiras.

Eng.^a Dália Loureiro, do Núcleo de Engenharia Sanitária do LNEC, também pela cedência de informação relativamente às perdas de água na rede de abastecimento público.

Eng.^a Marília Oliveira, do Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia Ambiental do LNEC, pelas trocas de impressões havidas relativamente às questões em análise.

Dr. Francisco Machado, da Leirimundo, técnicos da GAPRES (Gabinete de Projectos, Engenharia e Serviços) e da GSG (Gabinete de Serviços Geotécnicos) pela interacção havida durante a realização dos piezómetros e pela disponibilização de informação sobre este estudo.

ÍNDICE DE TEXTO

1	<u>INTRODUÇÃO.....</u>	1
2	<u>GEOLOGIA.....</u>	2
2.1	INTRODUÇÃO	2
2.2	LITOLOGIA	3
2.2.1	CALCÁRIOS MARGOSOS E MARGAS DO “BELASIANO” (CENOMANIANO MÉDIO).....	3
2.2.2	CALCÁRIOS CRISTALIZADOS COM RUDISTAS E CALCÁRIOS APINHOADOS COM NEOLOBITES VIBRAYEANUS DO CENOMANIANO SUPERIOR.....	4
2.2.3	COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (COM INTERCALAÇÕES VULCANO-SEDIMENTARES)	4
2.2.4	CAMADAS DE PRAZERES.....	5
2.2.5	ALUVIÕES.....	5
2.2.6	ATERROS	6
2.3	TECTÓNICA/FRACTURAÇÃO	6
3	<u>HIDROGEOLOGIA.....</u>	8
3.1	CALCÁRIOS CRISTALIZADOS COM RUDISTAS E CALCÁRIOS APINHOADOS COM NEOLOBITES VIBRAYEANUS DO CENOMANIANO SUPERIOR.....	8
3.2	COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (COM INTERCALAÇÕES VULCANO-SEDIMENTARES).....	8
3.3	CAMADAS DE PRAZERES	9
3.4	ATERROS E ALUVIÕES	10
4	<u>RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</u>	12
4.1	RECARGA NATURAL.....	12
4.1.1	METODOLOGIA DE CÁLCULO E INFORMAÇÃO UTILIZADA	12
4.1.2	INFORMAÇÃO DE BASE	15
4.1.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DEPENDENTES DOS SOLOS E DA OCUPAÇÃO DO SOLO	16
4.1.4	RESULTADOS OBTIDOS	20
4.2	RECARGA POR PERDAS NA REDE	23
4.3	RECARGA TOTAL.....	25
5	<u>MONITORIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ESTUDO DO EFEITO DA MARÉ</u>	27
5.1	INSTALAÇÃO DOS PIEZÓMETROS E MONITORIZAÇÃO	27
5.2	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	32
6	<u>MODELO CONCEPTUAL DE ESCOAMENTO.....</u>	36

7	<u>ESTUDO DO EFEITO DE BARRAGEM MEDIANTE A APLICAÇÃO EXPEDITA DE FORMULAÇÕES ANALÍTICAS DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO</u>	<u>38</u>
	<u>ANEXOS.....</u>	<u>47</u>
	<u>ANEXO 1 – RECARGA ANUAL OBTIDA PELO MODELO BALSEQ POR ASSOCIAÇÃO DE SOLO- GEOLOGIA E OCUPAÇÃO DO SOLO</u>	<u>49</u>
	<u>ANEXO 2 – RECARGA MENSAL OBTIDA PELO MODELO BALSEQ POR ASSOCIAÇÃO DE SOLO, GEOLOGIA, OCUPAÇÃO DO SOLO E ÁREA IMPERMEÁVEL.....</u>	<u>55</u>
	<u>ANEXO 3 – MONITORIZAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NO VALE DE ALCÂNTARA.....</u>	<u>68</u>
	<u>ANEXO 4 – MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NO VALE DE ALCÂNTARA</u>	<u>77</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1– VALE DE ALCÂNTARA NA ÁREA EM ESTUDO (RETIRADA NO SÍTIO DA INTERNET, HTTP://EARTH.GOOGLE.COM)	2
FIG. 2– MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	3
FIG. 3 – CONFIGURAÇÃO HIDROGEOLÓGICA EM QUE A ÚNICA ENTRADA DE ÁGUA NO VOLUME DE CONTROLO É A ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO, O ESCOAMENTO NO SOLO E NA ZONA VADOSA É VERTICAL, NÃO HÁ ARMAZENAMENTO DE ÁGUA À SUPERFÍCIE PELO QUE TAMBÉM NÃO HÁ EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE, E NÃO HÁ DESCARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA A SUPERFÍCIE	12
FIG. 4 – FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO MODELO NUMÉRICO DE BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DIÁRIO BALSEQ	14
FIG. 5 – PRECIPITAÇÃO MENSAL REGISTRADA NO POSTO UDOGRÁFICO 21C/01UG–SACAVÉM DE CIMA, INDICANDO-SE TAMBÉM O VALOR MÉDIO CALCULADO PARA CADA MÊS CORRESPONDENTE À SÉRIE 1980/81-2001/02	15
FIG. 6 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA MENSAL CALCULADA PARA A ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA 21B/07–TAPADA DA AJUDA (LISBOA). POR CIMA DA INDICAÇÃO DOS MESES INDICA-SE NA LINHA DE CIMA A MAIOR DIFERENÇA OBSERVADA NOS OITO ANOS ACIMA DO VALOR MÉDIO E NA LINHA DE BAIXO A MAIOR DIFERENÇA OBSERVADA NOS OITO ANOS ABAIXO DO VALOR MÉDIO. VALOR MÉDIO CORRESPONDE À SÉRIE 1959/60-1987/88	16
FIG. 7 – MAPA DE CLASSES DE SOLOS INTERPRETADOS A PARTIR DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS QUE OCORREM NA ZONA.....	17
FIG. 8 – MAPA DE OCUPAÇÃO DO SOLO (ADAPTADO DE <i>CORINE LAND COVER</i> DE 2000 E GOOGLE EARTH).....	18
FIG. 9 – RECARGA NATURAL ANUAL MÉDIA (SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO 1980-10-01 A 2002-09-30) - (VALORES EM MM/ANO).....	22
FIG. 10 – RECARGA ANUAL INDUZIDA PELAS PERDAS DE ÁGUA NA REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA (VALORES EM MM/ANO)..	25
FIG. 11 – RECARGA ANUAL DEVIDA AOS PROCESSOS DE RECARGA NATURAIS E À RECARGA INDUZIDA PELAS PERDAS DE ÁGUA NA REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA (VALORES EM MM/ANO).....	26
FIG. 12 – LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÓMETROS PARA O ESTUDO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DO EFEITO DA MARÉ.....	28
FIG. 13 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS DO PERFIL TRANSVERSAL AO RIO TEJO P3-P2-P1, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	29
FIG. 14 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS DO PERFIL TRANSVERSAL AO RIO TEJO P6-P5-P4, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	30
FIG. 15 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS DO PERFIL TRANSVERSAL AO RIO TEJO P10-P9-P11, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	30
FIG. 16 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS P120, P119 E P7, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	31
FIG. 17 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS P11 E S1, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	31
FIG. 18 – EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS NOS PIEZÓMETROS DO PERFIL TRANSVERSAL AO VALE DE ALCÂNTARA P4-P120-P112, DA MARÉ, AJUSTAMENTO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS AOS NÍVEIS REGISTRADOS, E IDENTIFICAÇÃO DOS HORÁRIOS DE OCORRÊNCIA DOS NÍVEIS MAIS ALTOS	32

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 – ESPESSURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS PARA CADA NÍVEL ALUVIONAR	6
QUADRO 2 – TRANSMISSIVIDADES DOS CALCÁRIOS CRISTALIZADOS COM RUDISTAS E CALCÁRIOS APINHOADOS COM NEOLOBITES VIBRAYEANUS DO CENOMANIANO SUPERIOR	8
QUADRO 3 – ESTIMATIVA DAS TRANSMISSIVIDADES DO MIOCÉNICO (INCLUINDO AS CAMADAS DOS PRAZERES)	9
QUADRO 4 – VALORES REPRESENTATIVOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA POR TIPO DE LITOLOGIAS EXISTENTES NOS ALUVIÕES	11
QUADRO 5 – PARÂMETROS PARA A CORRIDA DO MODELO BALSEQ DEPENDENTES DOS SOLOS	18
QUADRO 6 – CLASSES DE OCUPAÇÃO DE SOLOS (<i>CORINE LAND COVER</i> DE 2000)	19
QUADRO 7 – CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DEPENDENTES DO TIPO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA A CORRIDA DO MODELO BALSEQ	20
QUADRO 8 – RESULTADOS ANUAIS ESTIMADOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL, ESCOAMENTO DIRECTO E RECARGA (SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO 1980-10-01 A 2002-09-30)	21
QUADRO 9 – RESULTADOS MENSAIS ESTIMADOS DE RECARGA (EM MM, SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO 1980-10-01 A 2002-09-30)	23
QUADRO 10 – RESULTADOS ANUAIS ESTIMADOS DA RECARGA INDUZIDA PELAS PERDAS DE ÁGUA NA REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	24
QUADRO 11 – LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÓMETROS PARA O ESTUDO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DO EFEITO DA MARÉ	27
QUADRO 12 – VALORES SINTETIZADOS DA PROFUNDIDADE AO NÍVEL PIEZOMÉTRICO	32
QUADRO 13 – VALORES SINTETIZADOS DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO	33
QUADRO 14 – PARÂMETROS DAS CURVAS TRIGONOMÉTRICAS QUE TRADUZEM OS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NO DIA 2008-08-21	34
QUADRO 15 – CÁLCULO DOS CAUDAIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O RIO TEJO A PARTIR DOS DADOS DOS PIEZÓMETROS P1, P2, P3 E RIO TEJO	39
QUADRO 16 – CÁLCULO DOS CAUDAIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O RIO TEJO A PARTIR DOS DADOS DOS PIEZÓMETROS P4, P5, P6 E RIO TEJO	42

MODELO MATEMÁTICO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO NO VALE DE ALCÂNTARA

RELATÓRIO DAS TAREFAS 1, 2 E 3.1

1 Introdução

A REFER EP solicitou ao LNEC que realizasse um estudo contemplando cinco aspectos, no âmbito do projecto da Ligação Desnivelada da Linha de Cintura à Linha de Cascais e ao Porto de Lisboa.

Relativamente às águas subterrâneas, o principal objectivo é a avaliação do efeito de barreira à circulação de água subterrânea criado pela construção dos túneis na parte terminal do vale de Alcântara, pretendendo-se prever as melhores alternativas para minimizar este efeito de barreira, ou até, se possível, melhorar a situação anterior no que diz respeito à ocorrência de cheias na zona de Alcântara.

Concretamente, a REFER solicitou que se desenvolvessem os seguintes dois aspectos:

«3. Modelo matemático da percolação subterrânea do vale de Alcântara que permita avaliar:

- i. escoamento actual;
- ii. escoamento após a introdução das linhas férreas do projecto (efeito de barreira);
- iii. Efeitos das soluções propostas pelo Estudo Prévio para a mitigação dos efeitos estudados no ponto ii.

4. Determinação, por medição do nível piezométrico, do efeito de maré na zona da avenida da Índia e Brasília e no vale de Alcântara»

Este relatório contempla a realização das Tarefas 1, 2 e 3.1 da Proposta de estudo. A tarefa 1 consiste na "Definição do modelo conceptual de escoamento subterrâneo", a tarefa 2 consiste na "Monitorização dos níveis de água subterrânea e estudo do efeito da maré" e a tarefa 3.1 consiste no "Estudo do efeito de barragem mediante a aplicação expedita de formulações analíticas do escoamento subterrâneo".

Para se definir o modelo conceptual de escoamento faz-se previamente a caracterização dos aspectos geológicos e hidrogeológicos. A área caracterizada é mais vasta do que a área de implementação dos túneis na parte terminal do vale de Alcântara, uma vez que as condições de escoamento subterrâneo dependem das condições mais a montante. Assim, para a realização dos estudos definiu-se a área que drena superficialmente para o rio Tejo e que pode condicionar as condições hidrogeológicas na parte terminal do vale de Alcântara.

A Fig. 1 apresenta a vista aérea da área de estudo.



Fig. 1– Vale de Alcântara na área em estudo (retirada no sítio da Internet, <http://earth.google.com>)

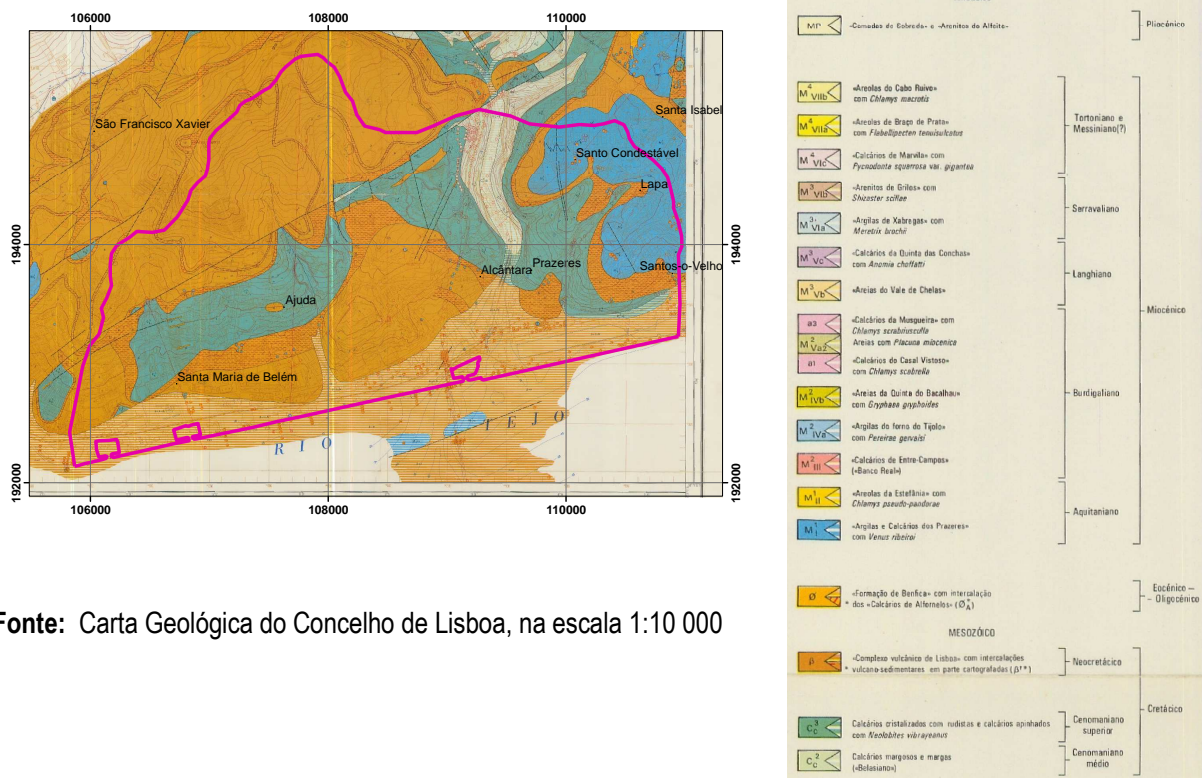
2 Geologia

2.1 Introdução

Neste capítulo é feita uma descrição sintética da geologia, contemplando a descrição da constituição das formações geológicas, a sua espessura – que no caso de aterros e aluviões foram obtidas a partir de sondagens realizadas na área de obra – e as estruturas tectónicas mais importantes que atravessam a região e podem constituir condicionantes de circulação da água subterrânea nas formações fracturadas.

Na área em estudo interessa considerar as seguintes formações geológicas (cf. Fig. 2), organizadas da mais antiga para a mais recente:

- Calcários margosos e margas do “Belasiano”, do Cenomaniano médio;
- Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhoados com *Neolobites vibrayeanus*, do Cenomaniano superior
- Complexo vulcânico de Lisboa, do Cretácico terminal
- Camadas de Prazeres, do Miocénico
- Aluviões, do Holocénico
- Aterros.



Fonte: Carta Geológica do Concelho de Lisboa, na escala 1:10 000

Fig. 2– Mapa geológico da área de estudo

2.2 Litologia

2.2.1 Calcários margosos e margas do “Belasiano” (Cenomaniano médio)

São formações constituídas por calcários margosos apinhoados, com níveis areno-quartzosos, mais dolomíticos para o topo da sucessão litológica (Pais et al., 2006); inferiormente a estes calcários ocorrem calcários margosos e margas (Oliveira et al., 2000). Lateralmente estas formações podem

adquirir um carácter marcadamente mais argiloso, por vezes de fácies calcária, a que se associam calcários argilosos e margas (Henriques et al., 2007); a tendência de passagem a uma fácies calcário-dolomítica parece ser generalizada podendo no final da sequência os calcários margosos passarem mesmo para calcários dolomíticos compactos (Henriques et al., 2007).

Pais et al. (2006) referem que para a região de Lisboa estas formações exibem espessuras que podem ir até aos 340 m na zona de Monsanto, atingindo os 420 m nos arredores de Lisboa, perto de A-da-Beja.

2.2.2 Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhados com *Neolobites vibrayeanus* do Cenomaniano superior

Designados por Formação da Bica em Pais et al. (2006), são formações constituídas por calcários compactos, por vezes rijos, alternando com calcários apinhados, calcários cristalinos e calcários recifais, calcários margosos e margas (Oliveira et al., 2000). De acordo com Pais et al. (2006) a série é dominada pelos calcários compactos, que podem mesmo apresentar fácies cristalina e com nódulos de sílex. Estes calcários compactos adquirem contudo um carácter mais margoso para o topo da sequência, onde alternam com margas (Pais et al., 2006). Na parte superior da série, nas zonas associadas a biostromas, ocorrem silicificações dos fósseis de rudistas (Pais et al., 2006). Estas formações encontram-se fracturadas e com um grau variável, por vezes significativo, de carsificação. De acordo com as sondagens efectuadas na zona da ribeira de Alcântara/Av. de Ceuta ocorrem também níveis dolomíticos, na área de base da formação.

2.2.3 Complexo vulcânico de Lisboa (com intercalações vulcano-sedimentares)

É constituído por uma sucessão de escoadas lávicas, essencialmente basálticas, normalmente compactas, intercaladas por: (a) unidades piroclásticas (cinzas vulcânicas, lapilli, brechas grosseiras de base de escoada, tufos) constituindo depósitos não consolidados e muito alterados, embora o grau de alteração seja variável ao longo da região; (b) depósitos sedimentares de margas, grés, argilas, e brechas caóticas com frequência contendo elementos das escoadas basálticas e dos depósitos piroclásticos. Por vezes as unidades lávicas, devido à alteração intensa, apresentam um certo grau de argilificação (cf. Henriques et al., 2007; Oliveira et al., 2000).

Na região da Grande Lisboa, as espessuras deste Complexo nunca são superiores a 100m, de acordo com Pinto (2003) e Subtil (2003).

2.2.4 Camadas de Prazeres

Formação dominada por argilas e margas, que na região de Lisboa, está também representada por calcários coraliários a que se seguem depósitos de argilitos, podendo gradar lateralmente para níveis carbonosos; seguem-se depósitos de arenitos finos a médios e o topo da formação é constituído por argilitos arenosos fossilíferos (Pais et al., 2006). Regionalmente pode descrever-se a formação como sendo dominada por argilas com intercalações de margas, grés muitas vezes calcários, calcários argilosos, calcários margosos, calcários gresosos, calcários rijos, areias e argilitos siltosos e margosos, calcários lumachélicos (Oliveira et al., 2000).

De acordo com Pais et al. (2006), na região de Lisboa a espessura máxima do conjunto de litologias deve rondar os 45 m, apresentando um valor médio entre os 30 a 35 m de espessura (Pinto, 2003; Subtil, 2003).

2.2.5 Aluviões

No vale de Alcântara e junto ao rio Tejo, e de acordo com os dados de sondagens efectuados na região em intervenção, encontra-se um significativo depósito de aluviões (por onde passará a estrutura do túnel) com quatro níveis de características distintas. Estes níveis, descritos seguidamente do topo para a base são:

A1 – argilas siltosas e argilas arenosas, por vezes com componente orgânica e, ocasionalmente, componente margosa;

A2 – areias médias e grosseiras com passagens a areias finas por vezes lodosas, mais lodosas e argilosas no topo, e ocasionais níveis de calhau e burgau (com maior incidência na base; surgem sobretudo no perfil da Av. de Brasília);

A3 – argilas lodosas e siltes lodosos;

A4 – cascalheiras de seixos e calhaus com matriz areno-lodosa.

Estes níveis apresentam espessuras irregulares, por vezes lenticulares, que reflectem a paleotopografia dos terrenos em que terão sido depositados, assim como da erosão posterior que terão sofrido. A espessura global da formação, na área de intervenção, varia assim entre um mínimo de 0 m (Av. de Ceuta) e cerca de 37,5 m (na sondagem SP549.4) entre a Av. da Índia e a linha de caminho de ferro. Dado que esta formação engloba diversas sub-unidades, o Quadro 1 apresenta as espessuras máximas e mínimas para cada nível aluvionar.

Quadro 1 – Espessuras máximas e mínimas para cada nível aluvionar

Formação	Perfil Av. Brasília/Docas		Perfil Av. Ceuta	
	Mínimo (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
Nível de aluvião A1	0	0	0	7
Nível de aluvião A2	13,5	35	0	25
Nível de aluvião A3	0	0	0	12
Nível de aluvião A4	0	0	0	3,5

2.2.6 Aterros

Na área em estudo, e de acordo com os dados de sondagens efectuados na região em intervenção, os aterros são constituídos por um conjunto de materiais heterogéneos arenosos e argilosos, não coerentes, de deposição antropogénica.

De acordo com GAPRES (2008), a composição dos aterros tem componente silto-argilosa desenvolvida, com fragmentos líticos dispersos, no trecho situado ao longo da Av. de Ceuta até próximo da Av. da Índia. Na margem direita do Tejo a composição é predominantemente arenosa, em grande parte com areias trazidas da margem esquerda (zona da Trafaria) e no topo incluem fragmentos líticos geralmente de basalto e calcário.

As suas espessuras são bastante variáveis, entre 1,5 m e 5 m ao longo do perfil da Avenida de Brasília-Docas de Alcântara e entre cerca de 1,5 m e 9 m ao longo do perfil da Avenida de Ceuta, sendo a espessura máxima (9 m) atingida na zona de implantação do caniço de Alcântara.

2.3 Tectónica/Fracturação

Na área de intervenção, e na zona envolvente abrangida pelo estudo, ocorrem os seguintes sistemas de falhas, que afectam as formações do **Cenomaniano médio**, **Cenomaniano superior/Turoniano** e o **Complexo Vulcânico de Lisboa** (Pais et al., 2006):

- 1) Falhas NE-SW: afectam as formações cenomanianas e o complexo vulcânico de Lisboa. Há a destacar a falha da Ajuda, que segundo Pais et al. (2006) tem uma faixa de deformação com superfícies de deslizamento com frequência estriadas, indicando componente de movimento dominante de desligamento. Esta falha delimita o bordo N da mancha de calcários do Cenomaniano superior aflorantes entre as duas manchas de complexo vulcânico de Lisboa e que se estende ao longo da ribeira de Alcântara, e que estão inclusos no modelo matemático; ao longo desta falha, é feito em diversos pontos o contacto, tectónico, entre estes calcários e a mancha N de complexo vulcânico de Lisboa;

-
- 2) Falhas NNE-SSW: parecem afectar apenas o Cenomaniano superior e complexo vulcânico de Lisboa, estando assinaladas imediatamente a Oeste do vale de Alcântara, afectando as manchas sul de calcários cenomanianos e de complexo vulcânico de Lisboa;
 - 3) Falhas NW-SE: correspondem a um conjunto de estruturas de menor dimensão que as falhas da família anterior, sendo geralmente curtas, e afectam sobretudo as formações cretácicas; apresentam por vezes estrias sub-horizontais, denunciando componente de movimentação dominante em desligamento que, no Vale de Alcântara, são desligamentos direitos conjugados de desligamentos esquerdos NE-SW. Esta família de falhas torna-se particularmente expressiva na região imediatamente a N dos limites setentrionais do modelo matemático, na área de Monsanto e vale de Alcântara;
 - 4) Falhas WNE-ESE a E-W: representada especialmente pela falha do Monsanto, que limita parcialmente a S os calcários cenomanianos do domo de Monsanto, fazendo o contacto tectónico entre estes e o complexo vulcânico de Lisboa na extremidade N abrangida pelo modelo; tem componente de movimentação esquerda e vertical com subida do bloco N (correspondente ao afloramento de calcários cenomanianos);
 - 5) Falhas N-S: conjunto de pequenas falhas que afecta sobretudo os calcários cenomanianos do sector entre o Alto da Ajuda e Santo Amaro. Na margem S do Tejo estas falhas tem uma componente de movimentação normal. Falhas prováveis, com idêntica orientação, são assinaladas na mancha de Camadas dos Prazeres, na área abrangida pelo modelo matemático.

As **Camadas dos Prazeres** são afectadas, na área de interesse, pelas seguintes famílias de falhas:

- 1) Falhas N-S, na região de Santo Condestável;
- 2) Falhas NW-SE, em que a falha de maior desenvolvimento ocorre a leste do v.g. Margiochi, sendo também de salientar a existência de pequenas falhas com esta direcção na zona de Santo Condestável;
- 3) Falhas NNE-SSW, na zona de Santo Condestável, parecendo ser conjugadas com as pequenas falhas NW-SE da mesma região; ocorrem já fora da área afectada pelo modelo, com maior extensão, na área de Campolide - Av. Engenheiro Duarte Pacheco.

As formações aluvionares são afectadas por falhas NE-SW (falha do Tejo e falha da Ajuda).

3 Hidrogeologia

3.1 Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhoados com *Neolobites vibrayeanus* do Cenomaniano superior

Aquífero fracturado e cársico; a circulação dá-se nas fracturas, ao longo dos planos de estratificação e nas galerias cársicas (desenvolvimento cársico local). Os valores de transmissividade registados para as unidades do Cretácico superior (incluindo as formações cenomanianas) encontram-se descritos no Quadro 2. Refira-se que a maior parte das transmissividades foram calculadas a partir do método de Logan, dado os elementos fornecidos pelos relatórios de sondagens não permitirem a utilização de outros métodos.

Quadro 2 – Transmissividades dos Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhoados com *Neolobites vibrayeanus* do Cenomaniano superior

Designação	Q (l/s)	s (m)	q (l/s/m)	T (m ² /d)		Fonte
				Logan	Jacob	
L29	3	47,5	0,063	6,66		Pinto (2003)
L38	4	0,2	20,0	2108,16		Pinto (2003)
L52	5	45,7	0,109	11,53		Pinto (2003)
L61	3	11,6	0,230	25,24		Pinto (2003)
L67	--	6,13	0,04		19,8	Pinto (2003)
148/99/GLIS/143	288,00	15	19,2	23,42		CCDRLVT
148/99/GLIS/143	224,64	11,6	19,4	23,63		CCDRLVT
176/04/GLIS/431 (*)	239,30	40	6,0	7,30		CCDRLVT
111/06/GLIS/431 (*)	83,80	35	2,4	2,92		CCDRLVT

(*) Cenomaniano superior provável

3.2 Complexo vulcânico de Lisboa (com intercalações vulcano-sedimentares)

Este conjunto de formações funciona como aquífero, podendo localmente funcionar como aquífero (Pinto, 2003). Segundo Pais et al. (2006) as captações (em poço ou galeria) que atravessam o complexo vulcânico de Lisboa têm no geral caudais pequenos (Alfragide, em profundidade de captações de 0,6 a 3 l/s, artesianas mas não repuxantes, em relação com fracturas), donde, em geral, nas áreas onde pode funcionar como aquífero, este terá baixa produtividade. Embora não sejam conhecidos dados de transmissividade, Pinto (2003) admite que a permeabilidade seja baixa a média. De acordo com Ramalho et al. (1993) este Complexo pode funcionar como potencial zona de recarga para os calcários do Cenomaniano superior, podendo localmente, devido à fracturação, ser zona de recarga de alguma importância para estas unidades cretácicas.

3.3 Camadas de Prazeres

Dado o tipo de litologias constituintes, este é um conjunto de formações com permeabilidades baixas, ocasionalmente médias, funcionando como aquífero (Pinto, 2003), com potencial comportamento misto poroso-fracturado, poroso nos níveis de areias e fracturado nos níveis mais calcários. Pinto (2003) e Subtil (2003) apresentam valores globais de transmissividades para todo o Miocénico (englobando camadas dos Prazeres) dos sectores Ocidental e Oriental de Lisboa, respectivamente (Quadro 3). Segundo a última autora, os valores de transmissividades diminuem ligeiramente de E para W.

Quadro 3 – Estimativa das transmissividades do Miocénico (incluindo as Camadas dos Prazeres)

Designação	Q (l/s)	s (m)	q (l/s/m)	T (m ² /d)			Fonte
				Logan	Jacob	"Aquifer test"	
L13	2	39,92	0,056	5,87			Pinto (2003)
L65	--	66,2	0,14		56,8	42,07	Pinto (2003)
L68	--	9,9	0,2		36,7	32,8	Pinto (2003)
L1	30	23,56	1,273	134,22			Subtil (2003)
L2	43	4,18	10,287	1084,34			Subtil (2003)
L4	20	42,5	0,474	50,02			Subtil (2003)
L6	1,94	22,5	0,086	9,09			Subtil (2003)
L8	0,833	50,0	0,017	1,76			Subtil (2003)
L14	0,8	48,0	0,017	1,76			Subtil (2003)
L16	4,5	12,0	0,375	39,53			Subtil (2003)
L17	1	2	0,5	52,70			Subtil (2003)
L18	10	1,4	7,143	752,91			Subtil (2003)
L20	25	41,1	0,6	64,12			Subtil (2003)
L22	3,8	16,2	0,235	24,73			Subtil (2003)
L23	4,2	31,2	0,135	14,19			Subtil (2003)
L24	10	6,6	1,515	159,71			Subtil (2003)
L29	3	47,5	--	6,66			Subtil (2003)
L36	2,5	26,0	0,096	10,14			Subtil (2003)
L37	3,3	21,0	0,15	16,56			Subtil (2003)
L41	8,333	30,0	0,27	29,28			Subtil (2003)
L55	2,833	1,2	2	248,85			Subtil (2003)
L57	28,3	66,0	0,43	45,20			Subtil (2003)
L69	--	21,04	0,31		146	95,9	Subtil (2003)
L70	--	4,96	1,12		349	265	Subtil (2003)

3.4 Aterros e Aluviões

Devido ao tipo de materiais constituintes, estes depósitos têm comportamento de aquífero poroso. Segundo GAPRES (2008), os ensaios Lefranc indicam condutividades hidráulicas (K) dos aluviões, entre 10^{-4} a 10^{-5} m/s; os valores mais frequentes estão no intervalo dos 10^{-5} m/s. Relacionando os valores dos ensaios de caudal Lefranc com os respectivos perfis de sondagens, e portanto com a estratificação das aluviões verifica-se que:

Sondagem S6: $K = 1 \times 10^{-4}$ m/s, ao nível 7,5-7,7 m – em argilas lodosas com nível de areias finas com muitos restos de conchas e rochas (o ensaio foi realizado nas proximidades deste nível arenoso); $K = 5,53 \times 10^{-5}$ m/s, ao nível 15,0-15,2 m – em areias finas a médias com fracção argilosa e alguns restos de conchas.

Sondagem S3: $K = 3,85 \times 10^{-5}$ m/s ao nível 6,0-6,2 m – em areias finas a médias por vezes com pequenos seixos, restos de conchas e fragmentos de rochas e com pequeno nível argiloso (o ensaio foi realizado nas proximidades deste nível lodoso); $K = 1,23 \times 10^{-4}$ m/s, ao nível 13,5-13,7 m – em areia fina a média com restos de conchas.

Sondagem S2: $K = 1,99 \times 10^{-4}$ m/s ao nível 9,0-9,2 m – em areias finas a médias por vezes com seixos de dimensão variada, restos de conchas e algumas pequenas lenticulas de argilas; $K = 8,55 \times 10^{-5}$ m/s ao nível 18,0-18,2 m – em areia média a grosseira com restos de conchas e fragmentos de rochas.

Sondagem S1: $K = 7,88 \times 10^{-5}$ m/s ao nível 7,5-7,7 m – areia fina a média por vezes com algumas pequenas lenticulas argilo-arenosas; $K = 1,07 \times 10^{-4}$ m/s ao nível 15,0-15,2 m – areia fina a média por vezes com algumas pequenas lenticulas argilo-arenosas (a mesma camada do ensaio anterior).

Destes resultados de ensaios de caudal foram considerados como valores representativos de condutividade hidráulica por tipo de litologias existentes nos aluviões os seguintes intervalos de valores apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores representativos de condutividade hidráulica por tipo de litologias existentes nos aluviões

Litologias	Condutividade hidráulica (m/s)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Argilas lodosas		$3,85 \times 10^{-5}$	
Areias finas a médias com fracção argilosa		$5,53 \times 10^{-5}$	
Areias finas a médias com algumas pequenas lenticulas argilo-arenosas	$7,88 \times 10^{-5}$	$1,07 \times 10^{-4}$	$1,99 \times 10^{-4}$
Areias finas a médias com seixos e conchas	1×10^{-4}		$1,23 \times 10^{-4}$

Fonte: Elaborado com base em GAPRES (2008)

Realizando uma correlação aproximada entre as formações testadas nos ensaios Lefranc referidos acima e as divisões litológicas definidas para as aluviões, tem-se:

A1 – argilas siltosas e argilas arenosas, por vezes com componente orgânica e, ocasionalmente, componente margosa – Condutividade hidráulica (m/s) = 10^{-5} .

A2 – areias médias e grosseiras com passagens a areias finas por vezes lodosas, mais lodosas e argilosas no topo, e ocasionais níveis de calhau e burgau (com maior incidência na base; surgem sobretudo no perfil da Av. de Brasília) – Condutividade hidráulica (m/s) = 10^{-4} .

A3 – argilas lodosas e siltes lodosos – Condutividade hidráulica (m/s) = 10^{-5} .

A4 – cascalheiras de seixos e calhaus com matriz areno-lodosa – Condutividade hidráulica (m/s) = 10^{-4} e superior.

4 Recarga de águas subterrâneas

4.1 Recarga natural

4.1.1 Metodologia de cálculo e informação utilizada

A recarga refere-se ao volume de água que atinge a zona saturada num determinado intervalo de tempo. A recarga foi calculada pelo balanço hídrico sequencial diário ao nível do solo, programado no modelo numérico BALSEQ (Lobo Ferreira, 1981).

Segundo Oliveira (2004), o modelo BALSEQ modela a seguinte configuração hidrogeológica (Fig. 3):

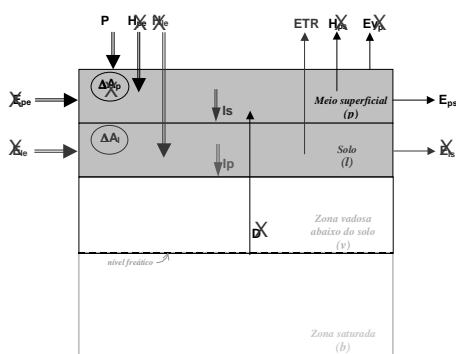


Fig. 3 – Configuração hidrogeológica em que a única entrada de água no volume de controlo é a água de precipitação, o escoamento no solo e na zona vadosa é vertical, não há armazenamento de água à superfície pelo que também não há evaporação de água de superfície, e não há descarga de águas subterrâneas para a superfície

- 1) A única entrada de água no volume de controlo é a água de precipitação ($E_{pe} = 0$, $E_{le} = 0$, $H_{pe} = 0$, $H_{le} = 0$);
- 2) Não há descarga de águas subterrâneas para o meio superficial ($D = 0$);
- 3) O escoamento no solo é vertical, pelo que não há saída lateral do volume de controlo por este meio ($E_{ls} = 0$);
- 4) Não há formas de armazenamento de água superficial pelo que também não há evaporação de água superficial ou ambas são desprezáveis ($\Delta A_p = 0$, $E_{vp} = 0$);
- 5) Não há extracções de água superficial ($H_{ps} = 0$).

Nas circunstâncias apontadas a infiltração profunda vem dada pela equação:

$$I_p = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_l \quad \text{Eq. 1}$$

O modelo BALSEQ requer a introdução da seguinte informação de entrada (Lobo Ferreira, 1981):

- precipitação diária (P);
- evapotranspiração potencial mensal (ETP);
- número característico do escoamento (NC);

- quantidade máxima de água disponível no *solo* que uma planta pode usar para evapotranspirar (*AGUT*);

- humidade do *solo* no primeiro dia do cálculo ($A_{l\text{ início}}$).

A parcela *AGUT* é função da profundidade (eficaz) das raízes das plantas (*rp*) e da diferença entre a capacidade de campo (*cc*) e o ponto de emurchecimento permanente (*wp*):

$$AGUT = (cc - wp) \cdot rp \quad \text{Eq. 2}$$

O modelo BALSEQ segue a estrutura representada na Fig. 4.

O escoamento directo (*Ed*) é calculado de acordo com o método do número característico de escoamento (*NC*) do Soil Conservation Service¹ (SCS) do Departamento de Agricultura dos EUA (U.S.D.A., 1972, 1975, in Correia, 1983; Mockus, 1972; Lobo Ferreira, 1981). O valor de *NC* depende do tipo de solo, do uso do solo e de uma condição da superfície do solo para gerar escoamento superficial. O seu valor varia entre 0 e 100, correspondendo 0 a uma bacia onde não há escoamento directo, qualquer que seja a precipitação e a sua intensidade, e 100 a um caso onde toda a precipitação esco superficialmente.

Os tipos de solos considerados agrupam-se em quatro classes, A, B, C e D, crescentemente impermeáveis, correspondendo o solo do tipo A a um solo com baixo potencial de escoamento directo e elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos, e um solo do tipo D a um solo com um potencial de escoamento directo elevado e intensidades de infiltração muito baixas quando completamente humedecidos.

Neste método, o escoamento directo é dado por:

$$Ed = \frac{25,4 \cdot (P / 25,4 - 200 / NC + 2)^2}{P / 25,4 + 800 / NC - 8} \quad \text{Eq. 3}$$

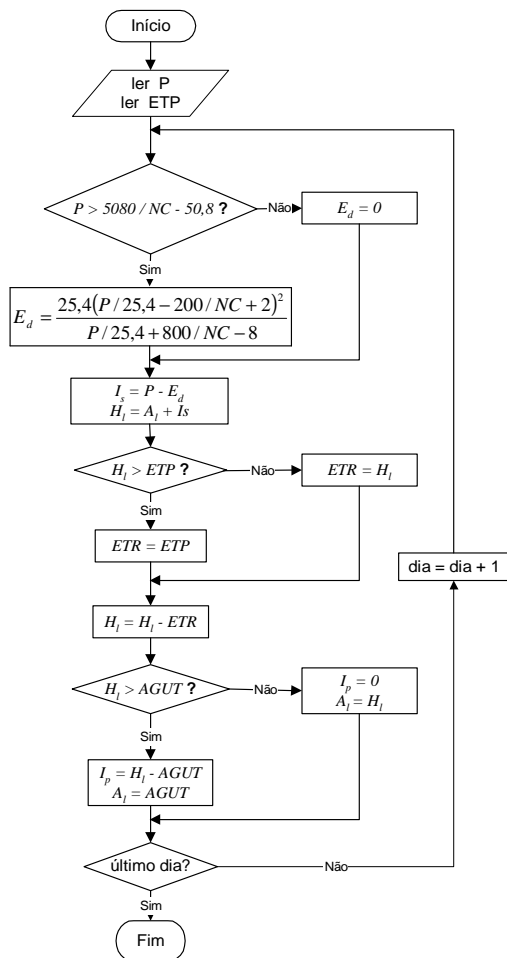
Esta fórmula é válida para valores de precipitação acima de um valor mínimo. Abaixo deste valor assume-se que a água da precipitação é utilizada para a interceptação ou para infiltração no solo. A precipitação mínima necessária para haver escoamento ($P_{\text{mín}}$) é dada por:

$$P_{\text{mín}} \text{ (mm)} = 5080 / NC - 50,8 \text{ (mm)} \quad \text{Eq. 4}$$

Se a precipitação que ocorre é inferior a $P_{\text{mín}}$, então $Ed = 0$.

A infiltração superficial é calculada pela diferença entre a precipitação e o escoamento directo.

¹ Actualmente *Natural Resources Conservation Service* (NRCS)



P = precipitação
ETP = evapotranspiração potencial
NC = número característico de escoamento
Ed = escoamento directo
Is = infiltração superficial
A_i = água armazenada no *solo* no final do dia
H_i = água armazenada no *solo* ao longo do dia
ETR = evapotranspiração real
AGUT = quantidade máxima de água disponível no *solo* para evapotranspiração
Ip = infiltração profunda

Fig. 4 – Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ

A água de infiltração superficial é adicionada à humidade do *solo*, sendo evapotranspirada em seguida até ao valor máximo da evapotranspiração potencial desse dia. A restante água permanece no *solo*.

A infiltração profunda ocorre sempre que a humidade do *solo* excede o valor inicialmente calculado para a variável *AGUT*. O excesso de água constituirá o valor diário da infiltração profunda que se assume igual à recarga da zona saturada.

O programa actualiza diariamente as variáveis do ciclo hidrológico e apresenta em tabelas os seguintes elementos:

- valores mensais e anuais e respectivas médias e desvios padrão da precipitação e evapotranspiração potencial;
- valores mensais e anuais e respectivas médias e desvios padrão do escoamento directo, evapotranspiração real e infiltração profunda (recarga de *aquíferos*);
- humidade do *solo* no último dia de cada mês;
- dados sobre o escoamento directo mensal e anual e as respectivas médias e desvios padrão.

4.1.2 Informação de base

Para a caracterização da precipitação diária, após uma análise dos postos existentes na região, seleccionou-se a informação registada no posto Udográfico 21C/01UG–Sacavém de Cima e disponibilizada em 2008-07-01 no sítio <http://snirh.pt/> localizado na periferia da cidade de Lisboa, a Nordeste da área em estudo, e que se assume ser representativo da precipitação que ocorre nesta área. Foi analisada a série de 22 anos desde 1980-10-01 até 2002-09-30, cuja distribuição dos valores mensais pode ser observada na Fig. 5.

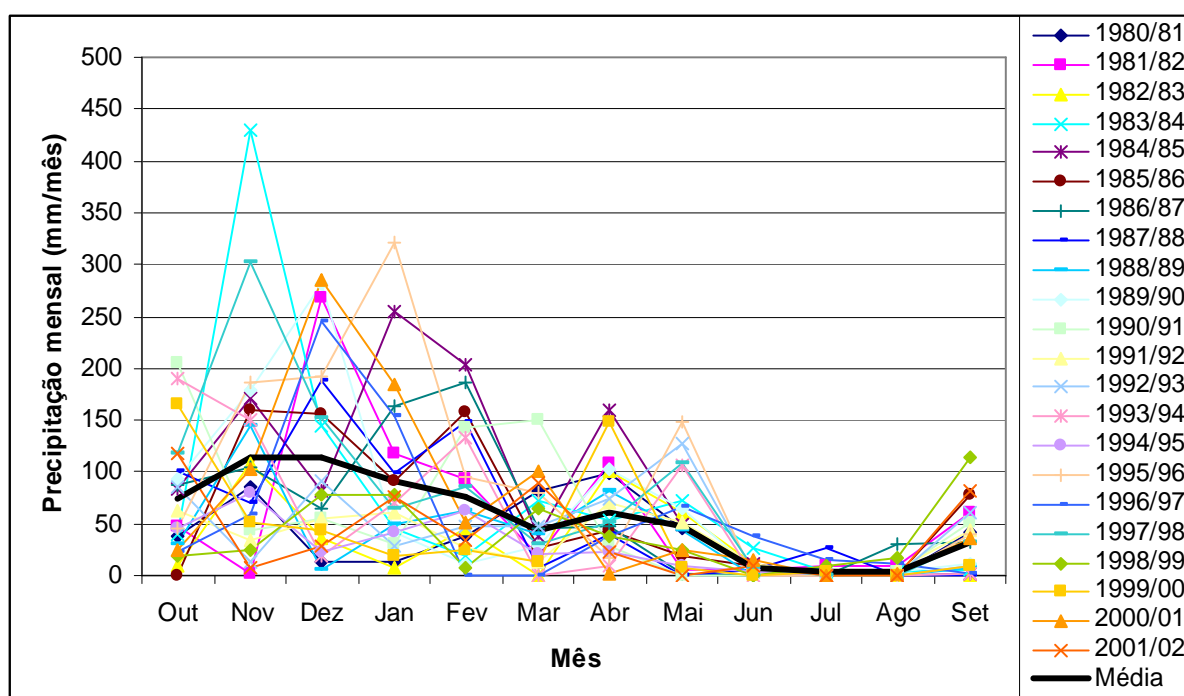


Fig. 5 – Precipitação mensal registada no posto udográfico 21C/01UG–Sacavém de Cima, indicando-se também o valor médio calculado para cada mês correspondente à série 1980/81-2001/02

Para a evapotranspiração potencial mensal utilizou-se a evapotranspiração de referência mensal calculada pelo método de Penman-Monteith da FAO com os dados mensais relativos à estação climatológica 21B/07–Tapada da Ajuda (Lisboa), que se situa dentro da área de estudo, publicados no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo, para o período de 1959-10 até 1988-09.

O período comum entre as séries de precipitação diária e de evapotranspiração de referência mensal é de 1980-10-01 até 1988-09-30. O estudo dos valores mensais da evapotranspiração para este período mostra que a diferença diária das evapotranspirações de referência em relação à média do período de 1959-10 até 1988-09 é sempre inferior a 0,8 mm/dia (Fig. 6). Por esse motivo, para o

período de 1988-10-01 até 2002-09-30, utilizou-se o valor da evapotranspiração de referência mensal média do período de 1959-10 até 1988-09 para caracterizar a evapotranspiração mensal.

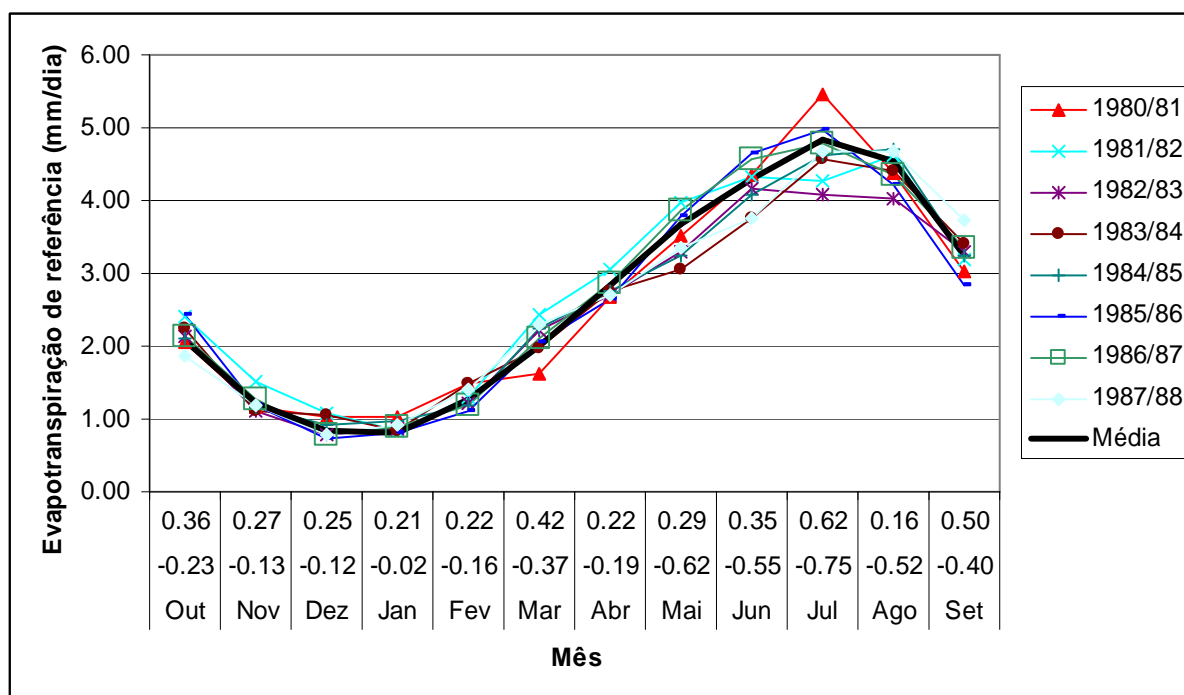


Fig. 6 – Evapotranspiração de referência mensal calculada para a estação climatológica 21B/07–Tapada da Ajuda (Lisboa). Por cima da indicação dos meses indica-se na linha de cima a maior diferença observada nos oito anos acima do valor médio e na linha de baixo a maior diferença observada nos oito anos abaixo do valor médio. Valor médio corresponde à série 1959/60-1987/88

O programa BALSEQ foi assim corrido para o período temporal de 1980-10-01 até 2002-09-30. Este período compreende desde anos muito húmidos a anos muito secos. A precipitação média dos 22 anos é de 670 mm/ano, a precipitação anual máxima registada nesse período foi de 1126 mm/ano e a mínima foi de 320 mm/ano. Considera-se que este período reflecte a variabilidade das precipitações e das recargas que ocorrem na região.

Os parâmetros *NC* e *AGUT* foram caracterizados a partir da informação da Carta de Solos e da Carta de Ocupação do Solo.

4.1.3 Caracterização dos parâmetros dependentes dos solos e da ocupação do solo

A área em estudo insere-se, na sua totalidade, na folha 431 à escala 1:25000. A carta dos solos respectiva, produzida pelo antigo S.R.O.A., não caracteriza os solos que ocorrem na área em estudo, por ser uma área urbana. Contudo, para o estudo em questão torna-se muito importante saber as características dos solos presentes, ou dos aterros, para que se possa fazer a corrida do balanço hídrico sequencial diário. Assim, procurou-se identificar os possíveis solos presentes a partir da

geologia da área de estudo e da relação que existe entre os solos cartografados em áreas vizinhas e a geologia dessas áreas vizinhas.

Com base nas cartas 1:25000 vizinhas, folhas 416, 417 e 430, e tendo em conta a sua relação com as formações geológicas que ocorrem, os solos da área em estudo podem simplificar-se nas seguintes classes (Fig. 7):

Aa – Solos Incipientes - Aluviosolos Modernos, não Calcários, de textura pesada – associados às Aluviões;

Cb – Barros Castanho-Avermelhados, não Calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas – associados aos Basaltos do Complexo Vulcânico de Lisboa;

Pcd – Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Litossolos, de outros calcários compactos – associados a Calcários e Calcários e margas.



Fig. 7 - Mapa de classes de solos interpretados a partir das formações geológicas que ocorrem na zona

Com base nos solos caracteriza-se o tipo de solo, necessário para a escolha do NC, e os parâmetros capacidade de campo (cc) e ponto de emurchecimento permanente (wp), necessários para a caracterização do AGUT (Quadro 5).

Quadro 5 – Parâmetros para a corrida do modelo BALSEQ dependentes dos solos

Solo	Tipo de solo [de acordo com Oliveira <i>et al.</i> , 1997]	Capacidade de campo (cc) [de acordo com Oliveira, 2004, 2006]	Ponto de emurchecimento permanente (wp) [de acordo com Oliveira, 2004, 2006]
Aa - Solos Incipientes - Aluviosolos Modernos, não Calcários, de textura pesada	D	0,36	0,24
Cb – Barros Castanho-Avermelhados, não Calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas	D	0,30	0,12
Pcd - Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Para-Litossolos, de outros calcários compactos.	D	0,31	0,10

A Fig. 8 apresenta a ocupação do solo de acordo com a cartografia de ocupação do solo *Corine Land Cover* de 2000, corrigida nalguns locais com base nas observações realizadas. Estão presentes 8 tipos de ocupação do solo, sendo o mais representado o tecido urbano descontínuo com cerca de 2,96 km², ocupando cerca de 27% da área de estudo (Quadro 6), e o tecido urbano contínuo com 2,78 km², ocupando cerca de 26% da área de estudo. O mesmo quadro mostra a caracterização da profundidade do solo sujeita a evapotranspiração (parâmetro *rp*), tomando como base as tabelas de Vermeulen *et al.* (1993), mas adaptando os valores para a situação em estudo.

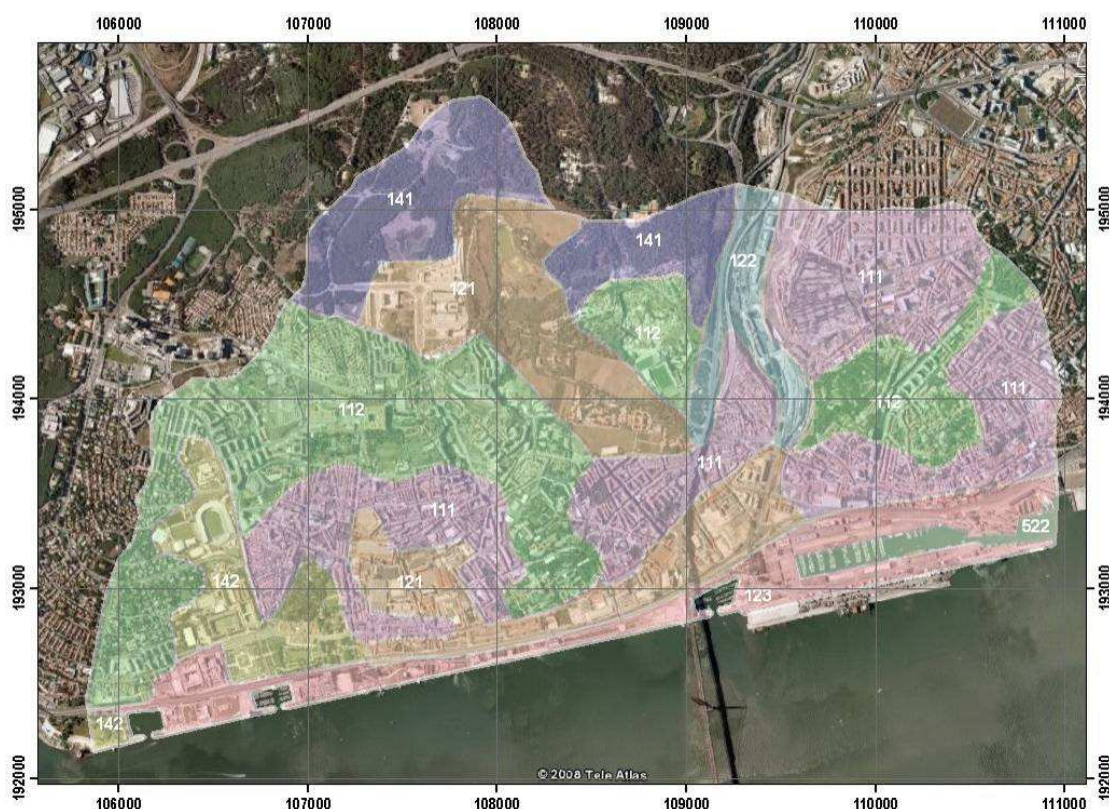


Fig. 8 – Mapa de ocupação do solo (adaptado de *Corine Land cover* de 2000 e Google Earth)

Quadro 6 – Classes de ocupação de solos (*Corine Land cover* de 2000)

Código Land cover	Descrição	Área (km ²)	Área (%)	rp (mm)	NC (sabendo que o solo é do tipo D)	% área impermeável
112	Tecido urbano descontínuo	2,96	27%	200	89	60
111	Tecido urbano contínuo	2,78	26%	200	94(***)	85
121(*)	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais(*) – polígono N	1,01	9%	1000	82	10
121(*)	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais(*) – polígono S	0,82	8%	200	94	80
141	Espaços urbanos verdes	1,08	10%	1000	82	0
142	Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação de tempos livres	0,65	6%	500	82	20
123	Zonas portuárias	0,98	9%	200	94(**)	85
122	Infraestruturas da rede de auto-estradas e rede ferroviária	0,38	4%	200	94	70
522	Estuários	0,14	1%	---	0	0

(*) O conhecimento do local e a observação da Fig. 8 levou a separar a área cartografada com código Land Cover (LC) 121 em dois polígonos. O polígono S que mantém as características da área com LC 121 e o polígono N com um comportamento semelhante ao da área com código Land Cover 141 – "Espaços urbanos verdes"

(**) Dado o grau de impermeabilização desta área, em vez de se considerar NC = 93 considerou-se NC = 94, igual ao do LC 122 – "Infraestruturas da rede de auto-estradas e rede ferroviária"

(***) Dada a ocorrência de alguns espaços abertos e/ou florestados, considerou-se o NC = 94 equivalente ao do LC 121

O Quadro 7 apresenta a síntese dos parâmetros *cc*, *wp*, *rp*, *NC* e *AGUT* para a corrida do modelo BALSEQ. Pelas características dos solos presentes, assume-se que o tipo de solo D é representativo da área. O parâmetro *NC* é determinado em função da ocupação do solo e do tipo de solo, de acordo com as tabelas de Vermeulen *et al.* (1993).

Quadro 7 – Caracterização dos parâmetros dependentes do tipo e ocupação do solo para a corrida do modelo BALSEQ

Combinação Ocupação do solo - Solo	Área (km ²)	Prof. raízes das plantas <i>rp</i> (mm)	Número característico do escoamento <i>NC</i>	Capacidade de campo <i>Cc</i>	Ponto de emurhecimento <i>wp</i>	AGUT = <i>rp*(cc-wp)</i>	% área impermeável
111 - Aa	0.0786	200	94	0,36	0,24	24	85
111 - Cb	1.0468	200	94	0,30	0,12	36	85
111 - Pcd	1.6508	200	94	0,31	0,10	42	85
112 - Aa	0.0341	200	89	0,36	0,24	24	60
112 - Cb	1.8416	200	89	0,30	0,12	36	60
112 - Pcd	1.0849	200	89	0,31	0,10	42	60
(N)121 - Cb	0.9429	1000	82	0,30	0,12	180	10
(N)121 - Pcd	0.0679	1000	82	0,31	0,10	210	10
(S)121 - Aa	0.4662	200	94	0,36	0,24	24	80
(S)121 - Cb	0.3140	200	94	0,30	0,12	36	80
(S)121 - Pcd	0.0353	200	94	0,31	0,10	42	80
122 - Aa	0.1537	200	94	0,36	0,24	24	70
122 - Cb	0.0206	200	94	0,30	0,12	36	70
122 - Pcd	0.2069	200	94	0,31	0,10	42	70
123 - Aa	0.9330	200	94	0,36	0,24	24	85
123 - Cb	0.0063	200	94	0,30	0,12	36	85
123 - Pcd	0.0387	200	94	0,31	0,10	42	85
141 - Cb	0.8780	1000	82	0,30	0,12	180	0
141 - Pcd	0.2039	1000	82	0,31	0,10	210	0
142 - Aa	0.1740	500	82	0,36	0,24	60	20
142 - Cb	0.2680	500	82	0,30	0,12	90	20
142 - Pcd	0.2047	500	82	0,31	0,10	105	20
522 - Aa	0.1433	--					

Nota: o solo é do Tipo D. (N) Polígono LC 121 Norte. (S) Polígono LC 121 Sul.

4.1.4 Resultados obtidos

Calculou-se a recarga anual média que ocorre na área ocupada pelas classes de solo-litologia conjugadas com o tipo de ocupação. Nas áreas de afloramento dos calcários do Cenomaniano superior, assumiu-se que, devido à existência de carsificação, o escoamento directo calculado pelo modelo se infiltra após percorrer uma pequena distância à superfície e, nestes casos, a recarga calculada pelo modelo foi acrescida do valor de escoamento directo.

Dado se estar na presença de áreas urbanas, com impermeabilização elevada do solo, afectou-se os valores finais fornecidos pelo BALSEQ por um factor que é a percentagem de área permeável. Na área impermeável considerou-se que toda a água precipitada era canalizada para as redes de águas pluviais ou escoada à superfície, não se infiltrando no terreno nem se evaporando.

O Quadro 4 apresenta a síntese dos resultados anuais médios obtidos pela corrida do modelo BALSEQ e a Fig. 9 mostra a distribuição espacial dos valores anuais médios de recarga. O Quadro 9 apresenta os valores mensais médios da recarga. No Anexo 1 apresentam-se os valores anuais

obtidos pelo modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ e no Anexo 2 discriminam-se os valores mensais de recarga.

A recarga na área considerada no presente estudo é de cerca 825 dam³/ano, que corresponde a uma recarga estimada de 78 mm/ano para uma precipitação média de 670 mm/ano, ou seja 12 % da precipitação. A recarga concentra-se preferencialmente nos quatro meses de Novembro a Fevereiro, período onde ocorre 88 % do total estimado de recarga.

Quadro 8 – Resultados anuais estimados de evapotranspiração real, escoamento directo e recarga (série de precipitação 1980-10-01 a 2002-09-30)

Combinação Ocupação do solo - Solo	Área (km ²)	NC	AGUT	% Área impermeabiliza da	Evapotranspiraça o real (mm/ano)	ED (mm/ano)	Recarga (mm/ano)
111-Aa	0,079	94	24	85	42	608	20
111-Cb	1,047	94	36	85	45	608	17
111-Pcd	0,757	94	42	85	46	608	16
(*)111-Pcd(C3c)	0,894	94	42	85	46	570	55
112-Aa	0,034	89	24	60	121	460	89
112-Cb	1,842	89	36	60	130	460	80
112-Pcd	0,161	89	42	60	134	460	76
(*)112-Pcd(C3c)	0,924	89	42	60	134	402	134
(N)121-Cb	0,943	82	180	10	417	128	124
(*)121-Pcd(C3c)	0,061	82	210	10	433	67	169
(N)121-Pcd	0,007	82	210	10	433	128	108
(S)121-Aa	0,466	94	24	80	56	588	26
(S)121-Cb	0,314	94	36	80	60	588	23
(*)121-Pcd(C3c)	0,035	94	42	80	61	536	73
122-Aa	0,154	94	24	70	84	546	39
122-Cb	0,021	94	36	70	89	546	35
122-Pcd	0,121	94	42	70	91	546	33
(*)122-Pcd(C3c)	0,086	94	42	70	91	469	110
123-Aa	0,933	94	24	85	42	608	20
123-Cb	0,006	94	36	85	45	608	17
(*)123-Pcd(C3c)	0,039	94	42	85	46	570	55
141-Cb	0,878	82	180	0	464	68	137
(*)141-Pcd(C3c)	0,159	82	210	0	482	0	188
141-Pcd	0,045	82	210	0	482	68	120
142-Aa	0,174	82	60	20	299	189	182
142-Cb	0,268	82	90	20	323	189	158
(*)142-Pcd(C3c)	0,205	82	105	20	333	134	203
Média	10,65				166	426	78

(*) sobre as formações dos calcários C3c.

(N) Polígono LC 121 Norte. (S) Polígono LC 121 Sul

Quadro 9 – Resultados mensais estimados de recarga (em mm, série de precipitação 1980-10-01 a 2002-09-30)

Combinação Ocupação do solo - Solo	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
111-Aa	1	4	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	20
111-Cb	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	17
111-Pcd	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	16
(*)111-Pcd(C3c)	5	11	12	10	7	3	3	2	0	0	0	2	55
112-Aa	5	19	24	19	13	3	3	2	0	0	0	1	89
112-Cb	3	17	23	18	13	3	2	1	0	0	0	0	80
112-Pcd	2	16	22	18	13	3	1	1	0	0	0	0	76
(*)112-Pcd(C3c)	9	28	34	25	19	5	5	4	0	0	0	2	134
(N)121-Cb	0	10	31	43	33	6	1	0	0	0	0	0	124
(*)121-Pcd(C3c)	7	22	34	48	39	8	5	4	0	0	0	2	169
(N)121-Pcd	0	7	22	41	32	6	1	0	0	0	0	0	108
(S)121-Aa	1	6	8	6	4	1	0	0	0	0	0	0	26
(S)121-Cb	0	4	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0	23
(*)121-Pcd(C3c)	6	14	17	13	10	3	4	3	0	0	0	2	73
122-Aa	1	8	12	10	6	1	1	0	0	0	0	0	39
122-Cb	1	7	11	9	6	1	0	0	0	0	0	0	35
122-Pcd	0	6	11	9	6	1	0	0	0	0	0	0	33
(*)122-Pcd(C3c)	9	21	25	19	15	5	6	5	1	0	0	3	110
123-Aa	1	4	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	20
123-Cb	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	17
(*)123-Pcd(C3c)	5	11	12	10	7	3	3	2	0	0	0	2	55
141-Cb	0	11	35	48	37	6	1	0	0	0	0	0	137
(*)141-Pcd(C3c)	8	25	38	53	43	9	5	4	0	0	0	2	188
141-Pcd	0	8	24	45	35	6	1	0	0	0	0	0	120
142-Aa	6	36	54	44	32	7	2	1	0	0	0	0	182
142-Cb	2	26	49	41	32	6	1	0	0	0	0	0	158
(*)142-Pcd(C3c)	7	36	58	47	37	8	4	3	0	0	0	2	203
Média	2	13	21	20	15	3	2	1	0	0	0	0	78

(*) sobre as formações dos calcários C3c.

(N) Polígono LC 121 Norte. (S) Polígono LC 121 Sul

4.2 Recarga por perdas na rede

Em áreas urbanizadas, as perdas de água dos sistemas das redes de abastecimento público representam uma recarga artificial induzida através da sua infiltração no solo contribuindo para o incremento da recarga natural das águas subterrâneas. Alegre *et al.* (2006) estimaram o valor de 15,8% de perdas reais no sistema da rede pública de distribuição de água na cidade de Lisboa no ano de 2003.

Para se estimar a recarga dos sistemas aquíferos com base nas perdas da rede de distribuição, estimou-se o número de habitantes por freguesia na área em estudo, a partir do número de habitantes por freguesia dos Censos 2001 (disponível em <http://alea-estp.ine.pt/asp/meio.asp>)

multiplicado pela relação entre as áreas habitadas das freguesias na área do modelo e as áreas habitadas das freguesias.

O volume de água distribuído pela rede foi calculado multiplicando o número de habitantes por freguesia na área em estudo pela estimativa do consumo doméstico médio per capita de 156L/dia/hab. Este valor foi calculado utilizando os dados publicados em http://insaar.inag.pt/docs/listagens_fixas/2005/Tabela_dados_2005_RDA.xls do volume total consumido e da população total servida no concelho de Lisboa, de acordo com o Inventário nacional de sistemas de abastecimento de água e de águas residuais (INSAAR), de 2005.

Finalmente, para a área habitada de cada freguesia dentro da área do modelo, estimou-se a recarga de águas subterrâneas por perdas na rede multiplicando o volume de água distribuído pela percentagem de perdas de água na rede pública de abastecimento de água (15,8 %).

O Quadro 10 apresenta os cálculos efectuados por freguesia, tendo-se chegado a um valor global de 68 mm/ano na área habitada dentro da área do modelo de escoamento, ou, se se considerar a totalidade da área do modelo, um valor equivalente de 54 mm/ano. A distribuição dos valores de recarga por perdas na rede de abastecimento pode ser observada na Fig. 10.

Quadro 10 – Resultados anuais estimados da recarga induzida pelas perdas de água na rede pública de distribuição de água

Freguesia	Área da freguesia na área do modelo (km ²)	Área habitada do modelo (km ²)	Relação entre a área habitada do modelo e a área habitada na freguesia (%)	Habitantes da freguesia na área do modelo	Consumo de água (m ³ /dia)	Perdas de água (m ³ /dia)	Recarga (mm/ano)
Alcântara	3,348	1,939	100%	14443	2253	356	67
Ajuda	2,109	1,425	88%	15833	2470	390	100
Santa Isabel	0,011	0,011	2%	133	21	3	109
Santo Condestável	0,524	0,524	52%	9099	1419	224	156
São Francisco Xavier	0,407	0,407	20%	1617	252	40	36
Lapa	0,504	0,504	73%	6333	988	156	113
Prazeres	1,435	1,435	100%	8492	1325	209	53
Santos-o-Velho	0,351	0,351	62%	2492	389	61	64
Santa Maria de Belém	1,963	1,963	60%	5828	909	144	27
<i>TOTAL</i>	10,651	8,558	65%	64269	10026	1584	68

Os cálculos apresentados poderão ainda ser actualizados na segunda fase do trabalho com informação proveniente da EPAL, que permite estimar, com base numa metodologia diferente, as perdas de água na rede de abastecimento público.

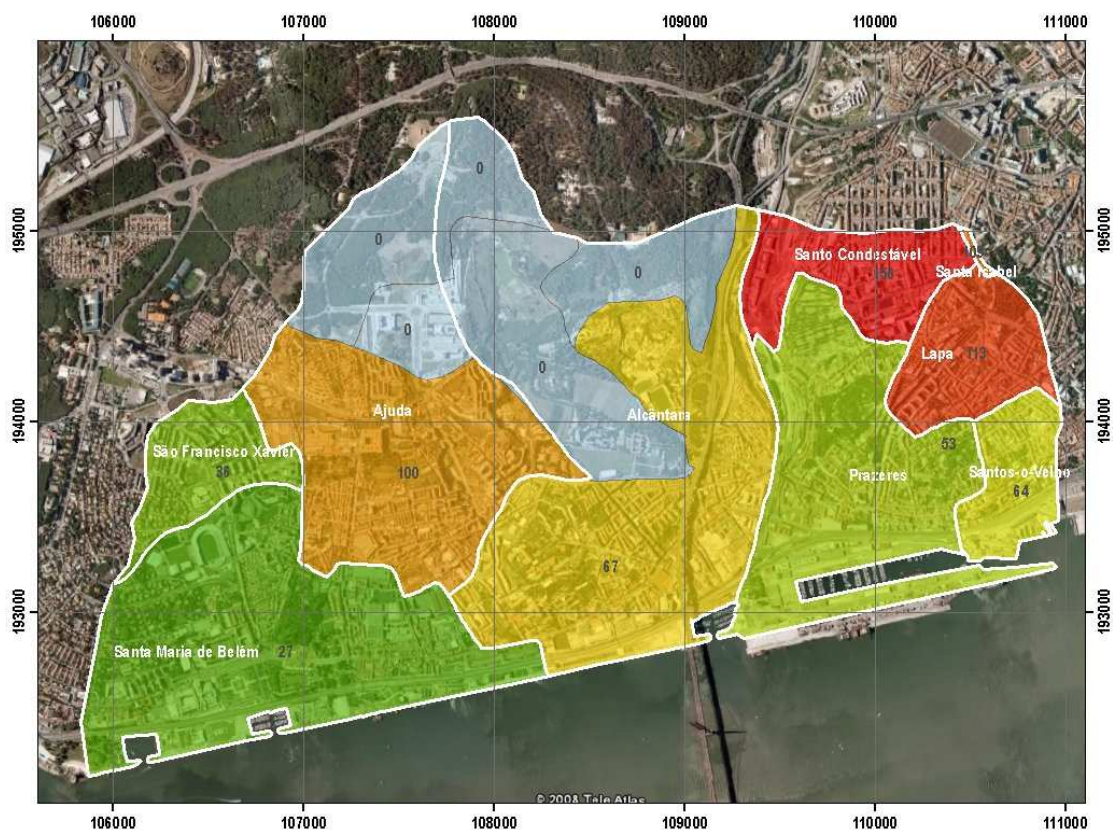


Fig. 10 – Recarga anual induzida pelas perdas de água na rede pública de distribuição de água (valores em mm/ano)

4.3 Recarga total

A soma das formas de recarga natural e por perdas de água na rede dá o valor de recarga das águas subterrâneas. Para a totalidade da área do modelo, a recarga foi estimada em 132 mm/ano. De acordo com a metodologia utilizada, assumiu-se que as perdas de água na rede se distribuíam uniformemente pela área habitada de cada freguesia, de acordo com o número de habitantes nela residentes. Por este motivo, a distribuição dos valores de recarga apresentada na Fig. 11 é uma aproximação à distribuição da recarga anual média. O processo de calibração do modelo de escoamento poderá levar a algumas alterações dos valores apresentados.

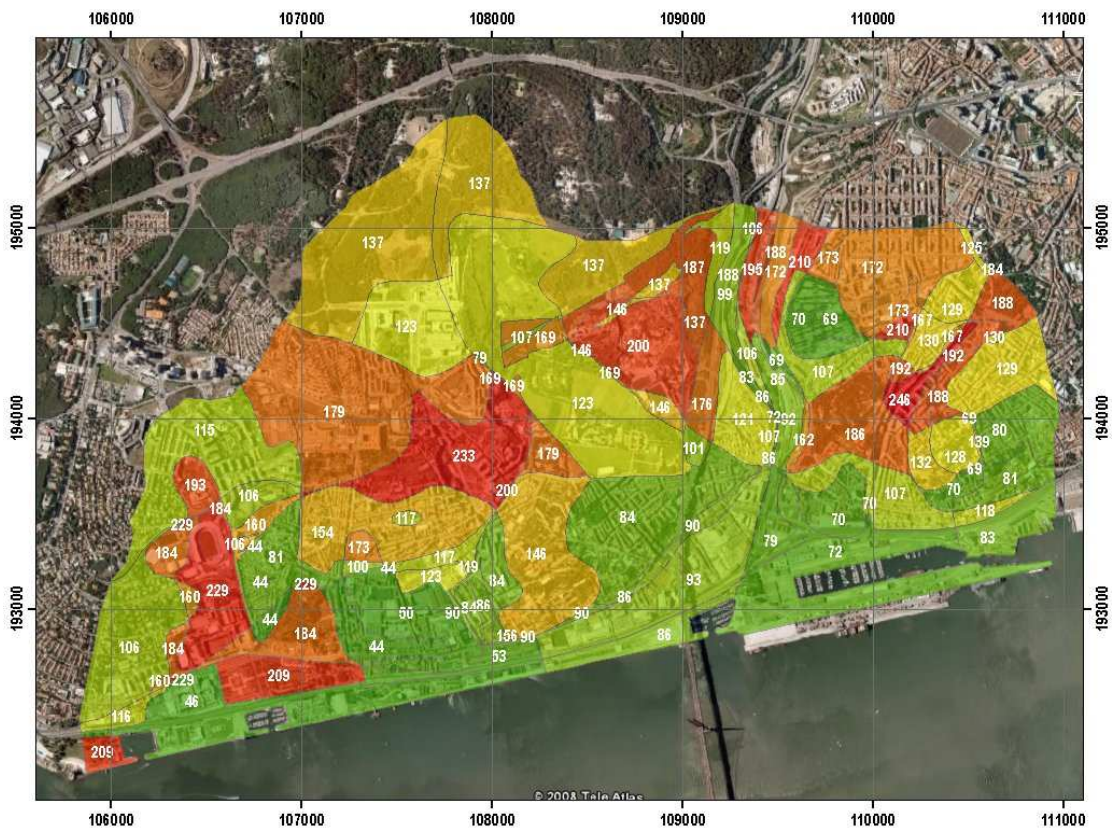


Fig. 11 – Recarga anual devida aos processos de recarga naturais e à recarga induzida pelas perdas de água na rede pública de distribuição de água (valores em mm/ano)

5 Monitorização dos níveis de água subterrânea e estudo do efeito da maré

5.1 Instalação dos piezómetros e monitorização

Com vista ao estudo do efeito da maré na zona de intervenção no vale de Alcântara foram instalados dez piezómetros novos, cujas características, localização com recurso a trabalho de topografia e logs das sondagens podem ser consultados em GSG (2008). Nos trabalhos desenvolvidos foram também utilizados mais sete piezómetros já existentes no local de estudo para medição de níveis piezométricos. Os piezómetros monitorizados podem ser visualizados na Fig. 12 e no Quadro 11.

Quadro 11 – Localização dos piezómetros para o estudo dos níveis de água subterrânea e do efeito da maré

Referência	Coordenada M (m)	Coordenada P (m)	Cota da boca (m)	Profundidade do piezómetro (m)	Intervalo da zona crepinada
P1	108716	192980	4,58	5,90	1,00 – 4,90
P2	108743	192914	3,87	11,75	1,75 – 10,25
P3	108768	192845	4,20	12,50	1,70 – 10,70
P4	109064	193364	2,97	19,00	2,00 – 17,00
P5	109159	193243	3,98	20,35	2,00 – 18,35
P6	109252	193116	4,11	20,58	2,08 – 18,58
P7	109556	193450	3,41	6,62	1,22 – 5,62
P112	109453	193305	4,00	22,00	---
P9	109474	193149	4,08	18,40	2,00 – 16,40
P10	109501	193000	4,13	13,56	1,46 – 11,96
P11	109371	193684	3,74	7,80	1,40 – 6,80
S1(*)	109430	193650	4,30	20,45	3,00 – 17,35
P119(*)	109345	193335	3,40		
P120(*)	109332	193312	4,00		
P112A(*)	109442	193340	3,50		
S118(*)	109398	193217	4,10		
S301A(*)	109487	193277	4,20		

(*) Localização e cotas aproximadas, determinadas a partir da implantação dos pontos no mapa

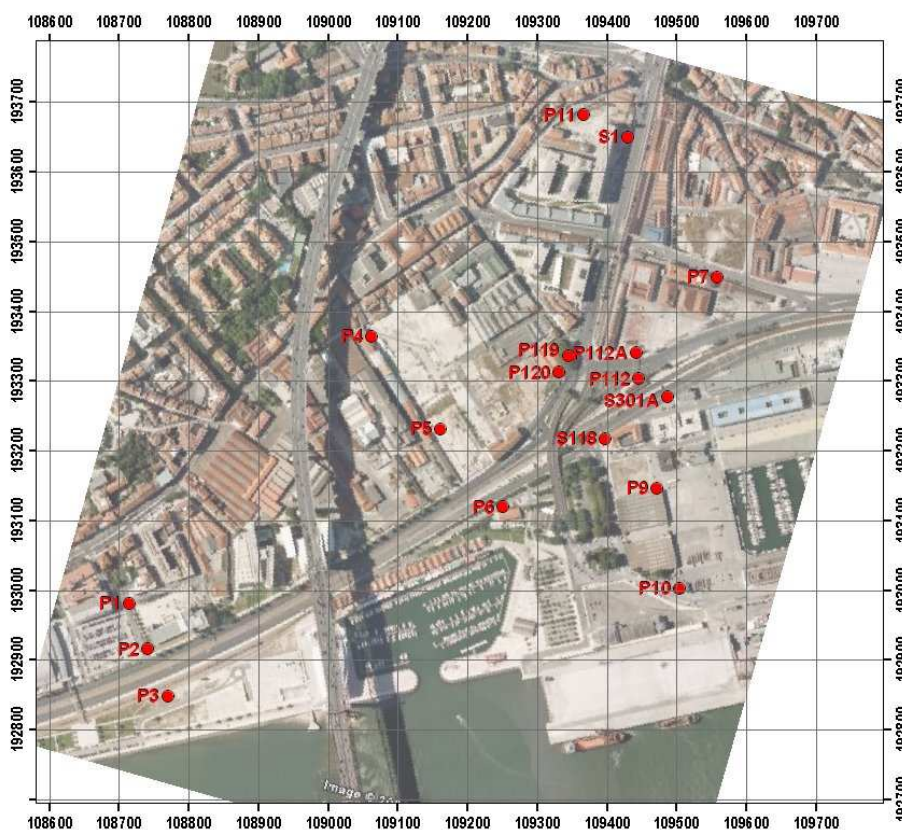


Fig. 12 – Localização dos piezómetros para o estudo dos níveis de água subterrânea e do efeito da maré

A informação sobre a previsão da hora e da altura das marés no Tejo proveio do Instituto Hidrográfico, informação disponibilizada em <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares-lisboa.php>. Por Alcântara se situar aproximadamente a meia distância, para a caracterização das alturas das marés e das respectivas horas, utilizou-se a média das estimativas das marés para o Terreiro do Paço e para Pedrouços².

Fez-se a monitorização dos níveis piezométricos durante um ciclo de maré no dia 21 de Agosto de 2008. Nesse dia, utilizando a média das previsões do Instituto Hidrográfico, a preia-mar foi às 6:41h, com altura da maré = 1.28 m acima do nível médio do mar (NMM), a baixa-mar seguinte foi às 12:23h, com altura de maré = -1.58 m NMM, e a preia-mar subsequente foi às 19:00h, com altura de maré = 1.39 m NMM. O ciclo da maré (uma subida inteira e uma descida inteira de marés) durou 12:19h. O tempo de descida foi de 05:42h e o tempo de subida foi de 06:37h.

² Os valores apresentados em <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares-lisboa.php> pelo Instituto Hidrográfico, foram determinados para o Porto Lisboa; análise harmónica efectuada a partir de um ano de observações maregráficas, de 30 de Agosto de 1999 a 30 de Agosto de 2000; marégrafo localizado no cais do Terreiro do Paço: Latitude 38° 42,69' N; Longitude 9° 07,44' W - Datum Europeu (ED50), alturas de marés referidas ao nível do zero hidrográfico: 2,20 m abaixo do nível médio adoptado.

A monitorização consistiu em seis medições em cada um dos primeiros 14 piezómetros representados no Quadro 11 (até ao P120), com espaçamentos médios aproximados de cerca de duas horas. Dois piezómetros (S1 e P119) ainda foram medidos uma sétima vez. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Fig. 13 a Fig. 18.

Os mesmos resultados, assim como outros determinados em campanhas anteriores, realizadas quer pelo LNEC quer pela equipa que construiu os piezómetros (GSG), são apresentados no Anexo 3.

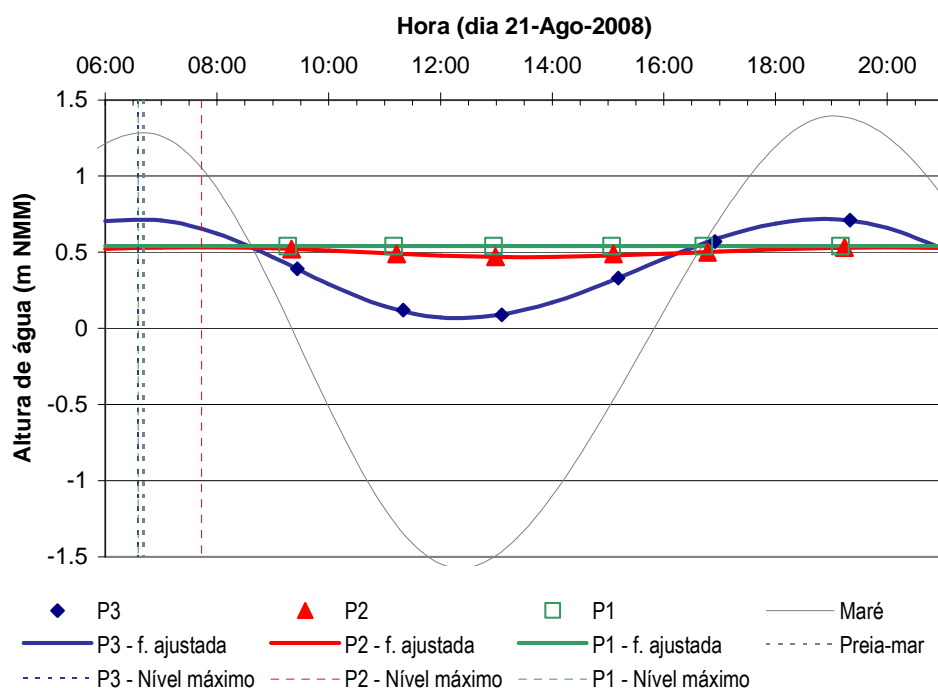


Fig. 13 – Evolução dos níveis nos piezómetros do perfil transversal ao rio Tejo P3-P2-P1, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

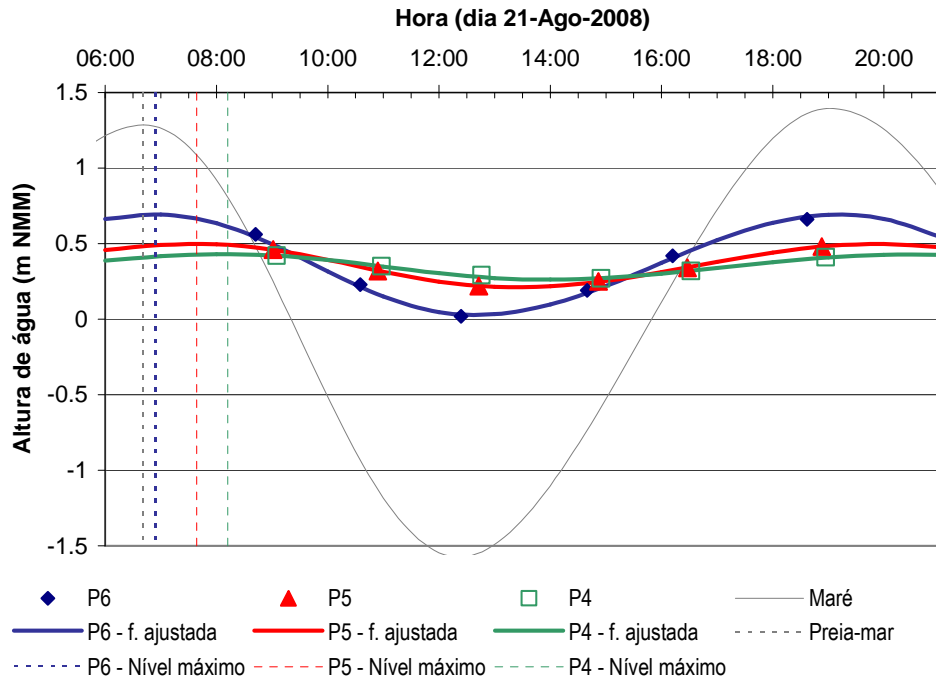


Fig. 14 – Evolução dos níveis nos piezômetros do perfil transversal ao rio Tejo P6-P5-P4, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

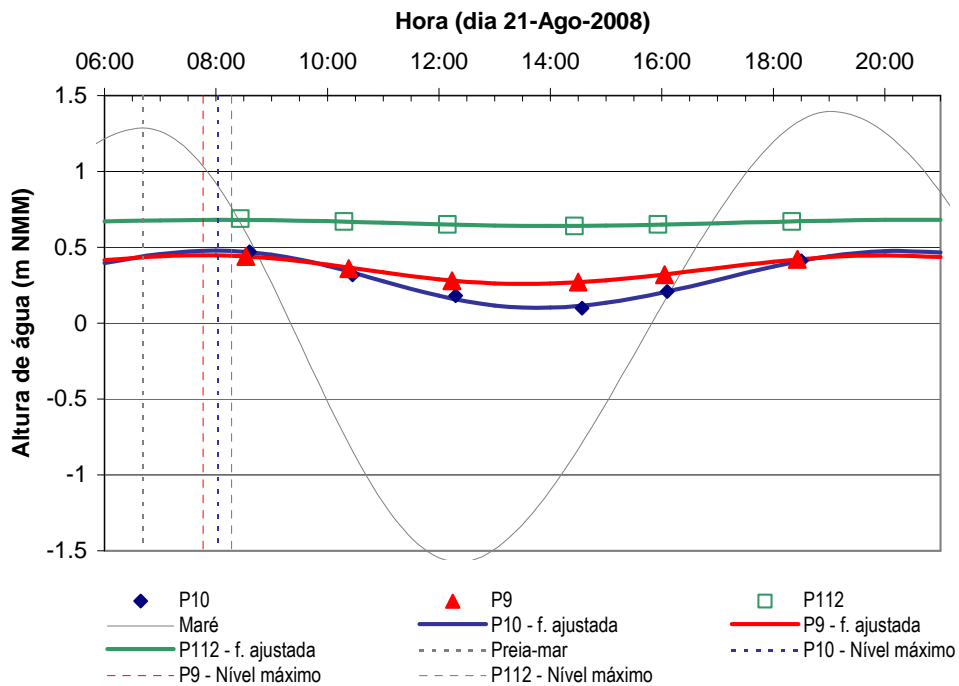


Fig. 15 – Evolução dos níveis nos piezômetros do perfil transversal ao rio Tejo P10-P9-P112, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

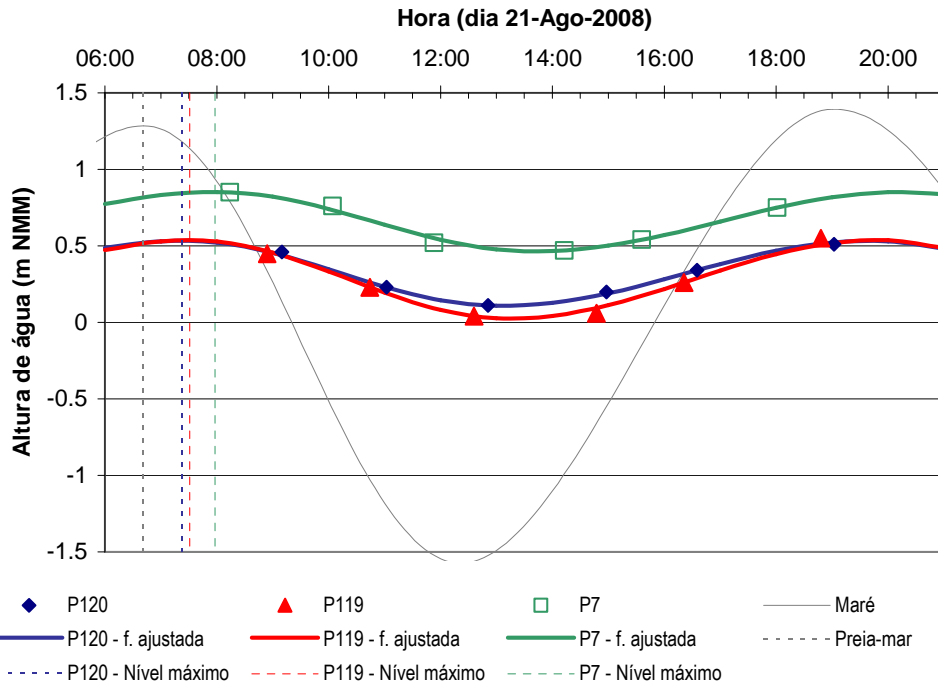


Fig. 16 – Evolução dos níveis nos piezômetros P120, P119 e P7, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registrados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

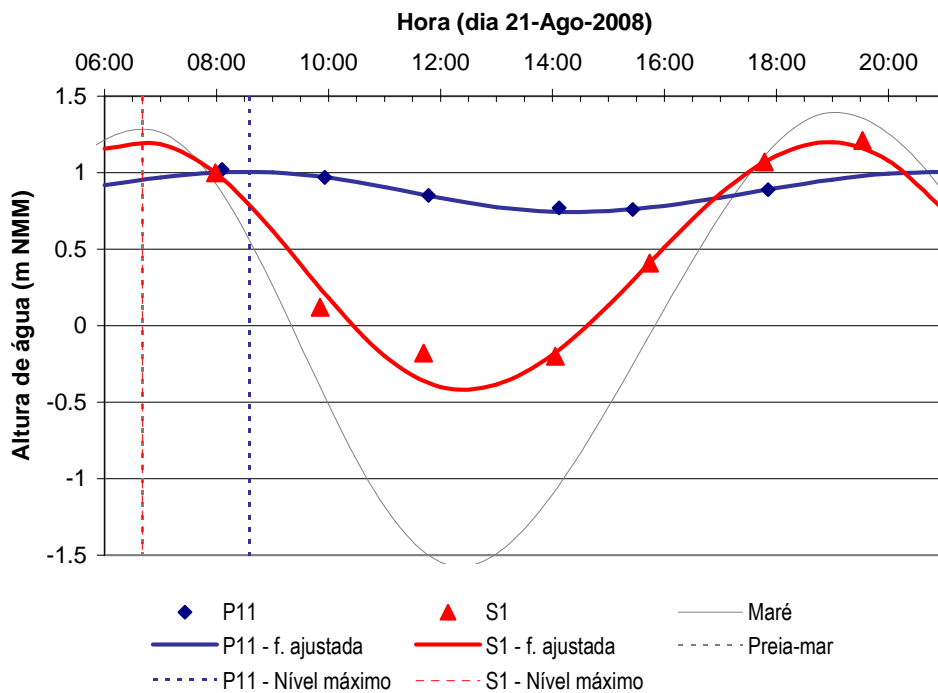


Fig. 17 – Evolução dos níveis nos piezômetros P11 e S1, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registrados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

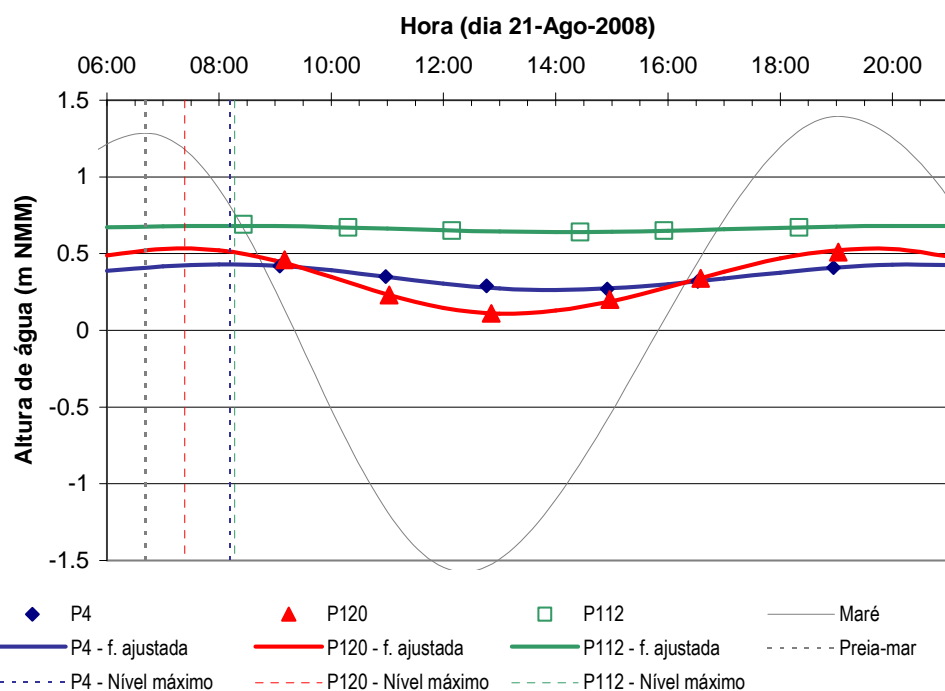


Fig. 18 – Evolução dos níveis nos piezômetros do perfil transversal ao vale de Alcântara P4-P120-P112, da maré, ajustamento das funções trigonométricas aos níveis registados, e identificação dos horários de ocorrência dos níveis mais altos

5.2 Interpretação dos resultados

Uma síntese, contendo os valores máximos, mínimos, médios e amplitude de valores, para a totalidade dos dados registados e para o dia 2008-08-21, por piezômetro, é apresentada no Quadro 12 (profundidades aos níveis piezométricos) e no Quadro 13 (níveis piezométricos).

Quadro 12 – Valores sintetizados da profundidade ao nível piezométrico

Referência	Todos os registos (m)				Só campanha de 2008-08-21 (m)			
	máximo	mínimo	média	amplitude	máximo	mínimo	média	amplitude
P1	4,04	4,00	4,02	0,04	4,04	4,04	4,04	0,00
P2	3,40	3,34	3,37	0,06	3,40	3,34	3,37	0,06
P3	4,11	3,49	3,86	0,62	4,11	3,49	3,83	0,62
P4	2,70	2,55	2,64	0,15	2,70	2,55	2,63	0,15
P5	3,76	3,50	3,66	0,26	3,76	3,50	3,64	0,26
P6	4,11	3,45	3,79	0,66	4,09	3,45	3,76	0,64
P7	3,35	2,56	2,87	0,79	2,94	2,56	2,76	0,38
P9	3,88	3,64	3,77	0,24	3,81	3,64	3,73	0,17
P10	4,03	3,65	3,86	0,38	4,03	3,66	3,85	0,37
P11	3,01	2,72	2,89	0,29	2,98	2,72	2,86	0,26
S1	4,50	2,91	3,82	1,59	4,50	3,09	3,81	1,41
P112	3,62	3,31	3,41	0,31	3,36	3,31	3,34	0,05
P119	3,36	2,81	3,11	0,55	3,36	2,81	3,09	0,55
P120	3,89	3,49	3,72	0,40	3,89	3,49	3,69	0,40
P112A	4,00	3,62	3,87	0,38				
S118	4,01	3,84	3,95	0,17				
S301A	3,86	3,71	3,81	0,15				

Quadro 13 – Valores sintetizados do nível piezométrico

Referência	Todos os registos (m)				Só campanha de 2008-08-21 (m)			
	mínimo	máximo	média	amplitude	mínimo	máximo	média	amplitude
P1	0,54	0,58	0,56	0,04	0,54	0,54	0,54	0,00
P2	0,47	0,53	0,50	0,06	0,47	0,53	0,50	0,06
P3	0,09	0,71	0,34	0,62	0,09	0,71	0,37	0,62
P4	0,27	0,42	0,33	0,15	0,27	0,42	0,34	0,15
P5	0,22	0,48	0,32	0,26	0,22	0,48	0,35	0,26
P6	0,00	0,66	0,32	0,66	0,02	0,66	0,35	0,64
P7	0,06	0,85	0,54	0,79	0,47	0,85	0,65	0,38
P9	0,20	0,44	0,31	0,24	0,27	0,44	0,35	0,17
P10	0,10	0,48	0,27	0,38	0,10	0,47	0,28	0,37
P11	0,73	1,02	0,85	0,29	0,76	1,02	0,88	0,26
S1(*)	-0,20	1,39	0,48	1,59	-0,20	1,21	0,49	1,41
P112	0,38	0,69	0,59	0,31	0,64	0,69	0,66	0,05
P119(*)	0,04	0,59	0,30	0,55	0,04	0,59	0,31	0,55
P120(*)	0,11	0,51	0,28	0,40	0,11	0,51	0,31	0,40
P112A(*)	-0,50	-0,12	-0,37	0,38				
S118(*)	0,09	0,26	0,15	0,17				
S301A(*)	0,34	0,49	0,39	0,15				

(*) Níveis piezométricos aproximados por as cotas da boca dos piezómetros serem aproximadas

Sobre cada série de registos obtida no dia 2008-08-21 procurou-se ajustar uma função trigonométrica aos níveis piezométricos, que se traduz pela equação:

$$np = \overline{np} + a_2 \cdot \cos \theta$$

$$\theta = \begin{cases} r(t-t_0, t_c)/t_{c1} \cdot \pi & \text{se } r(t-t_0, t_c) \leq t_{c1} \\ \{1 + r[t-(t_0+t_{c1}), t_c]/t_{c2}\} \cdot \pi & \text{se } r(t-t_0, t_c) > t_{c1} \end{cases}$$

onde np (L) é o nível piezométrico num instante t , \overline{np} (L) é o nível piezométrico médio, a_2 (L) é a semi-amplitude da variação do nível piezométrico, t_0 é o tempo (hora do dia) em que se regista o nível piezométrico mais elevado, $t_c = t_{c1} + t_{c2}$ é o tempo de um ciclo completo de subida e descida do nível piezométrico, t_{c1} é o tempo do período completo de descida do nível piezométrico, t_{c2} é o tempo do período completo de subida do nível piezométrico e $r(x,y)$ é uma função que representa o resto da divisão entre o primeiro e o segundo argumento (x e y , respectivamente)³. Nesta equação os tempos são expressos de uma forma decimal em relação a uma origem.⁴

De acordo com esta equação, se o tempo t coincide com o tempo em que o nível piezométrico está mais alto (t_0), a função \cos (co-seno) é 1 e np atinge o seu valor máximo; se o tempo t coincide

³ Ou seja, $r(t-t_0, t_c)$ representa o resto da divisão de $t-t_0$ por t_c

⁴ Por exemplo, se a origem for as 00:00h do dia 2008-08-21, às 12:00 do mesmo dia t pode ser expresso por 720 min ou 0,5 dia, e às 6:00h do dia seguinte, será $t = 1800$ min ou 1,25 dia.

com o final da descida do nível piezométrico, a função \cos assume o valor -1 e np atinge o seu valor mínimo; e se o tempo coincidir com metade dos períodos de subida ou de descida, a função \cos assume o valor 0 e np coincide com o nível piezométrico médio \overline{np} .

Em função dos dados provenientes da maré no dia 2008-08-21, são assumidos os valores: $t_c = 12:19h = 0.513194444$ d, $t_{c1} = 05:42h = 0.2375$ d e $t_{c2} = 06:37h = 0.2756944$ d. Os valores dos outros parâmetros da equação (\overline{np} , a_2 e t_0) são calculados pelo método da minimização das diferenças absolutas entre os valores medidos e os calculados pela equação. Os cálculos foram efectuados utilizando o programa SOLVER do Microsoft Office Excel 2003 (SP3).

Os valores obtidos estão, para cada piezómetro, representados no Quadro 14. As Fig. 13 a Fig. 18 mostram as curvas de ajustamento obtidas.

Quadro 14 – Parâmetros das curvas trigonométricas que traduzem os níveis piezométricos no dia 2008-08-21

Referência	Nível piezométrico médio, \overline{np} (m)	Semi-amplitude da variação, a_2 (m)	t_0 (dias desde as 00:00 do dia 2008-08-21)	$t_0 - 6:41$ (preia-mar) (hora:minuto)	Distância ao rio (R), doca (D) ou caneiro (C) (m)
P1	0,540	0,000	0,2745	-----	R217
P2	0,501	0,032	0,3219	01:02	R145
P3	0,392	0,326	0,2742	-00:06	R73
P4	0,346	0,084	0,3416	01:30	D354
P5	0,355	0,143	0,3185	00:57	D189
P6	0,360	0,333	0,2880	00:13	D60
P7	0,658	0,194	0,3319	01:17	D278 / C138
P9	0,353	0,094	0,3237	01:05	R327 / D104 / C138
P10	0,290	0,188	0,3347	01:20	R180 / D111 / C205
P11	0,875	0,131	0,3580	01:54	D635 / C92
S1	0,390	0,809	0,2781	00:00	D622 / C22
P112	0,661	0,021	0,3450	01:35	R488 / D194 / C73
P119	0,281	0,256	0,3132	00:50	D297 / C27
P120	0,321	0,212	0,3076	00:42	D265 / C33

$t_c = 12:19h = 0.513194444$ d, $t_{c1} = 05:42h = 0.2375$ d e $t_{c2} = 06:37h = 0.2756944$ d

Verifica-se que a semi-amplitude da variação do nível varia entre 0 cm no piezómetro P1, que é insensível ao efeito da maré, e 81 cm no piezómetro S1. A amplitude elevada deste piezómetro S1 justifica-se, por um lado, devido à sua proximidade com o caneiro de Alcântara e, por outro, devido ao efeito de barreira que é exercido pela parede de uma garagem que lhe fica adjacente. Os restantes piezómetros apresentam semi-amplitudes entre 2 cm e 33 cm, estando as oscilações maiores associadas à maior proximidade aos locais de saída de águas subterrâneas para o meio superficial (rio, doca ou caneiro).

Com base no parâmetro t_0 e na hora de ocorrência da preia-mar (que terá ocorrido às 6:41h), é possível calcular o atraso da reacção do nível piezométrico em relação à maré. O Quadro 14 também apresenta estes valores (obtidos a partir do ajustamento da função aos dados observados), que mostram que o atraso da reacção varia de piezómetro para piezómetro. O atraso maior ocorre nos piezómetros mais distantes dos locais de saída: P11, P112 e P4; os piezómetros mais próximos dos locais de saída (P3, P6 e S1) são os que reagem mais depressa, inclusivamente o P3 dá para os níveis piezométricos mais altos, tempos que antecedem o da preia-mar.

Com base nos valores apresentados fica claramente demonstrada a existência de efeito de maré nas águas subterrâneas na zona de construção dos túneis. A análise feita é utilizada para a definição do modelo conceptual, permite estimar gradientes hidráulicos, e fornece elementos para o modelo de escoamento subterrâneo.

Posteriormente à realização destes cálculos foram colocadas sondas para monitorização contínua dos níveis piezométricos nos seguintes piezómetros: P4, P5, P6 (permitindo estudar o perfil P4-P6) e S1. A informação obtida, que será utilizada na segunda fase deste Projecto, é apresentada graficamente no Anexo 4.

6 Modelo conceptual de escoamento

Em termos de formações geológicas que podem condicionar o escoamento subterrâneo na zona de construção dos túneis, consideram-se seis formações. Os "Calcários margosos e margas do "Belasiano"" são interpretados como formações muito pouco permeáveis constituindo a base de todo o complexo aquífero em análise. Quer seja à superfície quer seja subterraneamente, é expectável que haja escoamento para a ribeira de Alcântara, de água precipitada sobre estas formações.

Sobrejacentes, ocorrem as formações de "Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhados com *Neolobites vibrayeanus*", que são intersectadas pelo vale de Alcântara entre a estação de Alcântara-Terra e a antiga rotunda de Alcântara. Neste local estas formações podem descarregar para as aluviões do vale de Alcântara e/ou para o caneiro de Alcântara. A nível mais regional estas formações poderão escoar subterraneamente para sul (rio Tejo), podendo haver locais onde, no contacto com as formações sobrejacentes do "Complexo vulcânico de Lisboa", possa haver alguma descarga para estas formações. Estas formações recebem recarga directa da água da chuva ou da água que se perde da rede de abastecimento.

O "Complexo vulcânico de Lisboa" é também recarregado directamente pela água da chuva, e pela água que se perde da rede de abastecimento público. Regionalmente, pode também receber escoamento subterrâneo proveniente das formações subjacentes ou das "Camadas de Prazeres". A água deste Complexo escoar localmente na zona do vale de Alcântara para as aluviões e aterros do vale de Alcântara e, numa área mais alargada, para as aluviões e aterros paralelos ao rio Tejo, ou, regionalmente, em direcção ao rio Tejo, por baixo do leito do rio, que constitui também uma zona de descarga.

As "Camadas de Prazeres" não são intersectadas pelo vale de Alcântara, localizando-se na sua margem esquerda. A sua relação com todo o sistema hidrogeológico é através do escoamento subterrâneo para o "Complexo vulcânico de Lisboa", sobre o qual assentam. As "Camadas de Prazeres" são alimentadas pela água de recarga proveniente, quer da precipitação quer das perdas na rede de abastecimento.

Finalmente, as "Aluviões" e os "Aterros", que podem ser tratados em conjunto, dada a sua posição hidrogeomorfológica, baixa em altitude, encontram-se sobrejacentes às formações referidas anteriormente (excepto as "Camadas de Prazeres"). No conjunto "Aluviões" + "Aterros" podem-se

considerar várias camadas cuja extensão e espessura varia consoante o local. Estas formações, para além de receberem água por escoamento subterrâneo das formações sobre as quais assentam, recebem a água de recarga a partir da infiltração da água da chuva e das perdas da rede.

Refira-se que a recarga natural (infiltração da água da chuva) das diferentes formações é muito condicionada pela impermeabilização própria de uma área urbana, assumindo valores bastante reduzidos nas zonas mais densamente urbanizadas.

O nível piezométrico do conjunto "Aluviões" + "Aterros" está dependente das entradas de água e, principalmente, da descarga para o meio hídrico superficial. Os locais de descarga são o rio "aberto", as docas ou o caneiro de Alcântara. Outros possíveis locais de descarga são redes de drenagem subterrânea quando intersectam o nível freático. Ciclicamente mas pontualmente, estes locais de descarga também são locais de recarga a partir do meio hídrico superficial, quando a maré sobe. A distribuição espacial da superfície piezométrica é também condicionada pelas infraestruturas subterrâneas já existentes na área, nomeadamente as fundações de edifícios e os vários parques de estacionamento, cuja interacção será maior no caso de níveis piezométricos mais elevados.

7 Estudo do efeito de barragem mediante a aplicação expedita de formulações analíticas do escoamento subterrâneo

A introdução do túnel numa linha aproximadamente paralela ao rio Tejo vai provocar uma barreira ao escoamento subterrâneo natural para este rio.

O escoamento actual pode ser estimado mediante a consideração da condutividade hidráulica do meio, a espessura saturada e o gradiente hidráulico. Nas condições actuais, o gradiente hidráulico varia com a maré. De uma forma geral o escoamento subterrâneo faz-se para o rio, mas há períodos em que há entrada de água do rio Tejo para o interior do aquífero, em situações de maré-alta.

Tomando os dois perfis perpendiculares à linha de costa, onde se pode assumir que o escoamento se faz em direcção ao rio Tejo (P3-P2-P1) ou à doca (P6-P5-P4) é possível fazer uma aproximação do volume de água escoado. Como se pode observar pela forma das curvas representadas nas Fig. 13 e Fig. 14, o efeito da maré faz-se sentir em todos os piezómetros excepto no P1.

Para se fazer o cálculo do caudal escoado pelo aquífero e do caudal descarregado para o rio, utilizaram-se as curvas de marés e as curvas trigonométricas de ajustamento aos dados observados e fez-se o cálculo dos níveis piezométricos e da maré a cada hora durante um ciclo de maré. Para cada uma dessas horas estimou-se o caudal escoado por metro de largura fazendo:

$$Q = K \cdot e \cdot i$$

onde K é a condutividade hidráulica, e a espessura saturada e i o gradiente hidráulico. A espessura saturada é dada pela equação $e = h - z$, sendo z a cota da base das aluviões e h o nível piezométrico no local. O gradiente hidráulico é dado pela relação $i = dh / dx$, onde dx é a distância entre dois pontos e dh a diferença de cotas piezométricas nesses dois pontos. O cálculo do gradiente hidráulico foi feito considerando os vários piezómetros ou o rio. Por exemplo, o gradiente hidráulico entre os piezómetros P1 e P2 foi calculado pela equação $i = (h_{P1} - h_{P2}) / (d_{P1} - d_{P2})$ onde h_{Pi} representa o nível piezométrico medido no piezómetro Pi e d_{Pi} a distância de Pi ao rio.

Apresenta-se o cálculo dos caudais para o caso do perfil constituído pelos piezómetros P3-P1 (Quadro 15). Os valores positivos significam que o escoamento se faz em direcção ao rio e os negativos que o escoamento se faz em direcção ao interior. Estimou-se um caudal superior entre o

piezómetro P3 e o Rio (P3-RIO), que por sua vez é superior ao caudal entre P2 e P3 (P2-P3), que por sua vez é superior ao caudal entre os piezómetros P1 e P2 (P1-P2). Estes valores traduzem a recarga que ocorre entre estes locais. Entre os piezómetros P3-RIO e P2-P3 em cerca de 1/3 do ciclo de maré há uma inversão de fluxo (do rio para o interior), sendo o fluxo em direcção ao rio no tempo restante. Entre os piezómetros P1-P2 o efeito da maré não produz inversão de fluxo, pelo que o escoamento se faz sempre em direcção ao rio.

Quadro 15 – Cálculo dos caudais de água subterrânea para o rio Tejo a partir dos dados dos piezómetros P1, P2, P3 e rio Tejo

Hora	Nível de água (m)				Gradiente hidráulico (-)			Espessura saturada (m)			Caudal (l/d por m de largura)			
	Local	RIO	P3	P2	P1	P3-RIO	P2-P3	P1-P2	P3	P2	P1	P3-RIO (*)	P2-P3	P1-P2
06:00		1,20	0,71	0,52	0,54	-0,67%	-0,25%	0,02%	9,16	8,00	2,06	-532(*)	-189	11
07:00		1,26	0,71	0,53	0,54	-0,76%	-0,25%	0,01%	9,16	8,01	2,06	-601(*)	-184	6
08:00		0,92	0,62	0,53	0,54	-0,41%	-0,13%	0,01%	9,07	8,01	2,06	-324(*)	-93	5
09:00		0,27	0,47	0,52	0,54	0,27%	0,08%	0,02%	8,92	8,00	2,06	210(*)	57	9
10:00		-0,51	0,29	0,51	0,54	1,10%	0,30%	0,04%	8,74	7,99	2,06	828(*)	220	18
11:00		-1,18	0,14	0,49	0,54	1,81%	0,48%	0,06%	8,59	7,97	2,06	1346(*)	347	28
12:00		-1,54	0,07	0,48	0,54	2,21%	0,57%	0,09%	8,52	7,96	2,06	1627(*)	403	37
13:00		-1,51	0,09	0,47	0,54	2,19%	0,53%	0,10%	8,54	7,95	2,06	1614(*)	380	42
14:00		-1,16	0,17	0,47	0,54	1,82%	0,42%	0,10%	8,62	7,95	2,06	1356(*)	299	42
15:00		-0,57	0,30	0,48	0,54	1,20%	0,24%	0,09%	8,75	7,96	2,06	905(*)	176	38
16:00		0,12	0,46	0,49	0,54	0,45%	0,05%	0,07%	8,91	7,97	2,06	350(*)	35	30
17:00		0,77	0,59	0,50	0,54	-0,24%	-0,12%	0,05%	9,04	7,98	2,06	-189(*)	-92	21
Média		-0,16	0,38	0,50	0,54	0,75%	0,16%	0,06%	8,83	7,98	2,06	549(*)	113	24

Piezómetro	Altitude da boca (m)	Distância ao rio (m)	Profundidade da boca à base da formação aluviões + aterros (m)
P3	4,20	73	12,65
P2	3,87	145	11,35
P1	4,58	217	6,1

K (condutividade hidráulica) P1, P2 e P3 = 8,64 m/d (10^{-4} m/s)

(*) Pelos motivos expostos no texto, considera-se que estes valores não traduzem adequadamente os caudais entre o piezómetro e o rio.

Devido à hidrodinâmica do sistema subterrâneo, quando a maré desce, há saída de água do aquífero para o rio e, quando a maré sobe, há entrada de água do rio para o aquífero. É de esperar que quando o nível de água no rio desce, se forme uma superfície de exsudação (“seepage face”) ao longo da fronteira entre estes dois meios (aquífero e rio) materializada pela parede da margem do rio, fazendo com que o gradiente hidráulico entre o meio subterrâneo e o rio seja menor do que aquele que seria dado pela diferença de cotas de água entre os dois meios. Com base na monitorização feita não é possível determinar a altura desta superfície de exsudação. Para tal, seria necessário haver observações em piezómetros instalados muito próximos do rio.

Acresce também que, devido à oscilação da maré, o sistema nunca está em regime estacionário, que é uma condição essencial para a aplicação da fórmula anterior ($Q = K \cdot e \cdot i$). Utilizando os níveis de piezómetros tão distantes como aqueles que foram monitorizados, é necessário considerar também os efeitos das variações de armazenamento subterrâneo. Estas variações são muito importantes na zona entre os piezómetros mais próximos do rio (P3 e P6) e o rio, devido aos processos de esvaziamento do aquífero (quando a maré desce) e de enchimento do mesmo (quando a maré sobe).

Por estes motivos, os caudais estimados entre P3 e o rio são valores calculados por excesso. Considera-se que os volumes de água subterrânea escoados entre os piezómetros intermédios dos perfis podem constituir uma melhor primeira estimativa da descarga do meio subterrâneo para o rio, uma vez que há uma menor variação dos níveis piezométricos do aquífero, atenuando desta forma o efeito da variação do armazenamento. Tomando os piezómetros P3 e P2 estima-se um escoamento entre estes dois piezómetros de 113 l/d por m de largura durante um ciclo de 12 horas.

Com base nos valores obtidos procura-se inferir a influência do túnel nos níveis de água. A colocação do túnel, constituindo uma barreira impermeável, vai fazer variar o nível de água no sistema hidrogeológico. Considerando que a barreira impermeável tem uma altura de 7 m, e considerando os valores médios apresentados anteriormente para o piezómetro P3 (espessura saturada de 8,83 m e gradiente hidráulico de 0,16 % entre P3 e P2, condutividade hidráulica de 8,64 m/d, o que implica um caudal $Q = K \cdot e \cdot i$ de 122 l/d por m de largura – semelhante aos 113 l/d apresentado anteriormente), para que o caudal médio que passa em P3, localizado na zona de implementação do túnel, se mantenha, o nível piezométrico subirá para 0,55 m (ou seja subirá 0,17 m).

Este valor pode ser comprovado resolvendo a equação do caudal escoado por metro de largura, $Q = K \cdot e \cdot i$, em ordem ao nível piezométrico, com $K = 8,64$ m/d, $e = 2,00$ m (calculado por 8,83 m de espessura saturada anterior + (0,55 – 0,38) m de subida do nível – 7 m de espessura de zona impermeável), e $i = 0,71$ % (calculado fazendo [0,55 m de nível piezométrico em P3 – 0,34 m de nível piezométrico em Px] / 30 m de distância entre P3 e Px). Px é um ponto situado a 30 m de P3 em direcção ao rio, onde se assumiu que o nível piezométrico se mantinha constante (= 0,34 m) tendo este nível sido calculado a partir do nível piezométrico registado em P3 e utilizando o gradiente hidráulico de 0,16 % entre P3 e P2.

No caso da barreira impermeável ter 8 m ou 9 m, os níveis piezométricos passariam para 0,70 m (subida do nível piezométrico de 0,32 m) e 1,10 m (subida do nível piezométrico de 0,72 m), respectivamente.

Se se pretender que não haja perturbações do nível piezométrico no sistema aquífero, ou seja, que não haja oscilação do nível piezométrico, então é necessário garantir que a transmissividade do meio permaneça a mesma após a implementação do túnel. A transmissividade define-se pelo produto da condutividade hidráulica pela espessura de aquífero. Considerando a espessura média saturada do piezómetro P3 = 8,83 m, se se fizer uma barreira com 7 m de altura, a transmissividade passará de 8,83 m x 8,64 m/dia para (8,83 m – 7 m) x 8,64 m/dia. Para que o escoamento subterrâneo se mantenha, será então necessário substituir o material do aquífero que resta na zona da barreira por um material cuja condutividade hidráulica permita manter o mesmo escoamento, ou seja, $K_{\text{Novo material}} = K_{\text{actual}} \times \text{espessura saturada actual} / \text{espessura saturada nova}$, ou seja: $K_{\text{Novo material}} = 8,64 \text{ m/dia} \times 8,83 \text{ m} / (8,83 \text{ m} - 7 \text{ m}) = 41,7 \text{ m/dia}$.

Outras soluções passariam por colocar uma determinada espessura de material mais condutivo e manter à mesma uma parte do material do aquífero. Por exemplo, se se instalar uma caixa com 1 m de espessura, mantendo os restantes 0,83 m de material do aquífero, então a condutividade hidráulica do novo material a utilizar deverá obedecer à equação: $(K_{\text{actual}} \times \text{espessura nova do material do aquífero}) + (K_{\text{Novo material}} \times \text{espessura do novo material}) = (K_{\text{actual}} \times \text{espessura saturada actual})$; ou seja, para os valores apresentados, $K_{\text{Novo material}} = (8,64 \text{ m/dia} \times 8,83 \text{ m} - 8,64 \text{ m/dia} \times 0,83 \text{ m}) / 1,00 \text{ m} = 69,12 \text{ m/dia}$.

Os valores apresentados devem ser afectados de coeficientes de segurança, tanto na condutividade hidráulica dos materiais, como da sua dimensão à volta do túnel para evitar perdas de carga na passagem pelas zonas mais permeáveis.

Em relação ao perfil constituído pelos piezómetros P6-P4, pode-se utilizar um procedimento semelhante ao do perfil anterior, apresentando-se os caudais estimados por metro de largura no Quadro 16. Como referido a propósito do perfil anterior, também o escoamento entre o piezómetro P6 e o rio (P6-RIO) estará estimado por excesso devido à existência da superfície de exsudação ao longo da margem do rio e à variação do armazenamento subterrâneo nessa zona. Entre os piezómetros P5-P6 e P4-P5, estima-se um escoamento quase insignificante entre eles, o que poderá denotar baixo escoamento subterrâneo ou a existência de linhas de drenagem entre estes piezómetros.

Quadro 16 – Cálculo dos caudais de água subterrânea para o rio Tejo a partir dos dados dos piezómetros P4, P5, P6 e rio Tejo

Hora	Nível de água (m)				Gradiente hidráulico (-)			Espessura saturada (m)			Caudal (l/d por m de largura)			
	Local	RIO	P6	P5	P4	P6-RIO	P5-P6	P4-P5	P6	P5	P4	P6-RIO (*)	P5-P6	P4-P5
06:00		1,20	0,66	0,46	0,39	-0,89%	-0,16%	-0,04%	30,55	19,48	17,42	-2350(*)	-344	-66
07:00		1,26	0,69	0,49	0,42	-0,95%	-0,16%	-0,05%	30,58	19,51	17,45	-2514(*)	-337	-73
08:00		0,92	0,63	0,50	0,43	-0,48%	-0,11%	-0,04%	30,52	19,52	17,46	-1275(*)	-233	-64
09:00		0,27	0,50	0,46	0,42	0,38%	-0,03%	-0,02%	30,39	19,48	17,45	990(*)	-59	-37
10:00		-0,51	0,32	0,39	0,39	1,38%	0,06%	0,00%	30,21	19,41	17,42	3589(*)	128	-2
11:00		-1,18	0,15	0,32	0,35	2,22%	0,13%	0,02%	30,04	19,34	17,38	5749(*)	274	32
12:00		-1,54	0,05	0,25	0,30	2,65%	0,16%	0,03%	29,94	19,27	17,33	6850(*)	335	53
13:00		-1,51	0,03	0,21	0,27	2,57%	0,14%	0,04%	29,92	19,23	17,30	6656(*)	299	56
14:00		-1,16	0,10	0,22	0,26	2,09%	0,09%	0,03%	29,99	19,24	17,29	5426(*)	200	42
15:00		-0,57	0,22	0,25	0,27	1,32%	0,03%	0,01%	30,11	19,27	17,30	3427(*)	57	19
16:00		0,12	0,37	0,31	0,30	0,42%	-0,05%	-0,01%	30,26	19,33	17,33	1086(*)	-102	-10
17:00		0,77	0,52	0,38	0,34	-0,41%	-0,11%	-0,02%	30,41	19,40	17,37	-1084(*)	-242	-39
Média		-0,16	0,35	0,35	0,35	0,86%	0,00%	0,00%	30,24	19,37	17,38	2213(*)	-2	-7

Piezómetro	Altitude da boca (m)	Distância ao rio (m)	Profundidade da boca à base da formação aluviões + aterros (m)
P6	4,11	60	34
P5	3,98	189	23
P4	2,97	354	20

K (condutividade hidráulica) P4, P5 e P6 = 8,64 m/d (10^{-4} m/s)

(*) Pelos motivos expostos no texto, considera-se que estes valores não traduzem adequadamente os caudais entre o piezómetro e o rio.

Esta situação revela que há alguma complexidade nas direcções de escoamento subterrâneo, e que os aspectos a considerar na área do vale de Alcântara não podem ser analisados unidimensionalmente através de soluções analíticas, dada a existência de mais do que uma zona de drenagem do sistema aquífero. Por este motivo, os cálculos que se apresentaram constituem uma primeira iteração a este problema, e não se afigura vantajoso aprofundar estes cálculos.

O estudo de toda a hidrodinâmica do sistema aquífero bem como de hipóteses alternativas de colocação de material de condutividade hidráulica diversa será feito utilizando soluções numéricas. Estes aspectos serão abordados na segunda fase do trabalho, que incluirá a realização de um modelo numérico de escoamento subterrâneo de diferenças finitas.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil,
Setembro de 2008

VISTOS

J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas

Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente

AUTORIAS

Manuel Mendes Oliveira
Doutor em Hidrogeologia
Investigador Auxiliar

J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Doutor em Engenharia Civil
Investigador Coordenador com Habilitação

Malva Andrea Mancuso
Doutora em Hidrogeologia
Investigadora Auxiliar

Maria Emília Novo
Doutora em Hidrogeologia
Investigador Auxiliar

Maria José Henriques
Licenciada em Geologia Aplicada e do Ambiente
Técnica Superior de 2ª Classe

BIBLIOGRAFIA

Alegre, Helena; Coelho, S. T.; Almeida, M., C. e Vieira, P. (2006) – "Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição". Série Guias Técnicos, 328 pp. ISBN: 9789729935442, Editado conjuntamente pelo LNEC, IRAR e INAG em 2006.

Correia, F.N. (1983) – "Alguns Procedimentos Adaptados pelo Soil Conservation Service na Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas", in Seminário 290 "Contribuição para o Cálculo de Drenagem de Águas Pluviais em Zonas Urbanas". Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

GAPRES (2008) - "Ligação Desnivelada da Linha de Cascais e do Porto de Lisboa à Linha de Cintura - Alcântara -". Estudo Prévio; Volume 3 - Geologia e Geotecnia. Anexo 1 - Relatório Geotécnico Factual (refª 42/2008/05/GER - 1046). Gabinete de Serviços Geotécnicos.

GSG (2008) - "Ligação Desnivelada da Linha de Cascais e do Porto de Lisboa à Linha de Cintura", Relatório Factual (Definitivo) (REFª 67/2008/08/GER – 1080). Setembro 2008.

Henriques, M.J.; Fernandes, J.; Oliveira, M.M. (2007) – "Verificação das Disponibilidades de Água para o Funcionamento dos Jogos de Água e para a Rega dos Jardins e Pomares do Palácio Nacional de Queluz". Lisboa, Relatório LNEC 127/207 – NAS, pp. 50.

Lobo Ferreira, J.P.C. (1981) – "Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data". Proceedings of Euromech 143/2-4 Setp. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt e F.B.J. Barends). Também 1982, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória N° 582.

Mockus, V. (1972) – "Estimation of direct runoff from storm rainfall". National Engineering Handbook, Secção 4; Capítulo 10: <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/water/quality/common/neh630/4content.html> (em 2002-10-16).

Oliveira, M.M.; Moinante, M.J.; Lobo Ferreira, J.P. (1997) – "Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC". Relatório Final. Lisboa, LNEC, Relatório 60/97-GIAS, 535 pp.

Oliveira, M.M. (2004, 2006) – "Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação". Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

Oliveira, M.M.; Novo, M.E.; Moinante, M.J.; Lobo Ferreira, J.P.C. (2000) - "Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. 1ª Fase. Análise de Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 – Recursos Hídricos Subterrâneos. Tomo A – Caracterização Hidrogeológica". Relatório Interno. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa, Consultores para Estudos e Projectos, Lisboa 2000, pp. 379.

Pais, J.; Moniz, C.; Cabral, J.; Cardoso, J.L.; Legoinha, P.; Machado, S.; Morais, M.A.; Lourenço, C.; Ribeiro, M.L.; Henriques, P.; Falé, P. (2006) – "Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 24-D, Lisboa". Lisboa, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, pp. 74.

Pinto, C. (2003) – "Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Lisboa (Zona Ocidental); Estágio Profissionalizante". Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 190.

Ramalho, M.; Pais, J.; Rey, J.; Berthou, P. Y.; Alves, C.A.M.; Palácios, T.; Leal, N.; Kullberg, M.C. (1993) – "Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 34-A, Sintra". Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, pp. 77.

Subtil, A.R. (2003) – "Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Lisboa (Zona Oriental); Estágio Profissionalizante". Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 168.

Vermeulen, H.; Lobo Ferreira, J.P.; Oliveira, M.M. (1993) - "A method for Estimating Aquifer Recharge in DRASTIC Vulnerability Mapping". Comunicação apresentada ao seminário "Águas Subterrâneas e Ambiente", realizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH) em Lisboa.

ANEXOS

Anexo 1 – RECARGA ANUAL OBTIDA PELO MODELO BALSEQ POR ASSOCIAÇÃO DE SOLO-GEOLOGIA E OCUPAÇÃO DO SOLO

LC – Solo = 111 - Aa e 123 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	44	414	5
1981-1982	745	1008	43	673	26
1982-1983	384	911	38	342	6
1983-1984	913	933	48	834	31
1984-1985	1056	953	53	957	45
1985-1986	744	960	38	672	34
1986-1987	762	981	42	693	27
1987-1988	685	958	39	615	30
1988-1989	466	967	44	418	4
1989-1990	826	967	41	756	27
1990-1991	711	967	43	651	15
1991-1992	433	967	39	386	2
1992-1993	580	967	52	529	7
1993-1994	681	967	41	625	15
1994-1995	320	967	30	285	4
1995-1996	1126	967	51	1026	49
1996-1997	650	967	33	597	21
1997-1998	951	967	49	860	37
1998-1999	473	967	38	434	6
1999-2000	484	967	36	443	4
2000-2001	826	967	41	750	32
2001-2002	468	967	44	419	5
Média	670	964	42	608	20

LC – Solo = 122 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 94

Área impermeável: 70 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	89	365	11
1981-1982	745	1008	86	604	53
1982-1983	384	911	75	298	13
1983-1984	913	933	96	755	63
1984-1985	1056	953	106	859	90
1985-1986	744	960	76	600	69
1986-1987	762	981	85	624	53
1987-1988	685	958	79	546	60
1988-1989	466	967	87	370	8
1989-1990	826	967	82	688	54
1990-1991	711	967	86	593	31
1991-1992	433	967	78	344	5
1992-1993	580	967	104	470	15
1993-1994	681	967	82	569	30
1994-1995	320	967	61	250	9
1995-1996	1126	967	103	926	97
1996-1997	650	967	66	543	41
1997-1998	951	967	98	773	75
1998-1999	473	967	76	390	12
1999-2000	484	967	72	402	9
2000-2001	826	967	82	677	64
2001-2002	468	967	89	370	9
Média	670	964	84	546	39

LC – Solo = (S) 121 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 94

Área impermeável: 80 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	59	398	7
1981-1982	745	1008	57	650	35
1982-1983	384	911	50	328	9
1983-1984	913	933	64	808	42
1984-1985	1056	953	71	925	60
1985-1986	744	960	51	648	46
1986-1987	762	981	57	670	35
1987-1988	685	958	53	592	40
1988-1989	466	967	58	402	5
1989-1990	826	967	55	733	36
1990-1991	711	967	58	632	20
1991-1992	433	967	52	372	3
1992-1993	580	967	69	510	10
1993-1994	681	967	55	606	20
1994-1995	320	967	41	273	6
1995-1996	1126	967	68	993	65
1996-1997	650	967	44	579	27
1997-1998	951	967	65	831	50
1998-1999	473	967	51	420	8
1999-2000	484	967	48	429	6
2000-2001	826	967	55	725	43
2001-2002	468	967	59	403	6
Média	670	964	56	588	26

LC – Solo = 111 - Cb e 123 - Cb

AGUT = 36 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	48	414	2
1981-1982	745	1008	45	673	24
1982-1983	384	911	41	342	3
1983-1984	913	933	50	834	29
1984-1985	1056	953	56	957	42
1985-1986	744	960	40	672	33
1986-1987	762	981	45	693	24
1987-1988	685	958	41	615	28
1988-1989	466	967	46	418	1
1989-1990	826	967	44	756	24
1990-1991	711	967	45	651	14
1991-1992	433	967	41	386	0
1992-1993	580	967	55	529	4
1993-1994	681	967	44	625	11
1994-1995	320	967	33	285	1
1995-1996	1126	967	53	1026	47
1996-1997	650	967	35	597	18
1997-1998	951	967	51	860	35
1998-1999	473	967	40	434	4
1999-2000	484	967	39	443	2
2000-2001	826	967	43	750	30
2001-2002	468	967	48	419	1
Média	670	964	45	608	17

LC – Solo = (S) 121 - Cb
 AGUT = 36 mm; NC = 94
 Área impermeável: 80 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	64	398	2
1981-1982	745	1008	60	650	32
1982-1983	384	911	55	328	4
1983-1984	913	933	67	808	39
1984-1985	1056	953	75	925	57
1985-1986	744	960	53	648	43
1986-1987	762	981	59	670	33
1987-1988	685	958	55	592	38
1988-1989	466	967	62	402	2
1989-1990	826	967	58	733	33
1990-1991	711	967	60	632	18
1991-1992	433	967	55	372	1
1992-1993	580	967	74	510	5
1993-1994	681	967	59	606	15
1994-1995	320	967	45	273	2
1995-1996	1126	967	71	993	62
1996-1997	650	967	47	579	25
1997-1998	951	967	68	831	47
1998-1999	473	967	53	420	5
1999-2000	484	967	52	429	3
2000-2001	826	967	57	725	40
2001-2002	468	967	64	403	2
Média	670	964	60	588	23

LC – Solo = 122 - Cb
 AGUT = 36 mm; NC = 94
 Área impermeável: 70 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	96	365	4
1981-1982	745	1008	90	604	48
1982-1983	384	911	82	298	6
1983-1984	913	933	101	755	58
1984-1985	1056	953	112	859	85
1985-1986	744	960	79	600	65
1986-1987	762	981	89	624	49
1987-1988	685	958	82	546	57
1988-1989	466	967	93	370	3
1989-1990	826	967	87	688	49
1990-1991	711	967	90	593	27
1991-1992	433	967	82	344	1
1992-1993	580	967	111	470	7
1993-1994	681	967	89	569	23
1994-1995	320	967	67	250	3
1995-1996	1126	967	106	926	93
1996-1997	650	967	70	543	37
1997-1998	951	967	102	773	71
1998-1999	473	967	79	390	8
1999-2000	484	967	77	402	4
2000-2001	826	967	85	677	61
2001-2002	468	967	95	370	3
Média	670	964	89	546	35

LC – Solo = 111 - Pcd (C3c) e 123 - Pcd (C3c)
[CÁRSICO]
 AGUT = 42 mm; NC = 94
 Área impermeável: 85 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	49	395	20
1981-1982	745	1008	46	631	65
1982-1983	384	911	43	328	15
1983-1984	913	933	51	776	86
1984-1985	1056	953	57	897	101
1985-1986	744	960	41	633	71
1986-1987	762	981	45	648	69
1987-1988	685	958	42	582	61
1988-1989	466	967	47	396	23
1989-1990	826	967	44	700	79
1990-1991	711	967	46	603	61
1991-1992	433	967	42	363	22
1992-1993	580	967	57	500	31
1993-1994	681	967	45	579	57
1994-1995	320	967	34	272	14
1995-1996	1126	967	54	957	115
1996-1997	650	967	36	553	61
1997-1998	951	967	52	804	90
1998-1999	473	967	41	406	31
1999-2000	484	967	40	411	33
2000-2001	826	967	44	699	80
2001-2002	468	967	49	398	22
Média	670	964	46	570	55

LC – Solo = (S) 121 - Pcd (C3c) **[CÁRSICO]**
 AGUT = 42 mm; NC = 94
 Área impermeável: 80 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	66	371	27
1981-1982	745	1008	61	594	87
1982-1983	384	911	57	309	20
1983-1984	913	933	68	731	114
1984-1985	1056	953	76	845	135
1985-1986	744	960	54	595	95
1986-1987	762	981	61	610	92
1987-1988	685	958	56	548	81
1988-1989	466	967	63	372	30
1989-1990	826	967	59	659	106
1990-1991	711	967	61	568	81
1991-1992	433	967	55	342	30
1992-1993	580	967	76	471	42
1993-1994	681	967	60	545	76
1994-1995	320	967	46	256	18
1995-1996	1126	967	72	901	153
1996-1997	650	967	48	520	82
1997-1998	951	967	69	757	120
1998-1999	473	967	54	382	41
1999-2000	484	967	53	387	44
2000-2001	826	967	58	658	106
2001-2002	468	967	65	375	29
Média	670	964	61	536	73

LC – Solo = 122 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 70 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	99	325	41
1981-1982	745	1008	92	520	131
1982-1983	384	911	86	270	30
1983-1984	913	933	102	639	172
1984-1985	1056	953	114	739	203
1985-1986	744	960	81	521	142
1986-1987	762	981	91	533	138
1987-1988	685	958	84	479	121
1988-1989	466	967	95	326	45
1989-1990	826	967	89	577	158
1990-1991	711	967	92	497	121
1991-1992	433	967	83	299	45
1992-1993	580	967	114	412	63
1993-1994	681	967	91	477	114
1994-1995	320	967	69	224	27
1995-1996	1126	967	108	788	230
1996-1997	650	967	72	455	123
1997-1998	951	967	104	662	180
1998-1999	473	967	81	334	62
1999-2000	484	967	79	339	66
2000-2001	826	967	87	576	160
2001-2002	468	967	97	328	43
Média	670	964	91	469	110

LC – Solo = 111 - Pcd

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	49	414	0
1981-1982	745	1008	46	673	23
1982-1983	384	911	43	342	1
1983-1984	913	933	51	834	28
1984-1985	1056	953	57	957	42
1985-1986	744	960	41	672	32
1986-1987	762	981	45	693	24
1987-1988	685	958	42	615	27
1988-1989	466	967	47	418	0
1989-1990	826	967	44	756	24
1990-1991	711	967	46	651	13
1991-1992	433	967	42	386	0
1992-1993	580	967	57	529	2
1993-1994	681	967	45	625	11
1994-1995	320	967	34	285	0
1995-1996	1126	967	54	1026	46
1996-1997	650	967	36	597	18
1997-1998	951	967	52	860	35
1998-1999	473	967	41	434	3
1999-2000	484	967	40	443	1
2000-2001	826	967	44	750	29
2001-2002	468	967	49	419	0
Média	670	964	46	608	16

LC – Solo = 122 - Pcd

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 70 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	99	365	1
1981-1982	745	1008	92	604	47
1982-1983	384	911	86	298	2
1983-1984	913	933	102	755	56
1984-1985	1056	953	114	859	83
1985-1986	744	960	81	600	63
1986-1987	762	981	91	624	47
1987-1988	685	958	84	546	55
1988-1989	466	967	95	370	1
1989-1990	826	967	89	688	47
1990-1991	711	967	92	593	25
1991-1992	433	967	83	344	0
1992-1993	580	967	114	470	5
1993-1994	681	967	91	569	21
1994-1995	320	967	69	250	1
1995-1996	1126	967	108	926	92
1996-1997	650	967	72	543	35
1997-1998	951	967	104	773	69
1998-1999	473	967	81	390	6
1999-2000	484	967	79	402	2
2000-2001	826	967	87	677	59
2001-2002	468	967	97	370	1
Média	670	964	91	546	33

LC – Solo = 112 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 89

Área impermeável: 60 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	131	302	29
1981-1982	745	1008	120	505	113
1982-1983	384	911	107	255	32
1983-1984	913	933	135	646	131
1984-1985	1056	953	146	721	188
1985-1986	744	960	105	504	135
1986-1987	762	981	122	525	115
1987-1988	685	958	109	457	119
1988-1989	466	967	122	310	34
1989-1990	826	967	115	582	125
1990-1991	711	967	124	503	80
1991-1992	433	967	112	284	26
1992-1993	580	967	156	395	45
1993-1994	681	967	110	487	84
1994-1995	320	967	87	208	24
1995-1996	1126	967	142	779	205
1996-1997	650	967	100	459	91
1997-1998	951	967	143	648	151
1998-1999	473	967	118	330	31
1999-2000	484	967	111	343	34
2000-2001	826	967	117	569	133
2001-2002	468	967	123	307	39
Média	670	964	121	460	89

LC – Solo = **112 - Cb**
 AGUT = **36 mm**; NC = **89**
 Área impermeável: **60 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	140	302	19
1981-1982	745	1008	130	505	103
1982-1983	384	911	117	255	22
1983-1984	913	933	145	646	122
1984-1985	1056	953	158	721	177
1985-1986	744	960	115	504	126
1986-1987	762	981	132	525	105
1987-1988	685	958	113	457	114
1988-1989	466	967	134	310	22
1989-1990	826	967	127	582	113
1990-1991	711	967	129	503	75
1991-1992	433	967	125	284	13
1992-1993	580	967	170	395	31
1993-1994	681	967	122	487	73
1994-1995	320	967	97	208	14
1995-1996	1126	967	152	779	195
1996-1997	650	967	106	459	85
1997-1998	951	967	150	648	144
1998-1999	473	967	124	324	22
1999-2000	484	967	126	348	22
2000-2001	826	967	122	569	129
2001-2002	468	967	135	301	23
Média	670	964	130	460	80

LC – Solo = **112 - Pcd**
 AGUT = **42 mm**; NC = **89**
 Área impermeável: **60 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	145	302	14
1981-1982	745	1008	134	505	98
1982-1983	384	911	122	255	17
1983-1984	913	933	150	646	117
1984-1985	1056	953	163	721	172
1985-1986	744	960	118	504	123
1986-1987	762	981	136	525	101
1987-1988	685	958	116	457	112
1988-1989	466	967	139	310	18
1989-1990	826	967	132	582	108
1990-1991	711	967	132	503	73
1991-1992	433	967	130	284	9
1992-1993	580	967	175	395	26
1993-1994	681	967	126	487	68
1994-1995	320	967	101	208	11
1995-1996	1126	967	157	779	191
1996-1997	650	967	109	459	83
1997-1998	951	967	152	648	141
1998-1999	473	967	126	324	19
1999-2000	484	967	130	348	18
2000-2001	826	967	125	569	126
2001-2002	468	967	140	301	18
Média	670	964	134	460	76

LC – Solo = **112 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]**
 AGUT = **42 mm**; NC = **89**
 Área impermeável: **60 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	145	277	40
1981-1982	745	1008	134	443	161
1982-1983	384	911	122	236	36
1983-1984	913	933	150	548	216
1984-1985	1056	953	163	633	260
1985-1986	744	960	118	447	180
1986-1987	762	981	136	457	168
1987-1988	685	958	116	411	158
1988-1989	466	967	139	279	48
1989-1990	826	967	132	493	197
1990-1991	711	967	132	425	152
1991-1992	433	967	130	254	39
1992-1993	580	967	175	357	64
1993-1994	681	967	126	409	146
1994-1995	320	967	101	192	27
1995-1996	1126	967	157	676	294
1996-1997	650	967	109	390	151
1997-1998	951	967	152	565	224
1998-1999	473	967	126	282	62
1999-2000	484	967	130	298	69
2000-2001	826	967	125	492	203
2001-2002	468	967	140	276	44
Média	670	964	134	402	134

LC – Solo = **142 - Aa**
 AGUT = **60 mm**; NC = **82**
 Área impermeável: **20 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	328	110	22
1981-1982	745	1008	304	202	228
1982-1983	384	911	280	99	21
1983-1984	913	933	327	299	288
1984-1985	1056	953	352	287	416
1985-1986	744	960	253	198	279
1986-1987	762	981	311	215	249
1987-1988	685	958	249	180	256
1988-1989	466	967	302	118	46
1989-1990	826	967	300	254	267
1990-1991	711	967	283	223	197
1991-1992	433	967	297	107	17
1992-1993	580	967	400	147	54
1993-1994	681	967	282	223	177
1994-1995	320	967	219	77	24
1995-1996	1126	967	345	319	463
1996-1997	650	967	248	198	205
1997-1998	951	967	335	265	339
1998-1999	473	967	286	131	40
1999-2000	484	967	301	151	58
2000-2001	826	967	269	238	311
2001-2002	468	967	299	107	50
Média	670	964	299	189	182

LC – Solo = **142 - Cb**
 AGUT = **90 mm**; NC = **82**
 Área impermeável: **20 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	349	110	0
1981-1982	745	1008	330	202	202
1982-1983	384	911	301	99	0
1983-1984	913	933	351	299	264
1984-1985	1056	953	376	287	392
1985-1986	744	960	277	198	255
1986-1987	762	981	335	215	225
1987-1988	685	958	273	180	232
1988-1989	466	967	326	118	22
1989-1990	826	967	324	254	243
1990-1991	711	967	307	223	173
1991-1992	433	967	314	107	0
1992-1993	580	967	434	147	20
1993-1994	681	967	306	223	153
1994-1995	320	967	243	77	0
1995-1996	1126	967	378	319	430
1996-1997	650	967	272	198	181
1997-1998	951	967	359	265	315
1998-1999	473	967	310	131	16
1999-2000	484	967	325	151	34
2000-2001	826	967	293	238	287
2001-2002	468	967	323	107	26
Média	670	964	323	189	158

LC – Solo = **(N)121 - Cb**
 AGUT = **180 mm**; NC = **82**
 Área impermeável: **10 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	393	66	0
1981-1982	745	1008	452	136	146
1982-1983	384	911	339	61	0
1983-1984	913	933	476	222	216
1984-1985	1056	953	504	191	360
1985-1986	744	960	393	132	206
1986-1987	762	981	458	145	172
1987-1988	685	958	388	116	180
1988-1989	466	967	391	74	0
1989-1990	826	967	446	183	193
1990-1991	711	967	426	163	114
1991-1992	433	967	354	68	0
1992-1993	580	967	511	90	0
1993-1994	681	967	425	166	91
1994-1995	320	967	273	46	0
1995-1996	1126	967	506	218	402
1996-1997	650	967	387	141	122
1997-1998	951	967	485	180	273
1998-1999	473	967	367	91	0
1999-2000	484	967	405	106	0
2000-2001	826	967	411	166	242
2001-2002	468	967	393	64	0
Média	670	964	417	128	124

LC – Solo = **142 – Pcd (C3c) [CÁRSICO]**
 AGUT = **105 mm**; NC = **82**
 Área impermeável: **20 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	349	92	18
1981-1982	745	1008	342	147	245
1982-1983	384	911	301	80	19
1983-1984	913	933	363	183	368
1984-1985	1056	953	388	211	457
1985-1986	744	960	289	146	295
1986-1987	762	981	347	155	273
1987-1988	685	958	285	137	263
1988-1989	466	967	338	93	34
1989-1990	826	967	336	164	321
1990-1991	711	967	319	141	244
1991-1992	433	967	314	84	23
1992-1993	580	967	446	120	35
1993-1994	681	967	318	136	228
1994-1995	320	967	243	64	13
1995-1996	1126	967	390	225	511
1996-1997	650	967	284	130	236
1997-1998	951	967	371	188	380
1998-1999	473	967	322	92	44
1999-2000	484	967	337	102	71
2000-2001	826	967	305	164	349
2001-2002	468	967	335	91	30
Média	670	964	333	134	203

LC – Solo = **141 - Cb**
 AGUT = **180 mm**; NC = **82**
 Área impermeável: **0 %**

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	437	22	0
1981-1982	745	1008	502	69	163
1982-1983	384	911	377	23	0
1983-1984	913	933	529	145	240
1984-1985	1056	953	560	95	400
1985-1986	744	960	437	65	229
1986-1987	762	981	509	75	191
1987-1988	685	958	431	53	200
1988-1989	466	967	435	31	0
1989-1990	826	967	495	112	214
1990-1991	711	967	473	103	127
1991-1992	433	967	393	29	0
1992-1993	580	967	568	34	0
1993-1994	681	967	472	109	101
1994-1995	320	967	304	16	0
1995-1996	1126	967	562	117	447
1996-1997	650	967	430	85	136
1997-1998	951	967	539	96	304
1998-1999	473	967	408	50	0
1999-2000	484	967	450	61	0
2000-2001	826	967	457	93	269
2001-2002	468	967	436	20	0
Média	670	964	464	68	137

LC – Solo = (N)121 – Pcd (C3c) [CÁRSICO]
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 10 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	393	46	20
1981-1982	745	1008	479	73	182
1982-1983	384	911	339	40	21
1983-1984	913	933	503	91	319
1984-1985	1056	953	531	106	419
1985-1986	744	960	420	73	238
1986-1987	762	981	485	78	213
1987-1988	685	958	415	68	201
1988-1989	466	967	391	47	28
1989-1990	826	967	473	82	267
1990-1991	711	967	453	70	180
1991-1992	433	967	354	42	26
1992-1993	580	967	511	60	30
1993-1994	681	967	452	68	162
1994-1995	320	967	273	32	14
1995-1996	1126	967	533	113	480
1996-1997	650	967	414	65	171
1997-1998	951	967	512	94	333
1998-1999	473	967	367	46	45
1999-2000	484	967	405	51	55
2000-2001	826	967	438	82	299
2001-2002	468	967	393	46	18
Média	670	964	433	67	169

LC – Solo = (N)121 – Pcd
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 10 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	393	66	0
1981-1982	745	1008	479	136	119
1982-1983	384	911	339	61	0
1983-1984	913	933	503	222	189
1984-1985	1056	953	531	191	333
1985-1986	744	960	420	132	179
1986-1987	762	981	485	145	145
1987-1988	685	958	415	116	153
1988-1989	466	967	391	74	0
1989-1990	826	967	473	183	166
1990-1991	711	967	453	163	87
1991-1992	433	967	354	68	0
1992-1993	580	967	511	90	0
1993-1994	681	967	452	166	64
1994-1995	320	967	273	46	0
1995-1996	1126	967	533	218	375
1996-1997	650	967	414	141	95
1997-1998	951	967	512	180	246
1998-1999	473	967	367	91	0
1999-2000	484	967	405	106	0
2000-2001	826	967	438	166	215
2001-2002	468	967	393	64	0
Média	670	964	433	128	108

LC – Solo = 141 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 0 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	437	0	22
1981-1982	745	1008	532	0	202
1982-1983	384	911	377	0	23
1983-1984	913	933	559	0	355
1984-1985	1056	953	590	0	466
1985-1986	744	960	467	0	264
1986-1987	762	981	539	0	237
1987-1988	685	958	461	0	223
1988-1989	466	967	435	0	31
1989-1990	826	967	525	0	296
1990-1991	711	967	503	0	200
1991-1992	433	967	393	0	29
1992-1993	580	967	568	0	34
1993-1994	681	967	502	0	180
1994-1995	320	967	304	0	16
1995-1996	1126	967	592	0	534
1996-1997	650	967	460	0	190
1997-1998	951	967	569	0	370
1998-1999	473	967	408	0	50
1999-2000	484	967	450	0	61
2000-2001	826	967	487	0	332
2001-2002	468	967	436	0	20
Média	670	964	482	0	188

LC – Solo = 141 - Pcd
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 0 %

A.H.	PRC	ETP	ETR	ED	REC
1980-1981	464	971	437	22	0
1981-1982	745	1008	532	69	133
1982-1983	384	911	377	23	0
1983-1984	913	933	559	145	210
1984-1985	1056	953	590	95	370
1985-1986	744	960	467	65	199
1986-1987	762	981	539	75	161
1987-1988	685	958	461	53	170
1988-1989	466	967	435	31	0
1989-1990	826	967	525	112	184
1990-1991	711	967	503	103	97
1991-1992	433	967	393	29	0
1992-1993	580	967	568	34	0
1993-1994	681	967	502	109	71
1994-1995	320	967	304	16	0
1995-1996	1126	967	592	117	417
1996-1997	650	967	460	85	106
1997-1998	951	967	569	96	274
1998-1999	473	967	408	50	0
1999-2000	484	967	450	61	0
2000-2001	826	967	487	93	239
2001-2002	468	967	436	20	0
Média	670	964	482	68	120

**Anexo 2 – RECARGA MENSAL OBTIDA PELO MODELO BALSEQ
POR ASSOCIAÇÃO DE SOLO, GEOLOGIA, OCUPAÇÃO DO SOLO E
ÁREA IMPERMEÁVEL**

LC – Solo = 111 - Aa e 123 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	5
1981/82	0	0	14	9	4	0	0	0	0	0	0	0	26
1982/83	0	2	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	6
1983/84	0	22	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	31
1984/85	0	9	7	14	13	1	1	0	0	0	0	0	45
1985/86	0	4	10	7	13	0	0	0	0	0	0	0	34
1986/87	0	4	2	10	11	0	0	0	0	0	0	0	27
1987/88	1	3	13	6	7	0	0	0	0	0	0	0	30
1988/89	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
1989/90	0	8	16	2	1	0	0	1	0	0	0	0	27
1990/91	5	0	2	1	4	4	0	0	0	0	0	0	15
1991/92	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1992/93	0	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7
1993/94	4	5	0	1	4	0	0	1	0	0	0	0	15
1994/95	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
1995/96	0	7	12	25	4	2	0	0	0	0	0	0	49
1996/97	0	1	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	21
1997/98	1	19	10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	37
1998/99	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6
1999/00	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2000/01	0	0	16	11	3	2	0	0	0	0	0	0	32
2001/02	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	5
Média	1	4	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	20

LC – Solo = (S) 121 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 94

Área impermeável: 80 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	4	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	7
1981/82	0	0	18	12	5	0	0	0	0	0	0	0	35
1982/83	0	2	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0	9
1983/84	0	29	11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	42
1984/85	0	13	9	18	18	1	1	0	0	0	0	0	60
1985/86	0	6	13	10	17	0	0	0	0	0	0	0	46
1986/87	0	5	2	13	15	0	0	0	0	0	0	0	35
1987/88	1	4	18	8	9	0	0	0	0	0	0	0	40
1988/89	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
1989/90	0	10	21	2	1	0	0	1	0	0	0	0	36
1990/91	6	0	2	1	5	6	0	0	0	0	0	0	20
1991/92	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1992/93	0	0	6	0	1	0	0	3	0	0	0	0	10
1993/94	5	7	0	2	5	0	0	1	0	0	0	0	20
1994/95	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
1995/96	0	9	16	33	5	2	0	0	0	0	0	0	65
1996/97	0	1	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	27
1997/98	2	25	13	4	6	0	0	0	0	0	0	0	50
1998/99	0	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1999/00	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2000/01	0	0	21	15	4	2	0	0	0	0	0	0	43
2001/02	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	6
Média	1	6	8	6	4	1	0	0	0	0	0	0	26

LC – Solo = 122 - Aa
 AGUT = 24 mm; NC = 94
 Área impermeável: 70 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	6	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	11
1981/82	0	0	27	18	7	0	1	0	0	0	0	0	53
1982/83	0	3	4	0	0	0	4	1	0	0	0	0	13
1983/84	0	43	17	1	0	1	1	0	0	0	0	0	63
1984/85	0	19	14	27	27	2	2	0	0	0	0	0	90
1985/86	0	9	19	15	26	0	0	0	0	0	0	0	69
1986/87	1	8	3	19	22	0	0	0	0	0	0	0	53
1987/88	1	7	27	12	14	0	0	0	0	0	0	0	60
1988/89	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8
1989/90	0	15	32	3	2	0	0	1	0	0	0	0	54
1990/91	10	0	4	1	7	9	0	0	0	0	0	0	31
1991/92	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5
1992/93	0	0	9	0	1	0	0	5	0	0	0	0	15
1993/94	7	10	0	3	8	0	0	1	0	0	0	0	30
1994/95	0	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	9
1995/96	0	13	24	49	7	3	0	0	0	0	0	0	97
1996/97	0	1	23	17	0	0	0	0	0	0	0	0	41
1997/98	2	37	20	6	9	0	0	0	0	0	0	0	75
1998/99	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	12
1999/00	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
2000/01	0	0	32	23	6	3	0	0	0	0	0	0	64
2001/02	1	0	0	4	0	5	0	0	0	0	0	0	9
Média	1	8	12	10	6	1	1	0	0	0	0	0	39

LC – Solo = 111 - Cb e 123 - Cb
 AGUT = 36 mm; NC = 94
 Área impermeável: 85 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
1981/82	0	0	12	9	4	0	0	0	0	0	0	0	24
1982/83	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
1983/84	0	20	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	29
1984/85	0	8	7	14	13	1	0	0	0	0	0	0	42
1985/86	0	2	10	7	13	0	0	0	0	0	0	0	33
1986/87	0	2	2	10	11	0	0	0	0	0	0	0	24
1987/88	0	2	13	6	7	0	0	0	0	0	0	0	28
1988/89	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1989/90	0	6	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24
1990/91	3	0	2	1	4	4	0	0	0	0	0	0	14
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
1993/94	2	5	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	11
1994/95	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1995/96	0	5	12	25	4	2	0	0	0	0	0	0	47
1996/97	0	0	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	18
1997/98	0	18	10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	35
1998/99	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
1999/00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2000/01	0	0	14	11	3	2	0	0	0	0	0	0	30
2001/02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Média	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	17

LC – Solo = (S) 121 - Cb
 AGUT = 36 mm; NC = 94
 Área impermeável: 80 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
1981/82	0	0	16	12	5	0	0	0	0	0	0	0	32
1982/83	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
1983/84	0	27	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	39
1984/85	0	10	9	18	18	1	0	0	0	0	0	0	57
1985/86	0	3	13	10	17	0	0	0	0	0	0	0	43
1986/87	0	3	2	13	15	0	0	0	0	0	0	0	33
1987/88	0	3	18	8	9	0	0	0	0	0	0	0	38
1988/89	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1989/90	0	8	21	2	1	0	0	0	0	0	0	0	33
1990/91	4	0	2	1	5	6	0	0	0	0	0	0	18
1991/92	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1992/93	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5
1993/94	3	7	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	15
1994/95	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1995/96	0	7	16	33	5	2	0	0	0	0	0	0	62
1996/97	0	0	13	11	0	0	0	0	0	0	0	0	25
1997/98	0	24	13	4	6	0	0	0	0	0	0	0	47
1998/99	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
1999/00	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2000/01	0	0	19	15	4	2	0	0	0	0	0	0	40
2001/02	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Média	0	4	7	6	4	1	0	0	0	0	0	0	23

LC – Solo = 122 - Cb
 AGUT = 36 mm; NC = 94
 Área impermeável: 70 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
1981/82	0	0	24	18	7	0	0	0	0	0	0	0	48
1982/83	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	6
1983/84	0	40	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	58
1984/85	0	15	14	27	27	2	0	0	0	0	0	0	85
1985/86	0	5	19	15	26	0	0	0	0	0	0	0	65
1986/87	0	4	3	19	22	0	0	0	0	0	0	0	49
1987/88	0	4	27	12	14	0	0	0	0	0	0	0	57
1988/89	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1989/90	0	12	32	3	2	0	0	0	0	0	0	0	49
1990/91	6	0	4	1	7	9	0	0	0	0	0	0	27
1991/92	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1992/93	0	0	6	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
1993/94	4	10	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	23
1994/95	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1995/96	0	10	24	49	7	3	0	0	0	0	0	0	93
1996/97	0	0	20	17	0	0	0	0	0	0	0	0	37
1997/98	0	36	20	6	9	0	0	0	0	0	0	0	71
1998/99	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1999/00	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2000/01	0	0	29	23	6	3	0	0	0	0	0	0	61
2001/02	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Média	1	7	11	9	6	1	0	0	0	0	0	0	35

LC – Solo = 111 - Pcd (C3c) e 123 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	2	4	0	0	1	4	6	1	0	0	0	2	20
1981/82	2	0	30	15	8	1	6	0	0	0	0	3	65
1982/83	0	7	2	0	1	0	4	1	0	0	0	0	15
1983/84	2	56	18	1	1	2	3	2	1	0	0	0	86
1984/85	4	15	10	33	25	2	10	2	0	0	0	0	101
1985/86	0	13	20	10	19	0	1	1	0	0	0	7	71
1986/87	6	8	5	19	23	3	1	0	0	0	2	1	69
1987/88	3	5	23	10	17	0	1	0	0	2	0	0	61
1988/89	0	11	0	2	2	2	3	2	0	0	0	0	23
1989/90	6	18	38	3	1	1	5	7	0	0	0	0	79
1990/91	18	1	4	2	16	16	1	0	0	0	0	2	61
1991/92	3	1	3	4	1	1	5	2	0	0	0	3	22
1992/93	5	0	5	1	3	4	4	6	0	0	0	3	31
1993/94	16	18	0	5	12	0	0	5	0	0	0	0	57
1994/95	1	4	0	1	5	1	1	0	0	0	0	0	14
1995/96	3	16	25	45	9	4	0	11	0	0	0	1	115
1996/97	1	3	29	18	0	0	2	4	3	0	0	0	61
1997/98	8	38	18	6	10	1	1	7	0	0	0	1	90
1998/99	1	2	6	7	0	4	2	1	0	0	0	9	31
1999/00	15	3	2	1	2	1	9	0	0	0	0	0	33
2000/01	1	7	36	24	5	4	0	1	1	0	0	1	80
2001/02	6	0	1	4	2	5	1	0	0	0	0	3	22
Média	5	11	12	10	7	3	3	2	0	0	0	2	55

LC – Solo = (S) 121 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 80 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	2	5	0	1	2	5	8	2	0	0	0	2	27
1981/82	3	0	40	20	10	1	8	0	0	0	0	4	87
1982/83	0	10	2	0	1	0	5	2	0	0	0	0	20
1983/84	2	75	23	2	1	3	4	3	1	0	0	0	114
1984/85	6	21	13	44	33	3	14	3	0	0	0	0	135
1985/86	0	17	27	13	26	0	1	1	0	0	0	9	95
1986/87	8	11	7	25	31	5	2	0	0	0	2	1	92
1987/88	4	7	30	13	23	0	1	0	0	2	0	0	81
1988/89	0	14	0	3	3	3	4	3	0	0	0	0	30
1989/90	8	24	50	3	2	2	7	9	0	0	0	0	106
1990/91	24	1	5	2	22	21	2	0	0	0	0	3	81
1991/92	4	2	4	5	1	1	6	3	0	0	0	4	30
1992/93	7	1	6	2	4	5	5	8	0	0	0	4	42
1993/94	21	25	0	7	16	0	0	7	0	0	0	0	76
1994/95	2	5	1	1	7	1	1	0	0	0	0	0	18
1995/96	5	22	33	59	12	6	0	15	0	0	0	2	153
1996/97	1	4	39	25	0	0	2	6	5	1	0	0	82
1997/98	10	51	25	8	13	1	2	9	0	0	0	2	120
1998/99	1	2	8	9	0	5	2	1	0	0	1	11	41
1999/00	20	4	3	1	2	1	12	0	0	0	0	0	44
2000/01	2	9	48	32	6	6	0	1	1	0	0	2	106
2001/02	8	0	1	6	2	6	1	0	0	0	0	3	29
Média	6	14	17	13	10	3	4	3	0	0	0	2	73

LC – Solo = 122 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 70 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	4	7	0	1	3	7	12	2	0	0	0	3	41
1981/82	5	0	60	30	16	1	13	0	0	0	0	6	131
1982/83	0	15	3	0	1	0	7	3	1	0	0	0	30
1983/84	3	113	35	3	1	4	6	4	2	0	0	0	172
1984/85	9	31	19	66	50	4	20	4	0	0	0	0	203
1985/86	0	25	41	20	39	1	2	1	0	0	0	14	142
1986/87	12	16	11	37	47	7	2	0	0	0	3	2	138
1987/88	6	11	46	20	35	0	1	0	0	3	0	0	121
1988/89	0	22	0	5	4	4	6	4	0	0	0	0	45
1989/90	12	35	76	5	2	3	11	14	0	0	0	1	158
1990/91	37	2	7	3	32	32	3	0	0	0	0	5	121
1991/92	5	3	7	7	2	1	9	5	0	0	0	6	45
1992/93	10	1	9	3	6	7	7	13	0	0	0	6	63
1993/94	31	37	0	10	24	0	0	10	0	0	0	0	114
1994/95	3	8	1	1	10	2	1	1	0	0	0	1	27
1995/96	7	32	50	89	18	9	0	22	0	0	0	3	230
1996/97	1	7	58	37	0	0	4	9	7	1	0	0	123
1997/98	15	76	37	11	20	2	3	14	0	0	0	2	180
1998/99	1	4	12	14	0	7	3	1	0	1	1	17	62
1999/00	30	7	4	2	3	1	19	0	0	0	0	0	66
2000/01	2	14	72	48	9	9	0	2	1	0	0	3	160
2001/02	12	0	2	8	3	10	2	0	0	0	0	5	43
Média	9	21	25	19	15	5	6	5	1	0	0	3	110

LC – Solo = 122 - Pcd

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 70 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1981/82	0	0	22	18	7	0	0	0	0	0	0	0	47
1982/83	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1983/84	0	38	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	56
1984/85	0	13	14	27	27	2	0	0	0	0	0	0	83
1985/86	0	3	19	15	26	0	0	0	0	0	0	0	63
1986/87	0	3	3	19	22	0	0	0	0	0	0	0	47
1987/88	0	2	27	12	14	0	0	0	0	0	0	0	55
1988/89	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1989/90	0	10	32	3	2	0	0	0	0	0	0	0	47
1990/91	4	0	4	1	7	9	0	0	0	0	0	0	25
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
1993/94	2	10	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	21
1994/95	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1995/96	0	8	24	49	7	3	0	0	0	0	0	0	92
1996/97	0	0	18	17	0	0	0	0	0	0	0	0	35
1997/98	0	34	20	6	9	0	0	0	0	0	0	0	69
1998/99	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6
1999/00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2000/01	0	0	27	23	6	3	0	0	0	0	0	0	59
2001/02	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Média	0	6	11	9	6	1	0	0	0	0	0	0	33

LC – Solo = 111 - Pcd

AGUT = 42 mm; NC = 94

Área impermeável: 85 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	11	9	4	0	0	0	0	0	0	0	23
1982/83	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1983/84	0	19	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	28
1984/85	0	7	7	14	13	1	0	0	0	0	0	0	42
1985/86	0	2	10	7	13	0	0	0	0	0	0	0	32
1986/87	0	1	2	10	11	0	0	0	0	0	0	0	24
1987/88	0	1	13	6	7	0	0	0	0	0	0	0	27
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	5	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24
1990/91	2	0	2	1	4	4	0	0	0	0	0	0	13
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1993/94	1	5	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	11
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	4	12	25	4	2	0	0	0	0	0	0	46
1996/97	0	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	18
1997/98	0	17	10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	35
1998/99	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1999/00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2000/01	0	0	13	11	3	2	0	0	0	0	0	0	29
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	16

LC – Solo = 112 - Aa

AGUT = 24 mm; NC = 89

Área impermeável: 60 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	13	0	0	0	8	7	0	0	0	0	0	29
1981/82	0	0	55	32	16	0	10	0	0	0	0	0	113
1982/83	0	11	7	0	1	0	11	2	0	0	0	0	32
1983/84	2	86	33	3	0	4	3	0	0	0	0	0	131
1984/85	1	40	23	56	50	4	14	1	0	0	0	0	188
1985/86	0	24	36	24	45	0	0	0	0	0	0	6	135
1986/87	8	19	9	36	43	0	0	0	0	0	0	0	115
1987/88	7	14	48	22	27	0	0	0	0	0	0	0	119
1988/89	0	19	0	0	7	0	8	0	0	0	0	0	34
1989/90	6	34	65	6	3	0	3	8	0	0	0	0	125
1990/91	27	0	10	3	19	21	0	0	0	0	0	0	80
1991/92	3	0	7	9	0	0	7	0	0	0	0	0	26
1992/93	4	0	18	0	7	0	2	14	0	0	0	0	45
1993/94	22	25	0	8	20	0	0	10	0	0	0	0	84
1994/95	0	15	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	24
1995/96	0	35	47	90	16	8	0	10	0	0	0	0	205
1996/97	0	6	50	34	0	0	0	0	0	0	0	0	91
1997/98	10	71	37	12	17	0	0	2	0	0	0	0	151
1998/99	0	0	9	18	0	1	0	0	0	0	0	3	31
1999/00	22	3	5	0	1	0	3	0	0	0	0	0	34
2000/01	0	8	64	45	10	8	0	0	0	0	0	0	133
2001/02	8	0	0	12	0	15	0	0	0	0	0	4	39
Média	5	19	24	19	13	3	3	2	0	0	0	1	89

LC – Solo = 112 - Cb

AGUT = 36 mm; NC = 89

Área impermeável: 60 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	9	0	0	0	4	7	0	0	0	0	0	19
1981/82	0	0	51	32	16	0	5	0	0	0	0	0	103
1982/83	0	6	7	0	0	0	7	2	0	0	0	0	22
1983/84	0	83	33	3	0	0	2	0	0	0	0	0	122
1984/85	0	36	23	56	50	4	7	1	0	0	0	0	177
1985/86	0	19	36	24	45	0	0	0	0	0	0	1	126
1986/87	3	14	9	36	43	0	0	0	0	0	0	0	105
1987/88	2	14	48	22	27	0	0	0	0	0	0	0	114
1988/89	0	14	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	22
1989/90	1	34	65	6	3	0	0	4	0	0	0	0	113
1990/91	22	0	10	3	19	21	0	0	0	0	0	0	75
1991/92	0	0	2	9	0	0	2	0	0	0	0	0	13
1992/93	0	0	15	0	7	0	0	9	0	0	0	0	31
1993/94	17	24	0	7	20	0	0	5	0	0	0	0	73
1994/95	0	10	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	14
1995/96	0	30	47	90	16	8	0	5	0	0	0	0	195
1996/97	0	1	49	34	0	0	0	0	0	0	0	0	85
1997/98	6	71	37	12	17	0	0	0	0	0	0	0	144
1998/99	0	0	4	18	0	0	0	0	0	0	0	0	22
1999/00	18	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	22
2000/01	0	3	64	45	10	8	0	0	0	0	0	0	129
2001/02	3	0	0	7	0	13	0	0	0	0	0	0	23
Média	3	17	23	18	13	3	2	1	0	0	0	0	80

LC – Solo = 112 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 42 mm; NC = 89

Área impermeável: 60 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	2	10	0	0	2	6	17	1	0	0	0	2	40
1981/82	3	0	80	40	21	0	11	0	0	0	0	5	161
1982/83	0	17	7	0	0	0	8	3	0	0	0	0	36
1983/84	1	153	47	4	0	2	4	2	1	0	0	0	216
1984/85	6	45	26	88	66	5	20	3	0	0	0	0	260
1985/86	0	34	54	26	52	0	1	1	0	0	0	12	180
1986/87	10	21	14	50	62	6	1	0	0	0	2	1	168
1987/88	2	20	61	27	47	0	0	0	0	2	0	0	158
1988/89	0	29	0	3	7	3	4	2	0	0	0	0	48
1989/90	9	54	101	7	3	1	7	15	0	0	0	0	197
1990/91	48	1	12	4	43	40	1	0	0	0	0	3	152
1991/92	3	1	5	14	1	1	7	3	0	0	0	4	39
1992/93	8	0	14	1	10	6	5	14	0	0	0	3	64
1993/94	39	52	0	14	32	0	0	9	0	0	0	0	146
1994/95	1	12	0	0	12	1	0	0	0	0	0	0	27
1995/96	6	46	67	119	23	11	0	21	0	0	0	1	294
1996/97	0	4	82	49	0	0	2	8	6	0	0	0	151
1997/98	15	105	49	15	26	1	2	11	0	0	0	1	224
1998/99	1	3	12	23	0	6	2	0	0	0	0	14	62
1999/00	40	5	4	2	3	0	14	0	0	0	0	0	69
2000/01	1	12	102	63	12	10	0	1	1	0	0	1	203
2001/02	9	0	1	10	3	17	1	0	0	0	0	2	44
Média	9	28	34	25	19	5	5	4	0	0	0	2	134

LC – Solo = 112 - Pcd

AGUT = 42 mm; NC = 89

Área impermeável: 60 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	6	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	14
1981/82	0	0	48	32	16	0	2	0	0	0	0	0	98
1982/83	0	3	7	0	0	0	4	2	0	0	0	0	17
1983/84	0	80	33	3	0	0	0	0	0	0	0	0	117
1984/85	0	34	23	56	50	4	5	1	0	0	0	0	172
1985/86	0	17	36	24	45	0	0	0	0	0	0	0	123
1986/87	0	12	9	36	43	0	0	0	0	0	0	0	101
1987/88	0	13	48	22	27	0	0	0	0	0	0	0	112
1988/89	0	12	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	18
1989/90	0	32	65	6	3	0	0	1	0	0	0	0	108
1990/91	20	0	10	3	19	21	0	0	0	0	0	0	73
1991/92	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	9
1992/93	0	0	12	0	7	0	0	7	0	0	0	0	26
1993/94	14	24	0	7	20	0	0	2	0	0	0	0	68
1994/95	0	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11
1995/96	0	28	47	90	16	8	0	3	0	0	0	0	191
1996/97	0	0	48	34	0	0	0	0	0	0	0	0	83
1997/98	3	71	37	12	17	0	0	0	0	0	0	0	141
1998/99	0	0	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	19
1999/00	15	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	18
2000/01	0	0	64	45	10	8	0	0	0	0	0	0	126
2001/02	1	0	0	5	0	13	0	0	0	0	0	0	18
Média	2	16	22	18	13	3	1	1	0	0	0	0	76

LC – Solo = 142 - Aa

AGUT = 60 mm; NC = 82

Área impermeável: 20 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	4	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	22
1981/82	0	0	112	75	39	0	1	0	0	0	0	0	228
1982/83	0	3	14	0	0	0	0	5	0	0	0	0	21
1983/84	0	196	82	8	0	0	2	0	0	0	0	0	288
1984/85	0	73	50	144	120	10	15	4	0	0	0	0	416
1985/86	0	38	87	52	101	0	0	0	0	0	0	0	279
1986/87	0	32	24	86	107	0	0	0	0	0	0	0	249
1987/88	0	23	112	51	70	0	0	0	0	0	0	0	256
1988/89	0	27	1	0	15	0	3	0	0	0	0	0	46
1989/90	0	81	166	13	7	0	0	0	0	0	0	0	267
1990/91	49	2	23	8	54	62	0	0	0	0	0	0	197
1991/92	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	17
1992/93	0	0	23	0	21	0	0	10	0	0	0	0	54
1993/94	38	65	0	21	52	0	0	0	0	0	0	0	177
1994/95	0	9	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	24
1995/96	0	66	116	212	40	20	0	9	0	0	0	0	463
1996/97	0	0	120	85	0	0	0	0	0	0	0	0	205
1997/98	2	176	89	29	44	0	0	0	0	0	0	0	339
1998/99	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	40
1999/00	37	0	13	3	5	0	0	0	0	0	0	0	58
2000/01	0	0	160	110	23	19	0	0	0	0	0	0	311
2001/02	0	0	0	14	0	36	0	0	0	0	0	0	50
Média	6	36	54	44	32	7	2	1	0	0	0	0	182

LC – Solo = 142 - Cb

AGUT = 90 mm; NC = 82

Área impermeável: 20 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	88	75	39	0	0	0	0	0	0	0	202
1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	172	82	8	0	0	2	0	0	0	0	0	264
1984/85	0	49	50	144	120	10	15	4	0	0	0	0	392
1985/86	0	14	87	52	101	0	0	0	0	0	0	0	255
1986/87	0	8	24	86	107	0	0	0	0	0	0	0	225
1987/88	0	0	111	51	70	0	0	0	0	0	0	0	232
1988/89	0	3	1	0	15	0	3	0	0	0	0	0	22
1989/90	0	57	166	13	7	0	0	0	0	0	0	0	243
1990/91	25	2	23	8	54	62	0	0	0	0	0	0	173
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20
1993/94	14	65	0	21	52	0	0	0	0	0	0	0	153
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	42	116	212	40	20	0	0	0	0	0	0	430
1996/97	0	0	96	85	0	0	0	0	0	0	0	0	181
1997/98	0	154	89	29	44	0	0	0	0	0	0	0	315
1998/99	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	16
1999/00	13	0	13	3	5	0	0	0	0	0	0	0	34
2000/01	0	0	136	110	23	19	0	0	0	0	0	0	287
2001/02	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	26
Média	2	26	49	41	32	6	1	0	0	0	0	0	158

LC – Solo = 142 – Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 105 mm; NC = 82

Área impermeável: 20 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	1	2	0	0	1	3	10	0	0	0	0	1	18
1981/82	2	0	110	80	41	0	8	0	0	0	0	5	245
1982/83	0	16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	19
1983/84	0	258	94	8	0	1	5	1	0	0	0	0	368
1984/85	6	45	51	176	132	11	30	5	0	0	0	0	457
1985/86	0	17	108	52	104	0	0	0	0	0	0	13	295
1986/87	9	7	24	100	125	7	0	0	0	0	2	0	273
1987/88	0	5	110	53	93	0	0	0	0	1	0	0	263
1988/89	0	16	0	3	9	2	4	1	0	0	0	0	34
1989/90	9	67	201	13	7	0	4	20	0	0	0	0	321
1990/91	44	2	23	8	87	78	0	0	0	0	0	1	244
1991/92	1	1	4	4	1	0	6	2	0	0	0	4	23
1992/93	8	0	0	1	10	7	4	4	0	0	0	2	35
1993/94	27	105	0	29	64	0	0	3	0	0	0	0	228
1994/95	1	2	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	13
1995/96	6	48	133	238	47	21	0	18	0	0	0	0	511
1996/97	0	2	119	99	0	0	1	8	7	0	0	0	236
1997/98	11	176	98	30	52	0	1	11	0	0	0	1	380
1998/99	0	2	13	7	0	7	1	0	0	0	0	14	44
1999/00	29	4	15	4	7	0	14	0	0	0	0	0	71
2000/01	0	13	166	127	23	19	0	0	0	0	0	0	349
2001/02	7	0	0	3	2	16	0	0	0	0	0	1	30
Média	7	36	58	47	37	8	4	3	0	0	0	2	203

LC – Solo = (N)121 - Cb
 AGUT = 180 mm; NC = 82
 Área impermeável: 10 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	18	84	44	0	0	0	0	0	0	0	146
1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	112	93	9	0	0	2	0	0	0	0	0	216
1984/85	0	0	31	162	135	12	16	4	0	0	0	0	360
1985/86	0	0	33	59	113	0	0	0	0	0	0	0	206
1986/87	0	0	0	51	121	0	0	0	0	0	0	0	172
1987/88	0	0	44	57	79	0	0	0	0	0	0	0	180
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0	170	15	8	0	0	0	0	0	0	0	193
1990/91	0	0	0	0	45	69	0	0	0	0	0	0	114
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993/94	0	8	0	24	59	0	0	0	0	0	0	0	91
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	0	97	238	45	22	0	0	0	0	0	0	402
1996/97	0	0	27	95	0	0	0	0	0	0	0	0	122
1997/98	0	92	100	32	50	0	0	0	0	0	0	0	273
1998/99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999/00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000/01	0	0	72	124	25	21	0	0	0	0	0	0	242
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	10	31	43	33	6	1	0	0	0	0	0	124

LC – Solo = 141 - Cb
 AGUT = 180 mm; NC = 82
 Área impermeável: 0 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	20	93	49	0	0	0	0	0	0	0	163
1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	125	103	10	0	0	2	0	0	0	0	0	240
1984/85	0	0	34	180	150	13	18	5	0	0	0	0	400
1985/86	0	0	37	65	126	0	0	0	0	0	0	0	229
1986/87	0	0	0	57	134	0	0	0	0	0	0	0	191
1987/88	0	0	49	64	87	0	0	0	0	0	0	0	200
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0	189	16	9	0	0	0	0	0	0	0	214
1990/91	0	0	0	0	50	77	0	0	0	0	0	0	127
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993/94	0	9	0	26	65	0	0	0	0	0	0	0	101
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	0	107	265	50	25	0	0	0	0	0	0	447
1996/97	0	0	30	106	0	0	0	0	0	0	0	0	136
1997/98	0	102	111	36	55	0	0	0	0	0	0	0	304
1998/99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999/00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000/01	0	0	80	137	28	23	0	0	0	0	0	0	269
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	11	35	48	37	6	1	0	0	0	0	0	137

LC – Solo = (N)121 – Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 210 mm; NC = 82

Área impermeável: 10 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	1	2	0	0	1	4	11	0	0	0	0	1	20
1981/82	2	0	37	81	47	0	9	0	0	0	0	6	182
1982/83	0	19	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	21
1983/84	0	196	105	9	0	1	5	1	1	0	0	0	319
1984/85	6	9	5	198	149	12	34	6	0	0	0	0	419
1985/86	0	17	30	59	117	0	0	0	0	0	0	15	238
1986/87	10	7	5	40	141	7	0	0	0	0	2	0	213
1987/88	0	6	29	60	105	0	0	0	0	2	0	0	201
1988/89	0	18	0	3	2	2	2	1	0	0	0	0	28
1989/90	10	25	182	15	8	0	5	22	0	0	0	0	267
1990/91	35	0	1	0	54	87	0	0	0	0	0	2	180
1991/92	1	1	4	5	1	0	7	3	0	0	0	5	26
1992/93	9	0	0	1	2	8	4	4	0	0	0	2	30
1993/94	27	45	0	14	72	0	0	3	0	0	0	0	162
1994/95	1	2	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0	14
1995/96	7	20	89	268	53	24	0	20	0	0	0	0	480
1996/97	0	3	39	111	0	0	1	9	7	0	0	0	171
1997/98	12	104	110	34	59	0	1	12	0	0	0	1	333
1998/99	0	2	14	3	0	8	2	0	0	0	0	15	45
1999/00	31	4	2	1	2	0	15	0	0	0	0	0	55
2000/01	1	15	93	143	26	22	0	0	0	0	0	0	299
2001/02	8	0	0	4	2	3	0	0	0	0	0	1	18
Média	7	22	34	48	39	8	5	4	0	0	0	2	169

LC – Solo = 141 - Pcd (C3c) [CÁRSICO]

AGUT = 210 mm; NC = 82

Área impermeável: 0 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	1	2	0	0	1	4	13	1	0	0	0	1	22
1981/82	2	0	42	90	52	0	10	0	0	0	0	7	202
1982/83	0	21	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	23
1983/84	0	218	117	10	0	1	6	2	1	0	0	0	355
1984/85	7	10	6	219	165	13	38	7	0	0	0	0	466
1985/86	0	18	33	66	129	0	0	0	0	0	0	17	264
1986/87	12	8	5	45	156	8	0	0	0	0	2	0	237
1987/88	0	6	32	66	117	0	0	0	0	2	0	0	223
1988/89	0	20	0	3	2	2	2	1	0	0	0	0	31
1989/90	11	27	203	16	9	0	6	24	0	0	0	0	296
1990/91	39	0	1	0	60	97	0	0	0	0	0	2	200
1991/92	1	1	5	5	1	0	8	3	0	0	0	5	29
1992/93	10	0	0	1	3	9	5	4	0	0	0	2	34
1993/94	30	50	0	15	80	0	0	4	0	0	0	0	180
1994/95	1	2	0	0	13	1	0	0	0	0	0	0	16
1995/96	8	22	99	297	58	27	0	22	0	0	0	0	534
1996/97	0	3	44	123	0	0	1	11	8	0	0	0	190
1997/98	14	115	123	38	65	0	1	14	0	0	0	1	370
1998/99	0	3	16	3	0	9	2	0	0	0	0	17	50
1999/00	34	5	2	1	2	0	17	0	0	0	0	0	61
2000/01	1	16	103	159	29	24	0	0	0	0	0	0	332
2001/02	9	0	0	4	2	3	0	0	0	0	0	1	20
Média	8	25	38	53	43	9	5	4	0	0	0	2	188

LC – Solo = (N)121 – Pcd
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 10 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	0	75	44	0	0	0	0	0	0	0	119
1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	85	93	9	0	0	2	0	0	0	0	0	189
1984/85	0	0	4	162	135	12	16	4	0	0	0	0	333
1985/86	0	0	6	59	113	0	0	0	0	0	0	0	179
1986/87	0	0	0	24	121	0	0	0	0	0	0	0	145
1987/88	0	0	17	57	79	0	0	0	0	0	0	0	153
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0	143	15	8	0	0	0	0	0	0	0	166
1990/91	0	0	0	0	18	69	0	0	0	0	0	0	87
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993/94	0	0	0	5	59	0	0	0	0	0	0	0	64
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	0	70	238	45	22	0	0	0	0	0	0	375
1996/97	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	95
1997/98	0	65	100	32	50	0	0	0	0	0	0	0	246
1998/99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999/00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000/01	0	0	45	124	25	21	0	0	0	0	0	0	215
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	7	22	41	32	6	1	0	0	0	0	0	108

LC – Solo = 141 - Pcd
 AGUT = 210 mm; NC = 82
 Área impermeável: 0 %

A.H.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
1980/81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981/82	0	0	0	84	49	0	0	0	0	0	0	0	133
1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983/84	0	95	103	10	0	0	2	0	0	0	0	0	210
1984/85	0	0	4	180	150	13	18	5	0	0	0	0	370
1985/86	0	0	7	65	126	0	0	0	0	0	0	0	199
1986/87	0	0	0	27	134	0	0	0	0	0	0	0	161
1987/88	0	0	19	64	87	0	0	0	0	0	0	0	170
1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989/90	0	0	159	16	9	0	0	0	0	0	0	0	184
1990/91	0	0	0	0	20	77	0	0	0	0	0	0	97
1991/92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992/93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993/94	0	0	0	5	65	0	0	0	0	0	0	0	71
1994/95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/96	0	0	77	265	50	25	0	0	0	0	0	0	417
1996/97	0	0	0	106	0	0	0	0	0	0	0	0	106
1997/98	0	72	111	36	55	0	0	0	0	0	0	0	274
1998/99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999/00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000/01	0	0	50	137	28	23	0	0	0	0	0	0	239
2001/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	8	24	45	35	6	1	0	0	0	0	0	120

Anexo 3 – MONITORIZAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NO VALE DE ALCÂNTARA

Piezómetro P1

M(m) = 108716; P(m) = 192980; z(m) = 4,58 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	14:05	4,01	GSG
2008-07-31	09:11	4,02	GSG
2008-07-31	19:14	4,02	GSG
2008-08-01	11:51	4,01	GSG
2008-08-04	10:55	4,00	GSG
2008-08-07	14:43	4,00	LNEC
2008-08-07	16:30	4,01	LNEC
2008-08-21	09:16	4,04	LNEC
2008-08-21	11:10	4,04	LNEC
2008-08-21	12:57	4,04	LNEC
2008-08-21	15:04	4,04	LNEC
2008-08-21	16:43	4,04	LNEC
2008-08-21	19:10	4,04	LNEC

Dados síntese

P1	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,04	4,00	4,02	0,54	0,58	0,56	0,04
Só campanha de 2008-08-21	4,04	4,04	4,04	0,54	0,54	0,54	0,00

Piezómetro P2

M(m) = 108743; P(m) = 192914; z(m) = 3,87(cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	14:01	3,35	GSG
2008-07-31	19:10	3,36	GSG
2008-07-31	09:01	3,4	GSG
2008-08-01	11:46	3,39	GSG
2008-08-04	10:50	3,36	GSG
2008-08-07	14:40	3,36	LNEC
2008-08-07	16:29	3,36	LNEC
2008-08-21	19:14	3,34	LNEC
2008-08-21	09:20	3,35	LNEC
2008-08-21	16:47	3,37	LNEC
2008-08-21	11:13	3,38	LNEC
2008-08-21	15:06	3,38	LNEC
2008-08-21	12:59	3,4	LNEC

Dados síntese

P2	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,40	3,34	3,37	0,47	0,53	0,50	0,06
Só campanha de 2008-08-21	3,40	3,34	3,37	0,47	0,53	0,50	0,06

Piezómetro P3

M(m) = 108768; P(m) = 192845; z(m) = 4,20 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	14:44	3,51	GSG
2008-07-31	19:43	4,02	GSG
2008-07-31	09:48	4,08	GSG
2008-08-01	11:58	3,92	GSG
2008-08-07	16:40	3,81	LNEC
2008-08-07	14:49	3,98	LNEC
2008-08-21	19:20	3,49	LNEC
2008-08-21	16:55	3,63	LNEC
2008-08-21	09:26	3,81	LNEC
2008-08-21	15:11	3,87	LNEC
2008-08-21	11:20	4,08	LNEC
2008-08-21	13:06	4,11	LNEC

Dados síntese

P3	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,11	3,49	3,86	0,09	0,71	0,34	0,62
Só campanha de 2008-08-21	4,11	3,49	3,83	0,09	0,71	0,37	0,62

Piezómetro P4

M(m) = 109064; P(m) = 193364; z(m) = 2,97 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-08-04	13:35	2,7	GSG
2008-08-07	14:25	2,67	LNEC
2008-08-07	16:17	2,67	LNEC
2008-08-21	09:05	2,55	LNEC
2008-08-21	18:57	2,56	LNEC
2008-08-21	10:58	2,62	LNEC
2008-08-21	16:32	2,65	LNEC
2008-08-21	12:46	2,68	LNEC
2008-08-21	14:55	2,7	LNEC

Dados síntese

P4	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	2,70	2,55	2,64	0,27	0,42	0,33	0,15
Só campanha de 2008-08-21	2,70	2,55	2,63	0,27	0,42	0,34	0,15

Piezómetro P5

M(m) = 109159; P(m) = 193243; z(m) = 3,98 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-08-01	13:30	3,64	GSG
2008-08-04	10:35	3,7	GSG
2008-08-07	16:13	3,69	LNEC
2008-08-07	14:21	3,73	LNEC
2008-08-21	18:53	3,5	LNEC
2008-08-21	09:01	3,52	LNEC
2008-08-21	16:28	3,64	LNEC
2008-08-21	10:54	3,66	LNEC
2008-08-21	14:52	3,73	LNEC
2008-08-21	12:43	3,76	LNEC

Dados síntese

P5	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,76	3,50	3,66	0,22	0,48	0,32	0,26
Só campanha de 2008-08-21	3,76	3,50	3,64	0,22	0,48	0,35	0,26

Piezómetro P6

M(m) = 109252; P(m) = 193116; z(m) = 4,11 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-25	07:57	3,5	GSG
2008-07-31	14:54	3,5	GSG
2008-07-31	19:48	3,98	GSG
2008-07-31	09:33	4,11	GSG
2008-08-01	12:06	3,93	GSG
2008-08-07	16:56	3,75	LNEC
2008-08-07	13:35	3,98	LNEC
2008-08-21	18:37	3,45	LNEC
2008-08-21	08:42	3,55	LNEC
2008-08-21	16:12	3,69	LNEC
2008-08-21	10:35	3,88	LNEC
2008-08-21	14:40	3,92	LNEC
2008-08-21	12:24	4,09	LNEC

Dados síntese

P6	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,11	3,45	3,79	0,00	0,66	0,32	0,66
Só campanha de 2008-08-21	4,09	3,45	3,76	0,02	0,66	0,35	0,64

Piezómetro P7

M(m) = 109556; P(m) = 193450; z(m) = 3,41 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	14:13	2,86	GSG
2008-07-31	19:22	2,95	GSG
2008-07-31	10:24	3,35	GSG
2008-08-01	12:36	3,15	GSG
2008-08-04	12:17	2,93	GSG
2008-08-07	15:43	2,67	LNEC
2008-08-21	08:14	2,56	LNEC
2008-08-21	10:04	2,65	LNEC
2008-08-21	18:01	2,66	LNEC
2008-08-21	15:36	2,87	LNEC
2008-08-21	11:53	2,89	LNEC
2008-08-21	14:13	2,94	LNEC

Dados síntese

P7	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,35	2,56	2,87	0,06	0,85	0,54	0,79
Só campanha de 2008-08-21	2,94	2,56	2,76	0,47	0,85	0,65	0,38

Piezómetro P9

M(m) = 109474; P(m) = 193149; z(m) = 4,08 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	15:00	3,7	GSG
2008-07-31	19:32	3,8	GSG
2008-07-31	10:00	3,88	GSG
2008-08-01	12:18	3,86	GSG
2008-08-07	13:21	3,81	LNEC
2008-08-07	15:23	3,83	LNEC
2008-08-21	08:32	3,64	LNEC
2008-08-21	18:26	3,66	LNEC
2008-08-21	10:23	3,72	LNEC
2008-08-21	16:03	3,76	LNEC
2008-08-21	12:14	3,8	LNEC
2008-08-21	14:30	3,81	LNEC

Dados síntese

P9	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,88	3,64	3,77	0,20	0,44	0,31	0,24
Só campanha de 2008-08-21	3,81	3,64	3,73	0,27	0,44	0,35	0,17

Piezómetro P10

M(m) = 109501; P(m) = 193000; z(m) = 4,13 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-25	07:50	3,65	GSG
2008-07-31	15:08	3,72	GSG
2008-07-31	19:28	3,80	GSG
2008-07-31	09:22	4,00	GSG
2008-08-01	12:12	4,02	GSG
2008-08-07	13:26	3,94	LNEC
2008-08-07	15:19	4,00	LNEC
2008-08-21	08:36	3,66	LNEC
2008-08-21	18:30	3,72	LNEC
2008-08-21	10:27	3,81	LNEC
2008-08-21	16:06	3,92	LNEC
2008-08-21	12:18	3,95	LNEC
2008-08-21	14:34	4,03	LNEC

Dados síntese

P10	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,03	3,65	3,86	0,10	0,48	0,27	0,38
Só campanha de 2008-08-21	4,03	3,66	3,85	0,10	0,47	0,28	0,37

Piezómetro P11

M(m) = 109371; P(m) = 193684; z(m) = 3,74 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-08-07	17:07	2,96	LNEC
2008-08-07	15:12	3,01	LNEC
2008-08-21	08:06	2,72	LNEC
2008-08-21	09:56	2,77	LNEC
2008-08-21	17:51	2,85	LNEC
2008-08-21	11:47	2,89	LNEC
2008-08-21	14:07	2,97	LNEC
2008-08-21	15:26	2,98	LNEC

Dados síntese

P11	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,01	2,72	2,89	0,73	1,02	0,85	0,29
Só campanha de 2008-08-21	2,98	2,72	2,86	0,76	1,02	0,88	0,26

Piezómetro S1

M(m) = 109430; P(m) = 193650; z(m) = 4,3 (aproximado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-17	12:43	3,80	LNEC
2008-07-18	16:45	2,91	LNEC
2008-07-18	12:15	4,22	LNEC
2008-07-18	09:46	4,46	LNEC
2008-08-21	19:32	3,09	LNEC
2008-08-21	17:47	3,23	LNEC
2008-08-21	07:59	3,30	LNEC
2008-08-21	15:44	3,89	LNEC
2008-08-21	09:51	4,18	LNEC
2008-08-21	11:42	4,48	LNEC
2008-08-21	14:03	4,50	LNEC

Dados síntese

S1	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,50	2,91	3,82	-0,20	1,39	0,48	1,59
Só campanha de 2008-08-21	4,50	3,09	3,81	-0,20	1,21	0,49	1,41

Piezómetro P112

M(m) = 109453; P(m) = 193305; z(m) = 4,00 (cotado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-31	18:30	3,48	GSG
2008-08-01	12:30	3,62	GSG
2008-08-07	15:58	3,48	LNEC
2008-08-07	13:13	3,51	LNEC
2008-08-21	08:26	3,31	LNEC
2008-08-21	10:18	3,33	LNEC
2008-08-21	18:20	3,33	LNEC
2008-08-21	12:09	3,35	LNEC
2008-08-21	15:56	3,35	LNEC
2008-08-21	14:26	3,36	LNEC

Dados síntese

P112	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,62	3,31	3,41	0,38	0,69	0,59	0,31
Só campanha de 2008-08-21	3,36	3,31	3,34	0,64	0,69	0,66	0,05

Piezómetro P119

M(m) = 109345; P(m) = 193335; z(m) = 3,4 (aproximado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-08-07	16:03	3,22	LNEC
2008-08-21	19:38	2,81	LNEC
2008-08-21	18:48	2,85	LNEC
2008-08-21	08:54	2,95	LNEC
2008-08-21	16:21	3,14	LNEC
2008-08-21	10:44	3,17	LNEC
2008-08-21	14:47	3,34	LNEC
2008-08-21	12:36	3,36	LNEC

Dados síntese

P119	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,36	2,81	3,11	0,04	0,59	0,30	0,55
Só campanha de 2008-08-21	3,36	2,81	3,09	0,04	0,59	0,31	0,55

Piezómetro P120

M(m) = 109332; P(m) = 193312; z(m) = 4,0 (aproximado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-08-07	16:22	3,76	LNEC
2008-08-07	14:30	3,85	LNEC
2008-08-21	19:02	3,49	LNEC
2008-08-21	09:10	3,54	LNEC
2008-08-21	16:35	3,66	LNEC
2008-08-21	11:02	3,77	LNEC
2008-08-21	14:58	3,80	LNEC
2008-08-21	12:51	3,89	LNEC

Dados síntese

P120	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,89	3,49	3,72	0,11	0,51	0,28	0,40
Só campanha de 2008-08-21	3,89	3,49	3,69	0,11	0,51	0,31	0,40

Piezómetro P112A

M(m) = 109442; P(m) = 193340; z(m) = 3,5 (aproximado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-17	12:00	4,00	LNEC
2008-07-18	16:22	3,62	LNEC
2008-07-18	11:39	4,00	LNEC

Dados síntese

P112A	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,00	3,62	3,87	-0,50	-0,12	-0,37	0,38

Piezómetro S118

M(m) = 109398; P(m) = 193217; z(m) = 4,1 (aproximado)

Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-17	11:30	4,00	LNEC
2008-07-18	16:09	3,84	LNEC
2008-07-18	11:12	4,01	LNEC

Dados síntese

S118	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	4,01	3,84	3,95	0,09	0,26	0,15	0,17

Piezómetro S301A

M(m) = 109487; P(m) = 193277; z(m) = 4,2 (aproximado)

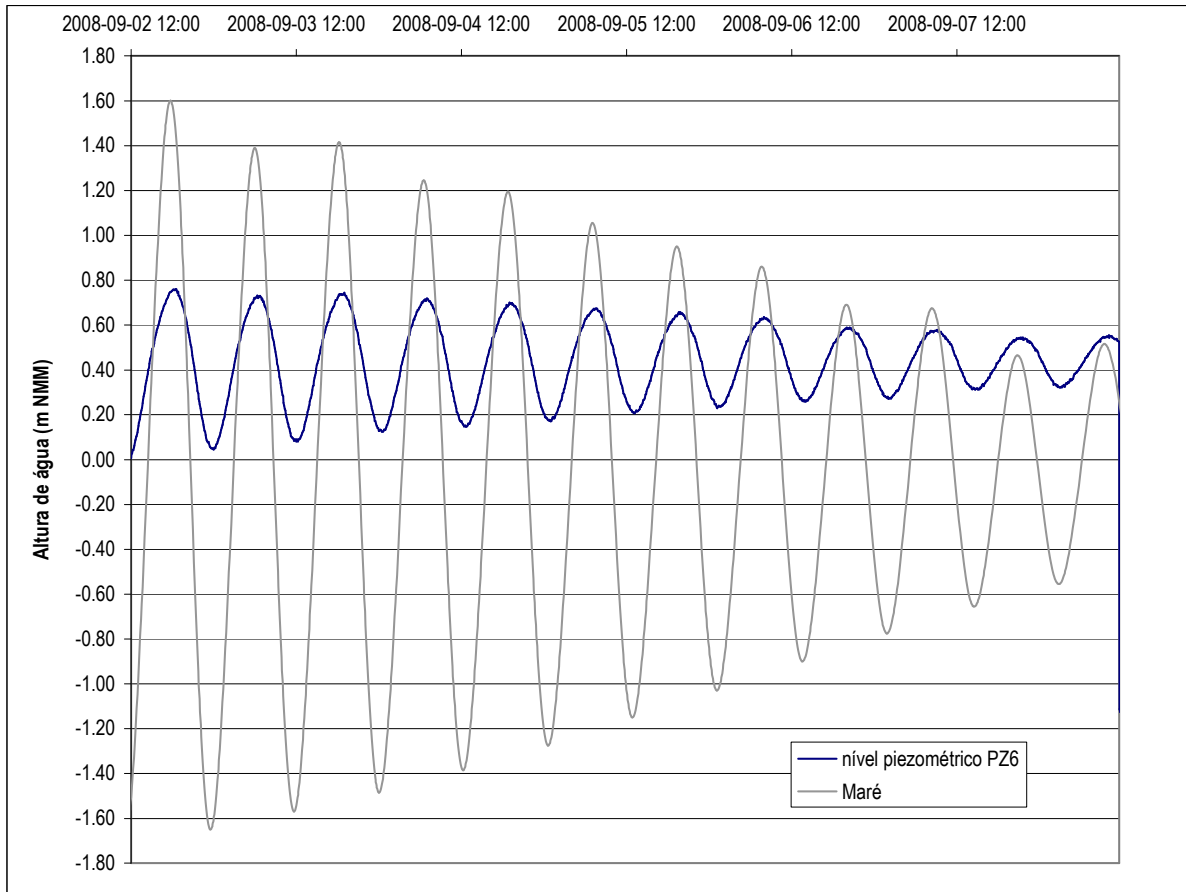
Data	Hora	Prof.(m)	Fonte
2008-07-17	11:38	3,85	LNEC
2008-07-18	15:58	3,71	LNEC
2008-07-18	11:25	3,86	LNEC

Dados síntese

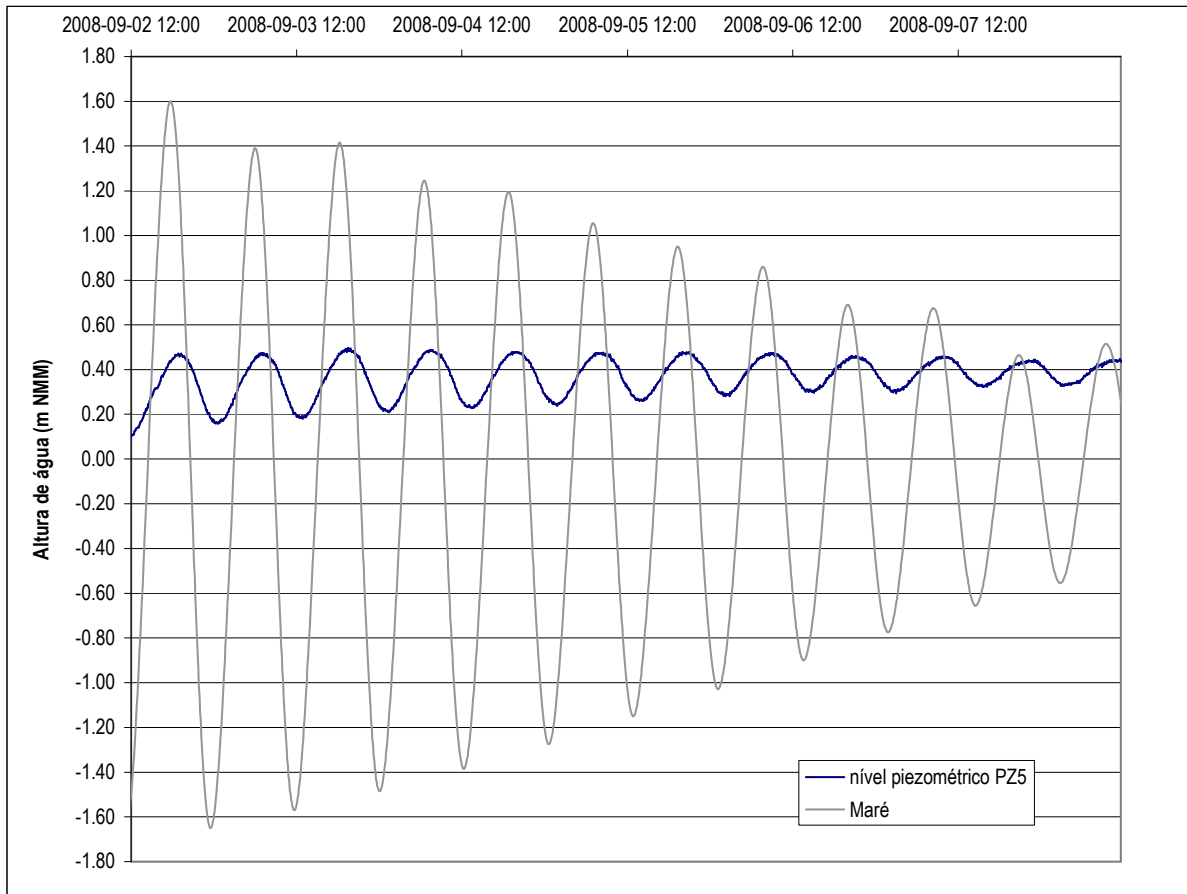
S301A	Profundidade n.p. (m)			Nível piezométrico (n.p.) (m)			Amplitude (m)
	máximo	mínimo	média	mínimo	máximo	média	
Todos os registos	3,86	3,71	3,81	0,34	0,49	0,39	0,15

Anexo 4 – MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS NO VALE DE ALCÂNTARA

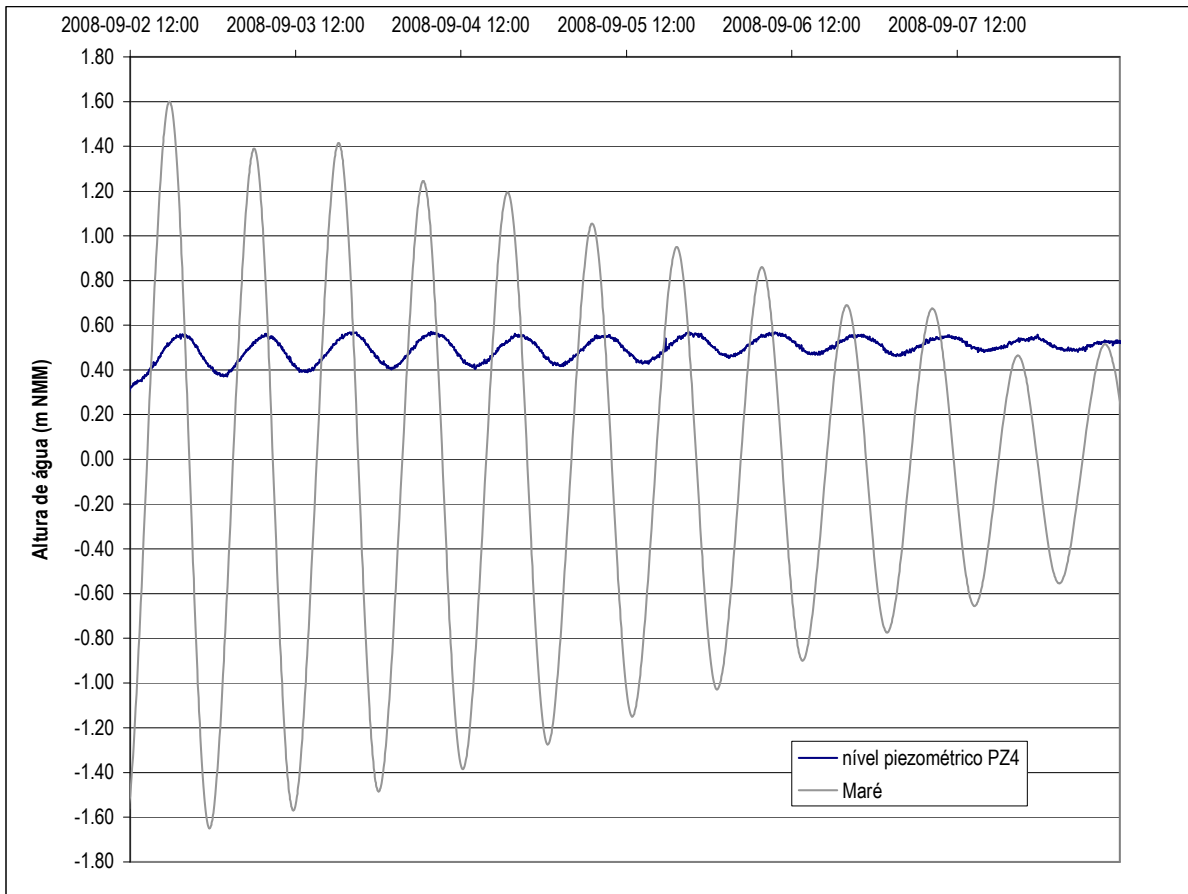
Piezómetro PZ6



Piezómetro PZ5



Piezómetro PZ4



Piezómetro S1

