

**II JORNADAS TÉCNICAS DA APRH**  
**ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO**  
**EM ZONAS COSTEIRAS TURÍSTICAS**  
**PLANEAMENTO E GESTÃO DOS SISTEMAS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO**  
**EM ZONAS CARENCIADAS**  
**MODELO MATEMÁTICO DE PLANEAMENTO E EXPLORAÇÃO DO SISTEMA DE**  
**ABASTECIMENTO DE ÁGUA AO CONCELHO DE CASCAIS - PARTE A**

**EDUARDO RIBEIRO DE SOUSA**  
 (Doutor em Eng<sup>a</sup> Civil. Professor Associado do IST. Consultor da Hidrosistemas,  
 Estudos Especiais de Sistemas Hídricos e Ambientais, Lda., Lisboa)

**ULISSES LAGES**  
 (Eng<sup>a</sup> Civil. Engenheiro da Hidrosistemas. Lisboa)

**JOÃO CORREIA SALSINHA**  
 (Eng<sup>a</sup> Civil. Engenheiro da Hidroprojecto. Lisboa)

**ANTONINA VIDEIRA**  
 (Eng<sup>a</sup> Civil. Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Cascais. Cascais)

**RESUMO**

Na presente comunicação, dividida em duas partes (Partes A e B), apresentam-se os resultados decorrentes do "Estudo para Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais - 1<sup>a</sup> Fase" e realizado para os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Cascais. Nesta Parte A engloba-se uma descrição geral do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais, analisam-se e discutem-se os elementos de base para a realização do estudo e descrevem-se os critérios utilizados na construção do modelo matemático. De entre estes critérios salientam-se a análise do cadastro, a esquematização do sistema, a definição dos elementos especiais (reservatórios e estações elevatórias), a análise dos consumos e respectivos critérios de atribuição ao nós.

**JOÃO CORREIA SALSINHA**  
 (Eng<sup>a</sup> Civil. Engenheiro da Hidroprojecto. Lisboa)

**ANTONINA VIDEIRA**  
 (Eng<sup>a</sup> Civil. Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Cascais. Cascais)

**RESUMO**

Na presente comunicação, dividida em duas partes (Partes A e B), apresentam-se os resultados decorrentes do "Estudo para Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais - 1<sup>a</sup> Fase" e realizado para os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Cascais. Nesta Parte A engloba-se uma descrição geral do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais, analisam-se e discutem-se os elementos de base para a realização do estudo e descrevem-se os critérios utilizados na construção do modelo matemático. De entre estes critérios salientam-se a análise do cadastro, a esquematização do sistema, a definição dos elementos especiais (reservatórios e estações elevatórias), a análise dos consumos e respectivos critérios de atribuição ao nós.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior de racionalizar os investimentos, de reduzir os encargos de exploração, em particular a componente do consumo de energia, e de otimizar as metodologias de controle de sistemas de distribuição de água tem conduzido, principalmente nos Estados Unidos e em diversos países da Europa, ao desenvolvimento e aplicação de novas técnicas de análise destes sistemas através do recurso a modelos computacionais.

A descrição destas técnicas e os benefícios práticos para a gestão autárquica decorrentes da aplicação desta nova tecnologia, embora tenham sido objecto de numerosos artigos técnicos da especialidade nos últimos quinze anos, encontram-se resumidos na literatura portuguesa em RIBEIRO DE SOUSA 1984 a, RIBEIRO DE SOUSA 1984 b e RIBEIRO DE SOUSA c.

Como se pode concluir do descrito no Capítulo 2 da presente comunicação, o sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais é caracterizado por uma grande dimensão e complexidade operacional e que, na situação actual, o controle adequado do seu funcionamento hidráulico só será conseguido se houver uma mudança radical dos métodos até agora seguidos na sua exploração. De facto, a diversidade de situações que exigem o pôr em prática soluções em tempo oportuno requer uma rápida tomada de decisão e execução, de modo a conseguir-se, e este será um dos objectivos a atingir pelos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Cascais (SMASC), um funcionamento controlado e otimizado do sistema que garanta uma eficácia do nível de serviço prestado.

Certamente que este objectivo se torna impossível de atingir com os meios tradicionais de análise actualmente ao dispôr dos SMASC, apesar da grande experiência prática adquirida ao longo dos anos. Daí que se tenha decidido optar pelo recurso a técnicas avançadas de modelação matemática através do desenvolvimento e implementação de um modelo computacional do sistema de abastecimento de água ao município de Cascais, mais a mais existindo tecnologia nacional neste campo (RIBEIRO DE SOUSA c). Muito embora se tivessem reconhecido, à partida, certas dificuldades que poderiam surgir, seguiu-se o princípio de que "o óptimo é inimigo do bom".

Em face desta decisão, restou analisar as diversas hipóteses para a abordagem do problema, tendo em atenção os condicionalismos provenientes principalmente de aspectos económico-financeiros e de dados de base disponíveis. Quanto ao primeiro destes pontos, logo após a tomada de decisão, foi possível inscrever uma verba dentro do orçamento anual dos SMASC que permitisse, ainda durante o ano de 1984, o início e o desenvolvimento de uma parte significativa dos estudos necessários. Sabido que a implementação do modelo matemático exigiria, de uma forma indirecta, o apetrechamento em equipamento de medida não instalado de momento no sistema, foi considerada uma verba adicional no Plano Trienal do município.

Quanto aos aspectos técnicos do problema, nomeadamente no que respeita aos dados disponíveis e respectiva fiabilidade, os SMASC possuem um cadastro do sistema completo e perfeitamente actualizado, assim como elementos estatísticos de consumos, caudais bombados, níveis de água nos reservatórios, etc., que embora carecidos de um rigor exemplar e não recolhidos directamente para efeitos de modelação matemática, constituíam uma boa base de trabalho.

Dentro da óptica anterior, iniciou-se o processo recorrendo a consultores externos aos SMASC e que reunissem, acima de tudo, qualidade e "know-how" compatíveis com a tecnologia exigida por um estudo com estas características. Para o efeito, foi lançado no início de 1984 um concurso, baseado nos termos de referência que definiam (COSTA 1984 a), com a maior clareza possível, o âmbito e os objectivos do estudo e que permitissem a análise rigorosa e imparcial das propostas que viessem a ser apresentadas. Como resultado do concurso, decidiram os SMASC adjudicar a realização do estudo ao consórcio de duas empresas de consultores portuguesas que ofereciam melhores garantias de qualidade, experiência e meios técnicos próprios para a elaboração do estudo. O âmbito e os objectivos deste

estudo e a metodologia que está a ser seguida foram já objecto de uma outra comunicação (RIBEIRO DE SOUSA e COSTA 1984). A presente comunicação, a primeira de um conjunto de duas (RIBEIRO DE SOUSA, LAGES e VIDEIRA, 1983), destina-se a divulgar o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos no decorrer da 1ª Fase do referido estudo e constitui um resumo do relatório (HIDROPROJECTO/HIDROSISTEMAS 1985 a e b) apresentado aos SMASC.

## 2. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Demograficamente, o concelho de Cascais é marcado, por um lado, pela influência da sua proximidade da cidade de Lisboa, o que tem levado à criação de zonas habitacionais da população que diariamente se desloca para a capital a fim de exercer a sua actividade profissional, e, por outro, pelas suas características como zona de atracção turística. A população residente é actualmente da ordem de 150 000 habitantes, ocupando sobretudo a faixa marginal, o que leva a que, no seu conjunto, as freguesias de Cascais, Estoril, Parede e Carcavelos aglutinem, só por si, cerca de 70% da população do concelho. Quanto à população flutuante, embora não existam dados rigorosos sobre estes aspectos, é convicção dos serviços competentes do Município que durante o verão se atingem os 30 000 habitantes.

A expansão da mancha urbana para o interior do concelho tem sido, no entanto, uma constante nos últimos anos, sendo de salientar, nomeadamente, a rápida ocupação que se tem vindo a registar na freguesia de S. Domingos de Rana.

No que respeita à população servida pelo sistema de abastecimento de água, o concelho acusa elevado índice de atendimento, podendo considerar-se a sua população totalmente servida. Regista-se actualmente um número global de consumidores (contadores) rondando os 57 000.

Dispondo embora de origens próprias, o concelho de Cascais encontra-se muito dependente, em termos de produção de água, do abastecimento da Empresa Pública das Águas Livres (EPAL).

É através de duas condutas, que após servirem o concelho de Oeiras entram no concelho de Cascais, que são aduzidos os caudais que garantem parte significativa das necessidades de água da população concelhia (Figura 1).

Uma dessas condutas, tradicionalmente designada por conduta "alta" da EPAL (ou conduta da Costa do Sol), tem origem no reservatório do Alto Montijo da zona alta de Lisboa, e a outra, designada por conduta "baixa" da EPAL (ou conduta de Cascais), parte do reservatório de Campo de Ourique, da zona média igualmente de Lisboa.

No período de 1979 a 1983, a referida dependência do abastecimento da EPAL atingiu o nível mais elevado em 1981 (85% da EPAL e 15% de origens próprias) e o nível mais reduzido em 1979 (64% da EPAL e 36% de origens próprias).

A conduta "alta" da EPAL entra junto à povoação do Arneiro e tem um traçado que coincide, sensivelmente, com a linha correspondente ao terço inferior do concelho. O seu diâmetro é, dentro do concelho de Cascais, de 750 mm.

A conduta "baixa" da EPAL entra junto à Quinta do Marquês, sendo uma conduta telescópica com diâmetro de 500 mm no troço inicial, passando sucessivamente a 400 e 300 mm. Esta conduta, mais antiga que a anterior, foi outrora adutora única. A situação actual é distinta, estando as duas condutas interligadas em Caxias (concelho de Oeiras).

Esta interligação permite o reforço do abastecimento feito através da conduta "baixa" (note-se que ela termina na Vila de Cascais), tirando-se, assim, partido das maiores disponibilidades de cota piezométrica existentes na conduta "alta". Esta, como se referiu, provém, efectivamente, da zona alta de Lisboa (reservatório do Alto Montijo, com a soleira à cota 122 m), enquanto que a conduta "baixa" tem origem na zona média (reservatório

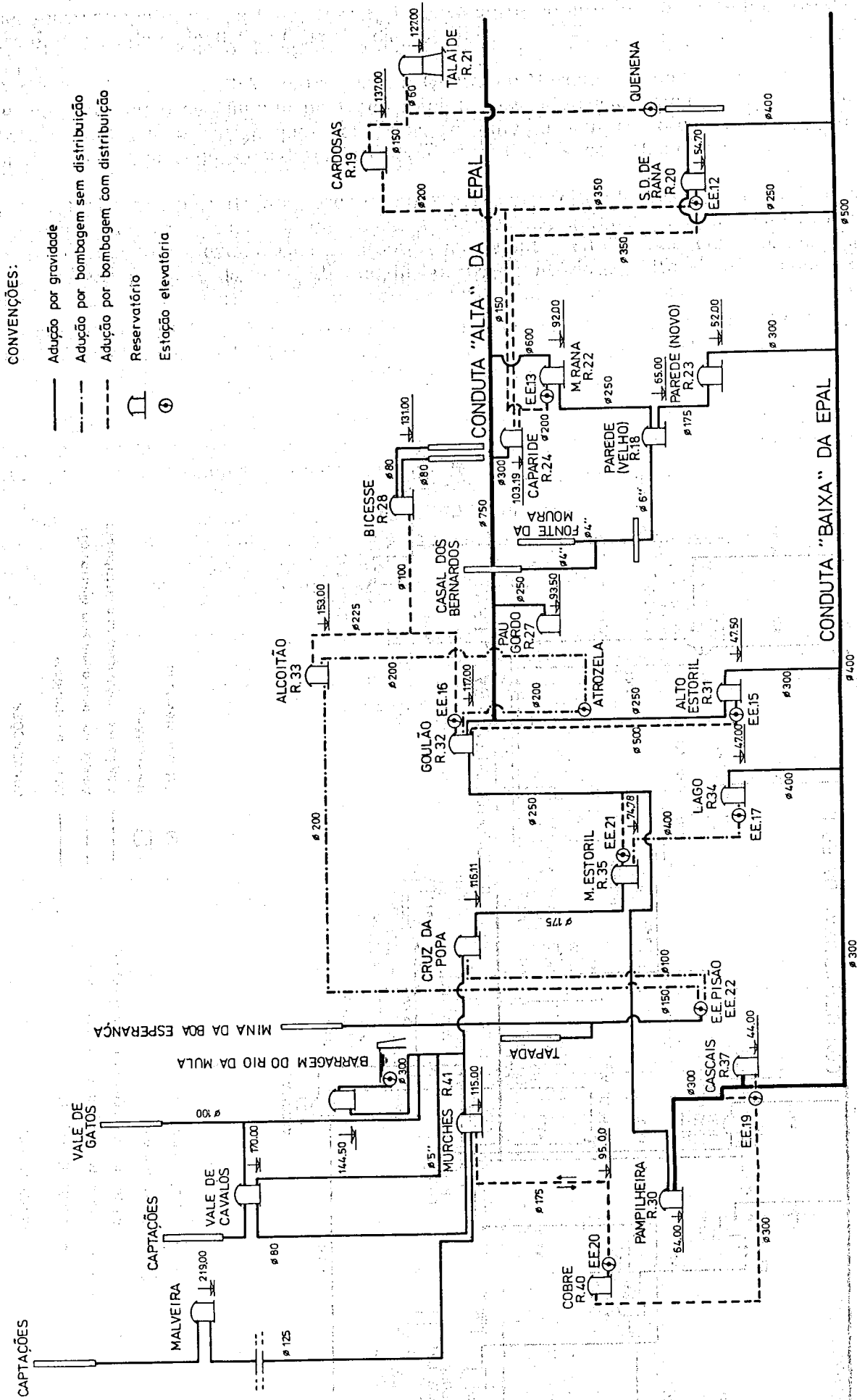


FIG. 1 - Esquema altimétrico do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais.

de Campo de Ourique, com a soleira à cota 90 m). Refira-se que a ligação em causa tem que ser hidráulicamente controlada, uma vez que a pressão de serviço máxima admissível na conduta "baixa" é limitada.

Segundo informações prestadas por técnicos da EPAL, com o reforço acima citado, registam-se na conduta "baixa", à entrada do concelho de Cascais, cotas piezométricas que variam entre os 66 e 55 m; sem tal ligação, as cotas piezométricas na conduta "baixa" reduzir-se-iam para valores que se situam entre um máximo de 60 m e um mínimo de 40 m.

A conduta "alta", no percurso dentro do concelho, alimenta por derivação os seguintes reservatórios: Moínhos de Rana (R22-derivação  $\varnothing$  600 mm), Caparide (R24-derivação  $\varnothing$  300 mm) e Pau Gordo (R27-derivação  $\varnothing$  250 mm).

No extremo final, a conduta "alta" liga à conduta de 250 mm de diâmetro que une os reservatórios do Goulão (R32) e Alto Estoril (R31). Estes dois reservatórios podem ser alimentados directamente por aquela adutora, embora, em relação ao primeiro, tal alimentação apenas ocorra durante curtos períodos, sendo os caudais preferencialmente encaminhados para o reservatório do Alto Estoril (R31).

No tocante à conduta "baixa" da EPAL, as derivações de percurso existentes ligam a mesma aos seguintes reservatórios: S. Domingos de Rana (R20-duas condutas  $\varnothing$  400 e 250 mm), Parede "Novo" (R23-derivação  $\varnothing$  300 mm), Alto Estoril (R31-derivação  $\varnothing$  300 mm) e Lago (R34-derivação  $\varnothing$  400 mm).

Finalmente, a conduta "baixa" termina na sua ligação ao reservatório de Cascais (R37). A adução de água da EPAL para jusante deste reservatório pode, no entanto, ainda prosseguir, mediante escoamento gravítico ou elevação na estação elevatória de Cascais (EE19). Desta estação elevatória elevam-se caudais para o reservatório da Pampilheira (R30) e para o reservatório do Cobre (R40); neste último, poder-se-á, ainda, proceder a uma nova elevação para o reservatório de Murches (R41).

De referir que os reservatórios do Alto Estoril (R31), do Lago (R34) e de Cascais (R37) não fazem, actualmente, distribuição gravítica, servindo apenas para alimentação dos grupos que junto a eles estão instalados (respectivamente EE15, EE17 e EE19).

Uma das características importantes do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais é a possibilidade de um duplo abastecimento da maior parte dos seus reservatórios, no sentido de que poderão receber água proveniente quer de uma quer de outra das condutas adutoras da EPAL.

Estão nessas condições os reservatórios, já referidos, do Alto Estoril (R31) e da Parede "Novo" (R23). O primeiro recebe directamente, e por gravidade, caudais aduzidos pelas condutas "alta" e "baixa" da EPAL; o reservatório da Parede "Novo" (R23), para além de estar ligado à conduta "baixa", recebe, também, água proveniente do reservatório da Parede "Velho" (neste, entram excedentes do consumo da rede de distribuição do reservatório de Moínhos de Rana - R22).

De igual modo, o reservatório de Caparide (R24), pode, também, ser alimentado da conduta "baixa"; a adução será neste caso efectuada a partir da estação elevatória de S. Domingos de Rana (EE12) por meio de uma tubagem com 350 mm de diâmetro. Saliente-se, no entanto, que tal adução apenas se processa em condições de emergência, sendo aquela elevatória usada em condições normais como distribuidora gravítica para as redes de distribuição do Zambujal e de Sassoeiros.

A situação de dupla adução é possível de garantir, também, para o abastecimento ao reservatório do Goulão (R32), uma vez que nele tanto podem entrar caudais bombados do Alto Estoril (EE15) como directamente provenientes da conduta "alta" da EPAL.

Regista-se, finalmente, quanto ao reservatório do Goulão (R32), que a partir do mesmo, Parede "Novo" (R23). O primeiro recebe directamente, e por gravidade, caudais aduzidos pelas condutas "alta" e "baixa" da EPAL; o reservatório da Parede "Novo" (R23), para além de estar ligado à conduta "baixa", recebe, também, água proveniente do reservatório da Parede "Velho" (neste, entram excedentes do consumo da rede de distribuição do reservatório de Moínhos de Rana - R22).

e com bombagem directa às redes de distribuição, é reforçado o abastecimento às zonas de influência dos reservatórios de Alcoitão (R33) e Bicesse (R28).

O reservatório do Monte Estoril (R35) é alimentado com água da conduta "baixa" da EPAL, recorrendo-se, para o efeito, à bombagem de caudais na estação elevatória do Lago (EE17). Todavia, em determinadas ocasiões, na conduta "baixa" registam-se cotas piezométricas suficientes, e então, com "by-pass" ao reservatório do Lago (R34), a água é directamente conduzida ao reservatório do Monte Estoril (R35).

O reservatório da Pampilheira (R30), como já foi referido, é alimentado essencialmente com base em caudais provenientes da conduta "baixa" da EPAL, e bombados na estação elevatória de Cascais (EE19). No entanto, àquele reservatório chegam, também, em condições normais de exploração, caudais sobrantes do consumo da rede de distribuição da zona de influência do reservatório do Goulão (R32).

Resta, no tocante à alimentação com origem nas condutas adutoras da EPAL, fazer uma referência ao abastecimento à área dependente do reservatório de Cardosas (R19). Trata-se de uma vasta área de consumo, que inclui locais em rápida expansão urbanística, como sejam Tires, Materraque, Matos Cheirinhos e Abóbada. O seu abastecimento de água tem sido garantido, essencialmente, à custa de caudais da EPAL, bombados directamente para a rede a partir de S. Domingos de Rana (EE12) e de Moínhos de Rana (EE13). Neste esquema, o reservatório de Cardosas (R19), embora recebendo uma pequena contribuição das captações locais de Quenena, funciona na rede como reservatório de extremidade.

No que respeita aos sistemas que estabelecem a ligação a captações locais dos SMASC considera-se, para efeito de designação e descrição, o nome das captações que lhes servem de base. Na Figura 1, já citada, podem observar-se as ligações das captações locais ao sistema global de abastecimento ao concelho de Cascais.

No extremo nordeste do concelho, no vale da ribeira de Parreiras (ribeira da Lage), localiza-se a captação de Quenena, a partir da qual a água é elevada para os reservatórios de Talaíde (R21) e de Cardosas (R19).

No que respeita à alimentação do reservatório de Cardosas com água de Quenena, trata-se apenas de uma pequena contribuição, visto que, como foi já referido, aquele reservatório é fundamentalmente servido com água proveniente da EPAL. De salientar que, em ocasiões em que a água de Quenena se apresenta imprópria para o consumo, é também usual, mediante "by-pass" ao reservatório de Cardosas, fazer chegar a Talaíde a água proveniente da EPAL.

Os caudais captados nas origens próprias de Fonte da Moura e do Casal dos Bernardos são reunidos na caixa de Caparide, e daí transportados graviticamente para o reservatório de Parede "Velho" (R18). Este encontra-se ligado ao reservatório da Parede "Novo" (R23) através da própria rede de distribuição local.

Para o reservatório elevado de Bicesse (R28) são bombados os caudais provenientes de dois furos (o de Bicesse e o de Alcoitão), os quais não constituem mais do que uma contribuição para as necessidades locais.

É na zona noroeste do concelho, designadamente no sopé da serra de Sintra, que se localizam as principais origens próprias do concelho de Cascais. A elas se fará referência em seguida. Dos furos da Atrozela são transportados, por duas condutas elevatórias com 200 mm de diâmetro, caudais que reforçam os volumes armazenados nos reservatórios do Goulão (R32) e de Alcoitão (R33).

Os caudais captados na Tapada, Boa Esperança e Pisão, depois de concentrados na estação elevatória com esta última designação (EE22), são bombados para o reservatório de Alcoitão (R33) e para a caixa da Cruz da Pôpa, sendo a partir desta transportados graviticamente para o reservatório do Monte Estoril (R35).

A partir das captações do Rio da Mula (albufeira com capacidade de armazenamento de 400 000 m<sup>3</sup>), de Vale de Gatos e de Vale de Cavalos, os caudais disponíveis são aduzidos por uma conduta com 300 mm de diâmetro, a qual se bifurca para alimentação dos reservatórios de Murches (R41) e do Monte Estoril (neste caso, com passagem pela caixa da Cruz da Pôpa).

A água proveniente daquelas três captações locais pode, ainda, alimentar por gravidade o reservatório do Cobre (R40) sendo para o efeito utilizada a conduta elevatória com 175 mm de diâmetro, através da qual, em sentido inverso (Cobre-Murches), se bombam caudais provenientes da conduta "baixa" da EPAL.

Finalmente, as captações da Malveira, para além do abastecimento local, são utilizadas para o reforço dos caudais necessários às redes de distribuição alimentadas a partir do reservatório de Murches, nomeadamente, às da povoação da Aldeia de Juso.

### 3. ELEMENTOS DE BASE E CRITÉRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO

#### 3.1 - Análise do cadastro e esquematização do sistema

Para a realização do estudo foi possível dispor do cadastro do sistema de abastecimento e distribuição de água ao concelho, o qual é constituído por um conjunto de plantas (cerca de 80), tendo por base o levantamento aerofotogramétrico à escala 1/2000. Nestas plantas encontram-se indicados o traçado, diâmetro, a natureza do material das tubagens (apenas em alguns casos), a localização dos reservatórios e das estações elevatórias, a localização das diversas válvulas de seccionamento e, em certos casos, a respectiva situação operacional (abertas ou fechadas).

Da análise do cadastro concluiu-se que se trata de um elemento de base bastante completo e actualizado, situação que, aliás, é pouco frequente para outros sistemas de abastecimento em Portugal. De facto, tem sido uma preocupação constante do SMASC em manter o cadastro actualizado, procedendo à implantação das novas condutas do sistema à medida da sua entrada em serviço.

Apesar desta situação bastante favorável, foram detectadas algumas imprecisões salientando-se as seguintes:

- numa grande parte das condutas do sistema de abastecimento não se conhecia e não se conhece a natureza do material das tubagens e a respectiva data de entrada em funcionamento;
- no que respeita às válvulas de seccionamento, embora se conhecesse a sua localização, não se dispunham de elementos precisos quanto à respectiva situação operacional (abertas ou fechadas) para as condições normais de funcionamento do sistema;
- posteriormente, e após a execução das simulações preliminares de equilíbrio hidráulico do sistema, foram detectadas algumas imprecisões quanto à implantação e diâmetros de algumas das condutas indicadas nas plantas do cadastro.

Quanto ao primeiro aspecto, o conhecimento destes elementos é importante para atribuição dos coeficientes de rugosidade a considerar no cálculo das perdas de carga. Como será discutido mais adiante, e na impossibilidade de dispôr de elementos mais rigorosos, foram consideradas, nesta 1ª Fase, apenas estimativas dos coeficientes de rugosidade. No entanto, estes valores serão mais tarde ajustados durante a actividade de calibração do modelo, a desenvolver na 2ª Fase do estudo.

Quanto às válvulas de seccionamento foi contactado o pessoal técnico ligado à exploração (nomeadamente o encarregado e os operadores) e mantido um diálogo permanente ao longo da execução das diversas simulações do funcionamento hidráulico do sistema. Desta forma foi possível esclarecer convenientemente as dúvidas surgidas durante o desenvolvimento

do estudo, permitindo a obtenção de elementos precisos quanto à respectiva situação operacional (abertas ou fechadas) para as condições normais de funcionamento do sistema.

Posteriormente, e após a execução das simulações preliminares de equilíbrio hidráulico do sistema, foram detectadas algumas imprecisões quanto à implantação e diâmetros

do estudo. De forma idêntica se procedeu no esclarecimento das incorrecções de implantação e de diâmetros de certas condutas que fuguravam nas plantas de cadastro do sistema.

No que respeita à metodologia seguida na esquematização do sistema, ou seja, a selecção do âmbito e nível de detalhe apropriado a ser incluído no modelo matemático, e face às características específicas do abastecimento de água ao concelho de Cascais, foi feita a sua divisão em duas partes:

- a) a primeira, compreendendo as componentes do sistema a montante das redes de distribuição, ou seja, as condutas "alta" e "baixa" da EPAL e os reservatórios por elas alimentados (utilizando uma terminologia idêntica à da electricidade, correspondem à parte do sistema com distribuição "em alta");
- b) a segunda, englobando as componentes das redes de distribuição propriamente ditas (tubagens e respectivos reservatórios, estações elevatórias e válvulas de seccionamento).

No primeiro caso, designado por **sistema de abastecimento da EPAL**, estão compreendidos os sub-sistemas da conduta "alta" da EPAL e da conduta "baixa" da EPAL.

No segundo, consideraram-se o **sistema da zona oriental do concelho** e o **sistema da zona ocidental do concelho**. A divisão entre estes dois sistemas é justificada e feita através de cinco válvulas de seccionamento, habitualmente fechadas, contidas **grosso modo** numa linha de orientação Sul-Norte que passa pelo Forte de St<sup>o</sup> António (S. Pedro do Estoril). No que respeita a cada um destes sistemas (zonas oriental e ocidental), foi possível, ainda, considerar diversos sub-sistemas, cuja definição veio a ser condicionada pela existência de válvulas de seccionamento que, em condições normais de funcionamento, se encontram obturadas.

Assim, no sistema da zona oriental do concelho foram considerados os sub-sistemas Norte, cujos nós de alimentação são as estações elevatórias de S. Domingos de Rana (EE12) e de Moínhos de Rana (EE13) e o reservatório de Cardosas (R19), e Sul, cujos nós de alimentação são os reservatórios de S. Domingos de Rana (R20), Moínhos de Rana (R22), Parede "Novo" (R23), Parede "Velho" (R18) e Caparide (R24).

No sistema da zona ocidental do concelho foram considerados os sub-sistemas da Pampilheira, alimentado pelo reservatório com o mesmo nome (R30), o de Cascais-Cobre, alimentado pela estação elevatória de Cascais (EE19) e pelo reservatório de Cobre (R40), o do Monte Estoril, alimentado pelo reservatório com o mesmo nome (R35), o de Alto Estoril-Goulão, alimentado pela estação elevatória de Alto Estoril (EE15) e pelo reservatório do Goulão (R32), o de Pau-Gordo, alimentado pelo reservatório com o mesmo nome (R27), o de Alcoitão, alimentado pelas estações elevatórias de Pisão (EE22) e do Goulão (EE16) e pelos reservatórios de Bicesse (R28) e Alcoitão (R33) e, finalmente, o sub-sistema de Murchês, alimentado pelos reservatórios de Murchês (R41) e da Malveira.

Importa referir, também, que para efeitos de modelação matemática não foram considerados alguns sub-sistemas devido às suas características de funcionamento hidráulico ou de importância e dimensão relativamente ao sistema global de abastecimento de água ao concelho de Cascais. Estão nestas condições sub-sistemas constituídos por adutoras sem consumo de percurso, por bombagem ou gravidade, entre dois reservatórios ou entre uma origem própria dos SMASC e um ou mais reservatórios do sistema global; estão, ainda, nestas condições sub-sistemas correspondentes a pequenas redes de distribuição.

Um segundo nível de esquematização envolveu uma simplificação dos sistemas das zonas oriental e ocidental<sup>(1)</sup> do concelho, conseguida à custa da eliminação de um certo número

(1) - No caso do sistema de abastecimento da EPAL, para efeitos da construção do modelo matemático, consideraram-se todas as tubagens e respectivas derivações para os reservatórios que constituem cada um dos sub-sistemas.



de tubagens das respectivas redes de distribuição e de uma definição dos nós de junção, em relação aos quais foram agregados os consumidores e os respectivos consumos, de acordo com a metodologia descrita mais adiante.

Definida a esquematização destes sistemas foram preparados e criados ficheiros mestres topológicos dos nós e das tubagens (Bloco A da Figura 2), os quais constituíram a base de preparação dos ficheiros de dados para executar a simulação das condições de equilíbrio hidráulico dos diversos sub-sistemas. Sobre este aspecto importa salientar os seguintes pontos fundamentais:

- a) para os nós de junção os ficheiros incluem apenas o número de código e a respectiva cota topográfica, uma vez que os respectivos consumos foram objecto da construção de um ficheiro mestre próprio (Bloco B da Figura 2);
- b) não estão incluídos nestes ficheiros os nós de alimentação dos sistemas, relativos aos reservatórios e estações elevatórias, os quais pelas suas características foram objecto de um tratamento separado;
- c) para as tubagens, os ficheiros incluem o número de código, os números de código dos nós a montante (nó "de") e a jusante (nó "para"), o comprimento, o diâmetro e o coeficiente de rugosidade.

No estabelecimento dos números de código para os nós de junção e para as tubagens foram seguidos critérios específicos e que a seguir se enunciam. Assim, na numeração dos nós os dois últimos dígitos indicam o número da respectiva carta de cadastro, à escala 1/2000. No que respeita à numeração das tubagens, para cada um dos sub-sistemas foi atribuída uma gama de valores permitidos. A codificação feita desta forma apresenta a vantagem de permitir uma rápida identificação da localização dos nós de junção e das tubagens, para além de assegurar que os números de código são unívocos, independentemente do sub-sistema em que se localizam, o que permite que se possam agrupar, em qualquer momento, os actuais sub-sistemas. Este critério garante, ainda, uma grande flexibilidade para a criação futura de novos nós de junção e respectivas tubagens.

No que se refere aos sub-sistemas das condutas "alta" e "baixa" da EPAL não foi considerada qualquer numeração especial; nestes casos, os nós de junção e as tubagens foram numerados sequencialmente, dado o seu reduzido número em cada caso.

### 3.2 - Elementos especiais: reservatórios e estações elevatórias

Num sistema de distribuição de água, os elementos especiais do tipo reservatórios e estações elevatórias constituem, na perspectiva da modelação matemática, os chamados nós de alimentação, ou seja, os nós a partir dos quais se verifica a entrada de caudal no sistema. Para além disso, estes nós definem a energia disponível à entrada do sistema de distribuição, não só através dos níveis de água nos reservatórios mas também das relações altura de elevação (H)/caudal (Q) dos grupos electrobomba das estações elevatórias. Consequentemente, o conhecimento rigoroso da sua inserção no sistema de distribuição e das correspondentes condições de operação constitui um dos aspectos fundamentais na construção de um modelo matemático.

Tendo presente, por um lado, as considerações anteriores e, por outro, que a informação disponível relativamente aos reservatórios e estações elevatórias do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais se encontrava dispersa e incompleta, foi necessário proceder a uma sistematização exaustiva de toda a informação disponível e a um levantamento, na medida do possível, das lacunas existentes.

O levantamento da situação foi feito, numa primeira fase, com base em fichas especialmente preparadas para o efeito (nas quais se inquiria sobre as especificações técnicas de cada elemento especial do sistema), na troca de impressões com o pessoal técnico ligado à exploração e nos desenhos de projecto dos reservatórios e das estações elevatórias, exis-



tentes nos SMASC. Numa segunda fase, após uma análise da informação recolhida e com o objectivo de esclarecer as dúvidas existentes, foi realizado um levantamento *in situ* por técnicos dos SMASC e da equipa técnica executante do estudo.

Na recolha e sistematização destes elementos de base houve a preocupação de atingir diferentes objectivos simultaneamente, de entre os quais se salientam a definição, com o maior rigor possível, dos dados de base para os nós de alimentação do sistema, com vista à simulação das condições de funcionamento hidráulico; a recolha de elementos para a selecção de locais onde se recomenda a instalação do equipamento de medição de caudais, pressão e níveis de água; a recolha de elementos de base tendo em vista, desde já, o desenvolvimento da 2ª Fase do estudo e, como objectivo indirecto, a sistematização para os SMASC de informação que, até ao momento, se encontrava dispersa por diferentes documentos de trabalho.

Como resultado síntese do levantamento realizado, foi preparado um conjunto de esquemas e de quadros resumo respeitantes às características dos reservatórios e estações elevatórias.

No estabelecimento dos números de código utilizados para nós de alimentação do tipo reservatórios ou estações elevatórias e especiais de junção, os dois primeiros dígitos correspondem à numeração atribuída, pelos SMASC, aos respectivos reservatórios do sistema de abastecimento de água<sup>(1)</sup>; os dois restantes dígitos são numerados sequencialmente de 00 a 05. A numeração dos nós de alimentação, feita desta forma, permite uma rápida identificação e localização dos mesmos, não só nos ficheiros de dados mas também nos de resultados.

### 3.3 - Análise dos dados sobre consumos e critérios de atribuição aos nós

A análise dos dados sobre consumos e os critérios de atribuição aos nós, com vista à definição dos caudais a considerar na simulação das condições de funcionamento do sistema de abastecimento de água ao concelho de Cascais para a situação actual - 1ª Fase -, constituiu uma tarefa fundamental.

A metodologia a seguir numa actividade deste tipo depende, essencialmente, da qualidade e natureza dos dados disponíveis, que no caso presente foram os seguintes:

- listagem, em papel<sup>(1)</sup>, de todos os consumidores do concelho, com indicação do número de código do consumidor e da respectiva morada;
- registo, em banda magnética<sup>(2)</sup>, dos consumos mensais (período de Dezembro de 1983 a Setembro de 1984) lidos, por consumidor;
- listagem, em papel, dos volumes mensais de água entrados no sistema a partir das fontes próprias dos SMASC e fornecidos pela EPAL.

Em face dos dados disponíveis, foi seguida a metodologia representada através do Bloco B do fluxograma sumário apresentado na Figura 2. Esta metodologia pode ser agrupada numa etapa preliminar e três operacionais. A etapa preliminar consistiu na detecção dos consumidores em falta na banda magnética, através da comparação directa com a listagem, em papel, de todos os consumidores do concelho. Foram, assim, identificados dois grupos de consumidores; para o primeiro, existia informação, em registo magnético, dos volumes mensais do consumo e, para o segundo, não se dispozia dessa informação seria necessário definir critérios para se estimar o respectivo consumo.

(1) - Listagem preparada pelo concelho de Cascais, com indicação do número de código do consumidor e da respectiva morada.

(2) - Elemento fornecido pela INFOR, Sociedade Portuguesa de Estudos e Informática, Lda., por solicitação dos SMASC.

(3) - Listagem, em papel, dos volumes mensais de água entrados no sistema a partir das fontes próprias dos SMASC e fornecidos pela EPAL.

Em face dos dados disponíveis, foi seguida a metodologia representada através do Bloco B do fluxograma sumário apresentado na Figura 2.

A primeira etapa operacional consistiu na atribuição dos consumidores aos nós definidos na esquematização do sistema e com base nas moradas que figuravam na listagem, em papel, dos consumidores do concelho de Cascais. O esclarecimento de dúvidas surgidas durante o desenvolvimento desta etapa foi feito através de deslocações realizadas por técnicos da equipa executante dos estudos e dos SMASC.

A segunda etapa operacional destinou-se a corrigir, criteriosamente, os registos anómalos dos consumos mensais, por consumidor, que figuravam na banda magnética, a qual compreendeu um conjunto de passos desde o cálculo das médias e dos desvios padrão das séries mensais de consumo até à detecção e correcção criteriosa dos registos anómalos, propriamente dita (lado superior direito do Bloco B da Figura 2).

A terceira etapa operacional destinou-se à criação do ficheiro mestre dos consumos médios nos nós do sistema, a ser utilizado na preparação do ficheiro de dados de entrada do programa de simulação, a qual compreendeu, também, um conjunto de passos (lado inferior direito do Bloco B da Figura 2).

Para o tratamento informático dos ficheiros originais e o desenvolvimento da metodologia descrita, foi desenvolvido um conjunto de programas de cálculo automático, genericamente designado por PROCON, sigla abreviada para PROcessamento de CONsumos. Este conjunto inclui quatro programas designados por PROCON1/HS, PROCON2/HS, PROCON3/HS e PROCON4/HS, cuja finalidade é a que consta na Figura 2.

Para completar a análise sobre consumos, e em certa medida avaliar a fiabilidade dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia acabada de descrever, apresenta-se na Figura 3 um gráfico de barras (gráfico a)), em que se representam, relativamente ao sistema de abastecimento de água ao concelho, as séries mensais:

- a) dos consumos não rectificadados (com base apenas nos registos que figuravam na banda magnética);
- b) dos consumos rectificadados (por aplicação da metodologia descrita);
- c) dos volumes de água produzidos (entradas no sistema a partir das fontes próprias dos SMASC e fornecidos pela EPAL).

Este gráfico evidencia claramente a importância da aplicação da metodologia de rectificação dos consumos, caso contrário os caudais a considerar para efeito da simulação das condições de equilíbrio hidráulico teriam sido irrealistas; note-se que nos meses de Janeiro, Março, Abril, Maio e Junho os consumos não rectificadados são inclusivamente superiores aos volumes de água entrados no sistema.

Na Figura 3 apresentam-se, ainda, dois outros gráficos (gráficos b) e c)). O primeiro relativo às séries mensais dos volumes de água facturados e que constituem uma estimativa da água não medida e das perdas e fugas no sistema. O segundo gráfico representa, também, as séries mensais dos volumes de água não facturados, mas expressas em termos percentuais dos volumes de água produzidos.

A terminar, refira-se que o rigor dos números apresentados é o compatível com a fiabilidade da informação de que foi possível dispôr. Na análise destes resultados deve ter-se presente, por um lado, os critérios utilizados na rectificação dos consumos e, por outro, que não se conhecem as margens de erro dos valores dos volumes de água medidos (produzidos e lidos nos contadores domiciliários).

#### 4. AGRADECIMENTOS

A presente comunicação decorre do contrato celebrado entre os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Câmara Municipal de Cascais e o Consórcio das Empresas HIDROPROJECTO, Consultores de Hidráulica e Salubridade, SARL e HIDROSISTEMAS, Estu-

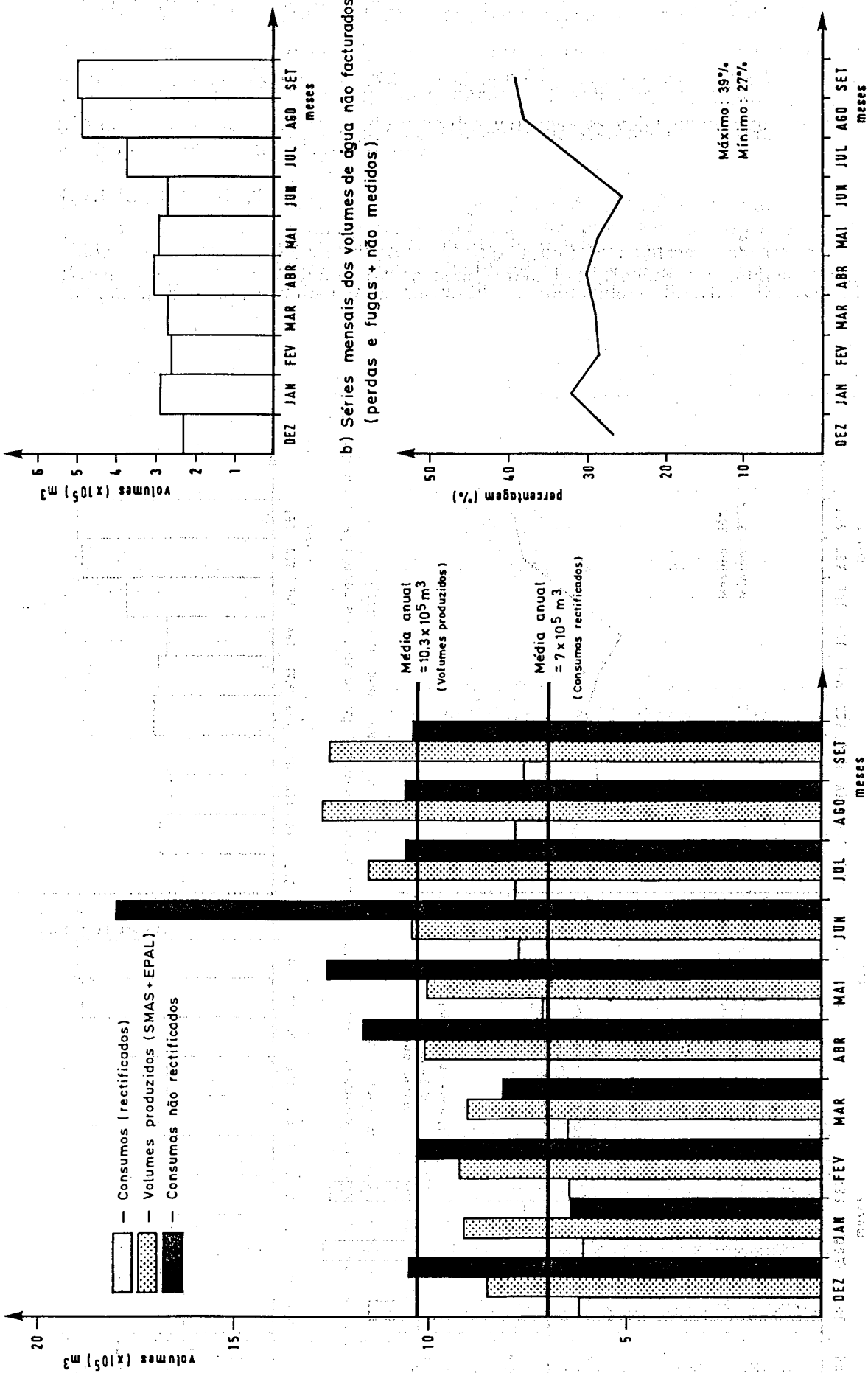


FIG. 3 - Análise dos consumos (Dezembro 1983/Setembro 1984).

dos Especiais de Sistemas Hídricos e Ambientais, Lda., para a realização do "Estudo para Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais". A estas entidades e em especial aos SMASC, na pessoa do seu Director Eng<sup>o</sup> Álvaro Costa, os autores agradecem reconhecidamente o terem tornado possível a elaboração da presente comunicação.

#### ANEXO I - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, A.J.P. 1984 - *Modelação Matemática em Redes de Distribuição de Água - O Caso do Município de Cascais*, 3<sup>as</sup> Jornadas do Ambiente (5 a 9 de Junho). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Saneamento Básico. Lisboa.
- HIDROPROJECTO/HIDROSISTEMAS 1985a - *Estudo para Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais. Volume 1 - Peças Escritas - Tomos I a VI*. Lisboa.
- HIDROPROJECTO/HIDROSISTEMAS 1985b - *Estudo para Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais. Volume 2 - Peças Desenhadas*. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A.; COSTA, A.J.P. 1984 - *Implementação do Modelo Matemático do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais*. I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Tema Sistemas de Produção e Distribuição de Água. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984a - *Modelação do Equilíbrio Hidráulico de Sistemas de Distribuição de Água. Parte I - Formulação do Problema*. Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984b - *Modelação do Equilíbrio Hidráulico de Sistemas de Distribuição de Água. Parte II - Métodos Numéricos de Resolução*. Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984c - *Simulação de Sistemas de Distribuição de Água: Situação Actual e Perspectivas para Portugal*. I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Tema Sistemas de Produção e Distribuição de Água. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A.; LAGES, U.; SALSINHA, J. C.; VIDEIRA, A. 1985 - *Modelo Matemático de Planeamento e Exploração do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais - Parte B*. 2<sup>as</sup> Jornadas Técnicas da APRH. Estoril.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984a - *Modelação do Equilíbrio Hidráulico de Sistemas de Distribuição de Água. Parte I - Formulação do Problema*. Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984b - *Modelação do Equilíbrio Hidráulico de Sistemas de Distribuição de Água. Parte II - Métodos Numéricos de Resolução*. Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. 1984c - *Simulação de Sistemas de Distribuição de Água: Situação Actual e Perspectivas para Portugal*. I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Tema Sistemas de Produção e Distribuição de Água. Lisboa.
- RIBEIRO DE SOUSA, E.A.; LAGES, U.; SALSINHA, J. C.; VIDEIRA, A. 1985 - *Modelo Matemático de Planeamento e Exploração do Sistema de Abastecimento de Água ao Concelho de Cascais - Parte B*. 2<sup>as</sup> Jornadas Técnicas da APRH. Estoril.