

III SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
(SILUBESA)

SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DA  
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE LISBOA

M. RAMOS MOTTA (1), J. GUEIFÃO DE OLIVEIRA (2)  
A. AMARAL (3), J.L. CARREIRAS (4) e J.L. PINHEIRO (5)

- (1) Eng<sup>o</sup> Civil (UP) e Sanitarista (Dip.S.E.Delft),  
Chefe do Projecto, Director dos Serviços de Estudos e Planeamento, EPAL  
(2) Engenheiro Civil (IST), Director dos Serviços de Distribuição, EPAL  
(3) Engenheiro Técnico Civil (ISEL), Coordenador funcional do Projecto, EPAL  
(4) Engenheiro Civil (IST), Serviços de Distribuição, EPAL  
(5) Técnico dos Serviços de Distribuição, EPAL

RESUMO

A Rede de Distribuição de Água de Lisboa tem cerca de 1 300 Km de extensão e por ela circulam anualmente 130 milhões de metros cúbicos que abastecem a cidade de Lisboa e os concelhos limítrofes a que corresponde uma população de cerca de 1,5 milhões de habitantes.

A solução escolhida pela EPAL - Empresa Pública de Águas Livres, responsável pelo Sistema de Abastecimento de Água à Região de Lisboa, para o estudo e implementação do Modelo Matemático da Rede de Lisboa teve como premissas fundamentais: a realização do trabalho com a assistência técnica de uma empresa europeia com experiência comprovada nos domínios da modelação matemática e da distribuição de água, e a maior responsabilização e coordenação da EPAL com aquisição de tecnologia em todas as etapas do Estudo.

Seleccionada a Empresa Consultora, através de consulta internacional, a EPAL decidiu constituir uma equipa técnica permanente que, com o apoio de assessoria portuguesa especializada, colaborou activamente com o Consultor na execução do Projecto.

O tipo de solução adoptada assim como os problemas surgidos e a forma peculiar como, por vezes, foram resolvidos fazem-nos crer no interesse que a sua abordagem possa vir a ter para as entidades interessadas na modelação matemática de redes de distribuição de água.

Na comunicação serão abordados os principais aspectos práticos do trabalho desenvolvido com a colaboração de vários Serviços da EPAL, coordenados pela Equipa do Projecto, e procurar-se-á transmitir a experiência vivida ao longo da sua realização.

## 1. Introdução

Embora as primeiras tentativas efectuadas para o estabelecimento de um Modelo Matemático da Rede de Lisboa remontem a 1973, o facto é que, apesar de diversas diligências efectuadas durante mais de uma dezena de anos, esse de siderato não teve concretização, devido à ocorrência de dificuldades de vá-ria ordem.

Em 1983 foram definidas as bases gerais para a elaboração de um estudo ge-ral de Optimização do Sistema de Abastecimento de Água à Região de Lisboa no qual se integrava a revisão e actualização do Plano Geral da Rede de Distribuição de Lisboa e o Modelo Matemático da Rede.

No ano seguinte foi decidido implementar o Estudo Geral de Optimização, con-quanto subdividido em três estudos diferentes, tendo em atenção os funda-mentos de um parecer técnico entretanto emitido pelo Banco Mundial, (1) a solicitação da EPAL.

Em Novembro de 1985 a Administração da EPAL definiu como orientação que o MODELO MATEMATICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO seria elaborado com grande inter-venção e responsabilização da EPAL, de modo a proporcionar uma transferência de tecnologia para os técnicos envolvidos no Projecto, e com a assistência técnica de uma Empresa de Águas europeia com conhecimentos e experiência adequados na modelação, calibração e exploração de modelos matemáticos de Sistemas de Distribuição de Água.

A fim de se vir a concretizar tais objectivos, foi nomeado o Chefe do Pro-jecto tendo-se procedido, através de uma equipa-base constituída pelos três primeiros co-autores, à elaboração de Termos de Referência (TOR) estabele-cendo o âmbito e objectivo do Estudo.

Em Fevereiro de 1986, o Eng<sup>o</sup> D. Coyaud do Banco Mundial (1) efectuou com a equipa da EPAL a revisão dos TOR, ficando devidamente delimitadas nesse do-cumento as responsabilidades do Consultor e da EPAL.

Após contactos directos e visitas a diversas Empresas congéneres pré-selec-cionadas, com vistas a sensibilização para uma eventual prestação de ser-viço de consultoria e recolha de elementos de interesse para o projecto, a EPAL preparou uma "short list" que veio a ser aprovada pelo Banco Mundial.

As três empresas seleccionadas deram a melhor atenção à consulta que lhes foi dirigida tendo, após visita dos respectivos representantes à EPAL, en-tregue as propostas no prazo estabelecido.

No seguimento do processo, a EPAL decidiu adjudicar à Compagnie Général des Eaux a prestação do serviço de consultoria pretendido. Foi ainda assegura-da a colaboração do Prof. Eng<sup>o</sup> Ribeiro de Sousa, como assessor especializa-do da equipa do projecto, solução que se revelou do maior interesse durante o desenvolvimento dos trabalhos, com especial realce para a apreciação téc-nica das propostas e especificação e instalação do "hardware".

O Modelo servirá de instrumento à EPAL para proceder à revisão e actualiza-

---

(1) O Estudo Geral de Optimização foi integrado, em 1984, no "Lisbon Region Water Supply Project" do qual o Subsistema do Castelo do Bode constituiu principal empreendimento financiado pelo B. Mundial.

ção do Plano Geral da Rede de Lisboa, incluindo a adução para os municípios vizinhos, com vistas à optimização do seu funcionamento e possibilitará, de signadamente, o desenvolvimento ou a substituição de partes da rede geral de forma coerente e integrada, bem como a racionalização da gestão corrente do Sistema de Distribuição.

A análise através do Modelo, facilitando a simulação do funcionamento do sistema em função das necessidades de consumo a médio e longos prazos, permitirá, ainda, planear e programar atempadamente a expansão da capacidade ou a remodelação da Rede de Distribuição.

É, também, oportuno salientar que o estabelecimento e exploração do **Modelo Matemático da Rede** (1) e a implementação gradual do **Sistema de Telegestão e do Centro de Controle de Exploração** (1) constituirão um marco importante na via de modernização para que caminha a EPAL de modo a poder aproximar-se das suas congénères europeias.

## 2. A Rede de Distribuição de Lisboa

Devido à acentuada orografia da cidade de Lisboa, que se estende desde o nível do Rio Tejo até cotas superiores a 120 metros, a distribuição de água à cidade é feita através de cinco zonas interligáveis, correspondentes a diferentes andares de distribuição. Estas zonas e as cotas topográficas teóricas que as limitam são as seguintes:

Zona Baixa	-	entre	0	e	30	m
Zona Média	-	entre	30	e	60	m
Zona Alta	-	entre	60	e	90	m
Zona Superior	-	entre	90	e	120	m
Zona Limite	-	acima		de	120	m

A Zona Superior é constituída por duas sub-zonas independentes, geograficamente separadas: a Zona Superior de Monsanto e a Zona Superior da Charneca.

A Zona Limite engloba pequenas áreas servidas por sobrepressores.

A rede de distribuição tem cerca de 1 300 Km de extensão sendo em cerca de 95% constituída por condutas de ferro fundido e fibrocimento, em partes sensivelmente iguais.

Existem ainda condutas de betão armado e ferro dúctil e alguns troços de chapa de aço.

Por esta rede circulam anualmente cerca de 130 milhões de metros cúbicos de água que abastecem a cidade de Lisboa e concelhos limítrofes - Oeiras, Cascais, Sintra, Amadora e parte de Loures.

---

(1) Constituem partes integrantes do "Estudo Geral de Optimização" já referido

### 3. Descrição do Modelo Matemático

O programa de cálculo automático automático designa-se PROGRES, PROG de Programa e RES de Réseau e está escrito em linguagem FORTRAN.

Para a formulação das condições de equilíbrio hidráulico são utilizadas as equações das malhas e a técnica numérica empregue na sua resolução consiste no método de Newton-Raphson.

A fórmula utilizada para avaliação das perdas de carga contínuas nas condutas é a de Manning-Strickler.

As dimensões do programa são:

Número de troços .....	3 000
" " nós .....	3 000
" " órgãos .....	500
" " malhas .....	750
" " curvas de bombas .....	100

O programa, em versão interactiva em lingua portuguesa, está instalado em micro-computador de 640 kb de RAM.

Proporciona a apresentação de resultados em listagem impressa (Quadro 1) e permite a saída gráfica da rede calculada com os resultados do equilíbrio hidráulico em notação simbólica (Fig. 3).

No sentido de proporcionar ao utilizador menos experiente ainda maior facilidade na manipulação do modelo e interpretação dos resultados, a Equipa da EPAL tem vindo a aperfeiçoar a saída gráfica através do desenvolvimento de software compatível.

A figura 4 realizada num traçador de gráficos, apresenta o esquema da rede modelizada da Zona Alta de Lisboa. A figura 5, obtida por "zoom" de uma área restrita da figura anterior, evidencia a forma de representação das características topológicas.

É igualmente possível obter a saída gráfica do esquema correspondente a um dado cálculo, contendo a indicação dos parametros de funcionamento hidráulico nos troços e nós.

Sendo a rede de distribuição constituída por zonas de funcionamento hidráulico normalmente independente, mas podendo eventualmente encontrar-se interligadas através de válvulas de ligação de zona, o programa permite o cálculo de cada uma das zonas isoladamente ou de duas ou mais interligadas.

Graças à forma como está concebido o ficheiro de dados do programa, as ex-

pansões da rede podem ser consideradas como prolongamento da zona onde se localizam ou como se de uma nova rede se tratasse.

Para a construção do ficheiro de dados houve que proceder ao estudo cuidadoso da rede retendo o modo e os elementos mais importantes do seu funcionamento de forma a estabelecer um esquema simples e representativo.

Foi ainda necessário fazer uma distribuição de consumos pela rede modelizada com base nos elementos de facturação existentes e tão próxima da realidade de quanto possível.

#### 4. Esquematização da Rede

A EPAL possui um bom cadastro da rede de distribuição de Lisboa em plantas à escala 1:2000, o qual está sendo permanentemente actualizado, acompanhando as alterações que vão sendo introduzidas na rede.

Sobre essas plantas de cadastro, de que se apresenta um extracto na figura 1, foi feito o trabalho de esquematização da rede, que consistiu em:

- a) selecção dos elementos da rede a modelizar
- b) determinação das suas características

Foram considerados todos os elementos especiais da rede de distribuição (reservatórios, estações elevatórias, sobrepessores e válvulas redutoras de pressão) e foi feita uma selecção das válvulas de seccionamento e de ligação de zona mais importantes.

No que respeita às condutas, foram considerados, numa primeira análise, todos os troços de diâmetro igual ou superior a 200 mm, embora posteriormente, se tivessem tomado em consideração troços de menor diâmetro quando a sua importância no funcionamento do sistema o exigiu.

Feita a selecção das condutas a incluir no modelo, procedeu-se à definição dos troços com características topológicas homogéneas e dos nós que os limitam. Considerou-se sempre um nó nos seguintes casos:

- a) Alteração do material ou do diâmetro da conduta.
- b) Junção de canalizações modelizadas

Consideram-se, ainda, nós de configuração com a finalidade de a saída gráfica do esquema da rede calculada ser, o mais possível, semelhante ao traçado real das canalizações principais.

No quadro seguinte pode ver-se a dimensão da rede modelizada de cada zona de distribuição.

ELEMENTOS MODELIZADOS	ZONAS DE DISTRIBUIÇÃO				
	BAIXA	MÉDIA	ALTA	CHARNECA	MONSANTO
Nós .....	264	272	481	151	195
Troços .....	329	321	584	180	260
Malhas .....	65	51	109	31	68

Identificados os troços e nós da rede a modelizar foi necessário definir com rigor as suas características, ou seja:

- a) O comprimento, diâmetro e material dos troços, a partir das plantas de cadastro.
- b) As cotas topográficas dos nós, por leitura na planta 1:1000 da cidade de Lisboa.

Foram ainda determinadas, por consulta dos documentos existentes ou por levantamento de campo, as características dos elementos especiais e órgãos modelizados.

Deste trabalho de esquematização resultaram os esquemas representativos de cada uma das zonas de distribuição, os quais evidenciam a parte modelizada das redes e contém a indicação de todas as suas características topológicas (Fig. 2).

Estes esquemas traduzem graficamente o ficheiro dos dados fornecidos ao programa e, por isso, constituem elemento de fundamental importância na exploração do modelo.

## 5. Atribuição dos Consumos aos Nós

A atribuição dos consumos aos nós constitui uma etapa muito importante e delicada num trabalho deste tipo.

Efectivamente, uma deficiente distribuição de consumos na rede modelizada é, com frequência, uma das mais importantes causas geradoras dos resultados deficientes que por vezes se obtém em cálculos com modelos matemáticos.

Por esse motivo, foi preocupação desta Equipa procurar uma metodologia que fosse tão rigorosa quanto possível, ao mesmo tempo que permitisse uma actualização periódica relativamente fácil.

A base do trabalho foi o ficheiro de todos os consumidores da EPAL com cerca de 320 mil registos, disponível no Sector de Informática, de que foi fornecida à Equipa uma listagem ordenada por números de rua e de polícia.

Refira-se que a EPAL dispõe de uma codificação numérica para as ruas da cidade, existindo um roteiro-índice para sua fácil consulta.

Nas plantas de cadastro foi definida, para cada nó da rede modelizada, uma zona de influência, de modo que cada uma das condutas da rede de distribuição estivesse na área de influência de um nó, ou seja, que o seu consumo fosse atribuído a esse nó.

O critério seguido foi o da proximidade da conduta em relação ao nó, admitindo-se simplificações de modo que a divisão de ruas por mais de um nó fosse evitada, ou, quando tal não fosse possível, permitisse uma fácil repartição.

Definidas as condutas da área de influência de cada nó houve que identificar os consumidores por elas abastecidos no percurso e atribuir-lhes o correspondente número de nó. Foi pois atribuído um nó a cada consumidor da rede.

No esclarecimento de dúvidas sobre a localização exacta de alguns consumidores, revelou-se muito eficaz a consulta das plantas dos percursos de leitura e cobrança que contêm indicação generalizada dos números de polícia dos pontos chave dos arruamentos e edifícios isolados.

Finalmente, elaborou-se um ficheiro com os consumidores associados a cada nó o que permitiu que o Sector de Informática, por tratamento desse ficheiro, pudesse fornecer o consumo afecto a cada nó, com base no consumo anual facturado em 1986.

## **6. Avaliação das Rugosidades**

A escolha dos valores do coeficiente de rugosidade  $K_s$  de Manning-Strickler foi baseada nas tabelas constantes da literatura técnica.

No entanto, foram efectuadas medições de campo destinadas a fazer a avaliação do coeficiente de rugosidade em condutas seleccionadas. Assim, em 10 troços pré-seleccionados de fibrocimento, ferro fundido e betão armado foram feitas duas medições de pressão, a montante e a jusante, e uma medição de caudal com um aparelho ultrasónico portátil. Um nivelamento de precisão, que determinou correctamente o desnível entre os dois pontos de tomada de pressão e o comprimento do troço, permitiu, por aplicação da fórmula de Manning-Strickler, calcular o coeficiente de rugosidade  $K_s$  da conduta. Houve a preocupação de conseguir caudais importantes que provocassem perdas de carga significativas, tendo-se em alguns casos forçado o caudal mediante abertura de válvulas de descarga a jusante.

No ferro fundido e no betão armado os valores obtidos, da ordem de 60, ficam abaixo dos valores indicados na literatura técnica, o que pode ser explicado por reduções de diâmetro efectivo devido a depósitos internos ou a perdas de

carga localizadas, já que os valores calculados espelham todas as perdas de carga (contínuas e localizadas) existentes no troço.

## **7. Calibração**

Após os trabalhos de esquematização, atribuição de consumos aos nós e avaliação das rugosidades, ficaram reunidos todos os elementos para a construção do ficheiro de dados e para a execução dos cálculos.

Houve no entanto, que validar os "input" através da calibração do modelo. A calibração consiste em conseguir que, para determinadas condições de funcionamento da rede, os resultados obtidos nos cálculos sejam semelhantes, com um erro admissível, aos valores observados.

A calibração assentou na medição em campo dos seguintes parâmetros:

- a) Caudais elevados e pressão nas estações elevatórias.
- b) Níveis nos reservatórios.
- c) Grandes consumos.
- d) Pressões em pontos seleccionados da rede.

Em algumas zonas foi possível seccionar a rede de forma a obterem-se duas redes de dimensão semelhante, ligadas por apenas um troço. A medição do caudal no troço de interligação permitiu avaliar a repartição do consumo pelas duas sub-redes e afectar o consumo do modelo dos factores correspondentes, obtendo-se desse modo melhor aproximação da realidade.

Foram realizadas campanhas de medições em todas as zonas da rede de distribuição, pelo que foi necessário garantir o fecho de todas as válvulas de ligação de zona e verificar as válvulas de seccionamento mais importantes ou de manobra frequente, para aquilatar do seu estado de abertura e, desse modo, poder obter perfeita identidade entre as redes modelizada e real.

Com estes dados disponíveis foi então possível:

- . Determinar o consumo real considerando os caudais fornecidos à rede e a variação do volume nos reservatórios e, por atribuição do factor de ponta de valor adequado, ajustar o consumo do modelo ao consumo real determinado.
- . Introduzir no ficheiro de dados os valores das cotas piezométricas e caudais verificados (condições de fronteira).
- . Efectuar o cálculo, e comparar os resultados com os valores medidos dos caudais e pressões nos pontos seleccionados da rede.

No sentido de reunir as melhores condições para a realização das medições foi dedicada especial atenção à aparelhagem de medida, que não sendo, em alguns casos, a mais adequada levou a aquisição e instalação de outra de maior precisão. Não obstante as melhorias introduzidas, toda a instrumentação foi revista e aferida pelos competentes Serviços da EPAL nos dias que antecede-

ram cada campanha.

Tanto pelos aspectos operacionais como pelos meios humanos envolvidos, os quais foi necessário orientar e coordenar, a realização das campanhas de medições revestiu-se de alguma complexidade e exigiu preparação cuidadosa.

Em alguns casos os resultados obtidos não foram satisfatórios, conduzindo à realização de ulteriores campanhas após análise das causas de erro.

Na data em que redigimos a presente comunicação encontra-se em curso a fase final do processo de calibração a qual consiste na alteração criteriosa dos valores dos coeficientes de rugosidade conjugada com eventual redefinição do consumo afecto aos nós em áreas reduzidas do modelo.

## **8. Conclusões**

O trabalho desenvolvido ao longo de pouco mais de ano constitui em marco importante na via da modernização que a EPAL vem seguindo e representa uma experiência gratificante na carreira profissional dos elementos da equipa da EPAL. Para isso foi importante a colaboração e metodologia de trabalho estabelecida com os Consultores a qual assentou na participação activa da equipa em todas as fases do desenvolvimento do trabalho.

A experiência adquirida permitirá encarar com tranquilidade a actualização do Modelo Matemático da Rede de Lisboa em ordem a proporcionar aos seus múltiplos utilizadores a ferramenta eficaz de que carecem na análise dos problemas hidráulicos que uma rede com a dimensão e complexidade da de Lisboa apresenta.

PROGRES

QUADRO 1

REDE DE DISTRIBUICAO DE LISROA - ZONA ALTA

red	NO	X	Y	consumo l/s	CF m	Z m	Pressao mca	naturza troco	NO	NO	L m	D mm	Ks	Q l/s	U m/s	JfL m	J mm/m
ALTA	3680	337	596	.00	125.900	78	48.	1	3680	3681	785	600.0	75.0	47.1	.17	-.049	.06
ALTA	3681	305	577	.38	125.851	99	27.	-1	3680	3944		ficticio		6.0			
ALTA	3682	277	521	.00	125.820	128	-2.	-2	3681	3682	540	600.0	75.0	45.4	.16	-.031	.06
ALTA	3683	282	509	.00	125.820	128	-2.	-2	3681	3708	730	125.0	90.0	1.4	.11	-.114	.16
ALTA	3684	230	490	.06	125.772	93	33.	0	3682	3683		ficticio		45.4			
ALTA	3685	204	420	.00	125.770	78	48.	1	3683	3684	610	500.0	75.0	32.6	.17	-.048	.08
ALTA	3686	173	422	5.19	125.769	59	67.	2	3684	3685	525	500.0	75.0	7.9	.04	-.002	.00
ALTA	3687	154	400	.00	125.769	52	74.	2	3684	3702	205	400.0	70.0	10.6	.08	-.006	.03
ALTA	3688	137	380	.00	125.769	40	86.	2	3684	3720	220	400.0	70.0	14.1	.11	-.012	.06
ALTA	3690	176	380	.00	125.769	60	66.	2	3685	3686	245	500.0	75.0	7.9	.04	-.001	.00
ALTA	3700	183	449	2.86	125.756	64	62.	2	3686	3687	85	500.0	75.0	.0	.00	.000	.00
ALTA	3701	193	475	1.63	125.764	82	44.	0	3686	3700	250	200.0	90.0	2.7	.09	-.012	.05
ALTA	3702	202	500	.12	125.766	91	35.	0	3687	3688	90	500.0	75.0	.0	.00	.000	.00
ALTA	3703	160	516	2.15	125.748	80	46.	1	3687	3690	200	400.0	70.0	.0	.00	.000	.00
ALTA	3704	157	457	.00	125.753	75	51.	1	3700	3701	370	200.0	90.0	-1.7	.05	.007	.02
ALTA	3705	132	470	2.70	125.743	86	40.	0	3700	3704	225	200.0	90.0	1.5	.05	-.004	.02
ALTA	3706	143	540	.00	125.747	90	46.	1	3701	3702	240	300.0	90.0	-3.3	.05	.002	.01
ALTA	3707	185	563	.05	125.745	91	35.	0	3702	3703	300	300.0	75.0	7.2	.10	-.017	.06
ALTA	3708	226	586	.82	125.737	72	54.	1	3703	3705	570	200.0	90.0	1.2	.04	-.005	.01
ALTA	3709	197	602	.55	125.606	65	61.	2	3703	3706	100	300.0	75.0	3.4	.05	-.001	.01
ALTA	3710	120	528	.85	125.747	78	48.	1	3703	3710	100	125.0	90.0	.4	.03	-.001	.01
ALTA	3711	79	507	.65	125.733	61	65.	2	3704	3705	135	150.0	90.0	1.5	.09	-.010	.07
ALTA	3712	84	494	.43	125.741	61	65.	2	3706	3707	250	250.0	90.0	1.9	.04	-.002	.01
ALTA	3720	256	466	.10	125.760	110	16.	-1	3706	3710	25	250.0	90.0	1.5	.03	.000	.00
									3707	3708	335	200.0	90.0	1.9	.06	-.008	.02
									3708	3709	270	125.0	90.0	2.4	.20	-.131	.48
									3710	3711	395	125.0	90.0	.6	.05	-.014	.04
									3710	3712	360	125.0	90.0	.4	.04	-.006	.02

CLASSES DE PRESSAO

i	Pressao = 2 :	numero de nos	% consumo	FERDA DE CARGA	numero de trocos	%
	> 60. mca	97	22.	J > 3.5 mm/m	21	4.
	1 : 45. a 60. mca	173	39.	2.5 a 3.5 mm/m	10	2.
	0 : 30. a 45. mca	107	24.	1.5 a 2.5 mm/m	39	7.
	-1 : 15. a 30. mca	46	10.	0.5 a 1.5 mm/m	83	15.
	-2 : < 15. mca	24	5.	< 0.5 mm/m	334	61.
	nao testados	0	0.	indefinida	60	11.



NÓS

- N (Zm) H - Número do nó
- Z - Cota do terreno
- Zm - Cota máxima da área de influência do nó

TROÇOS

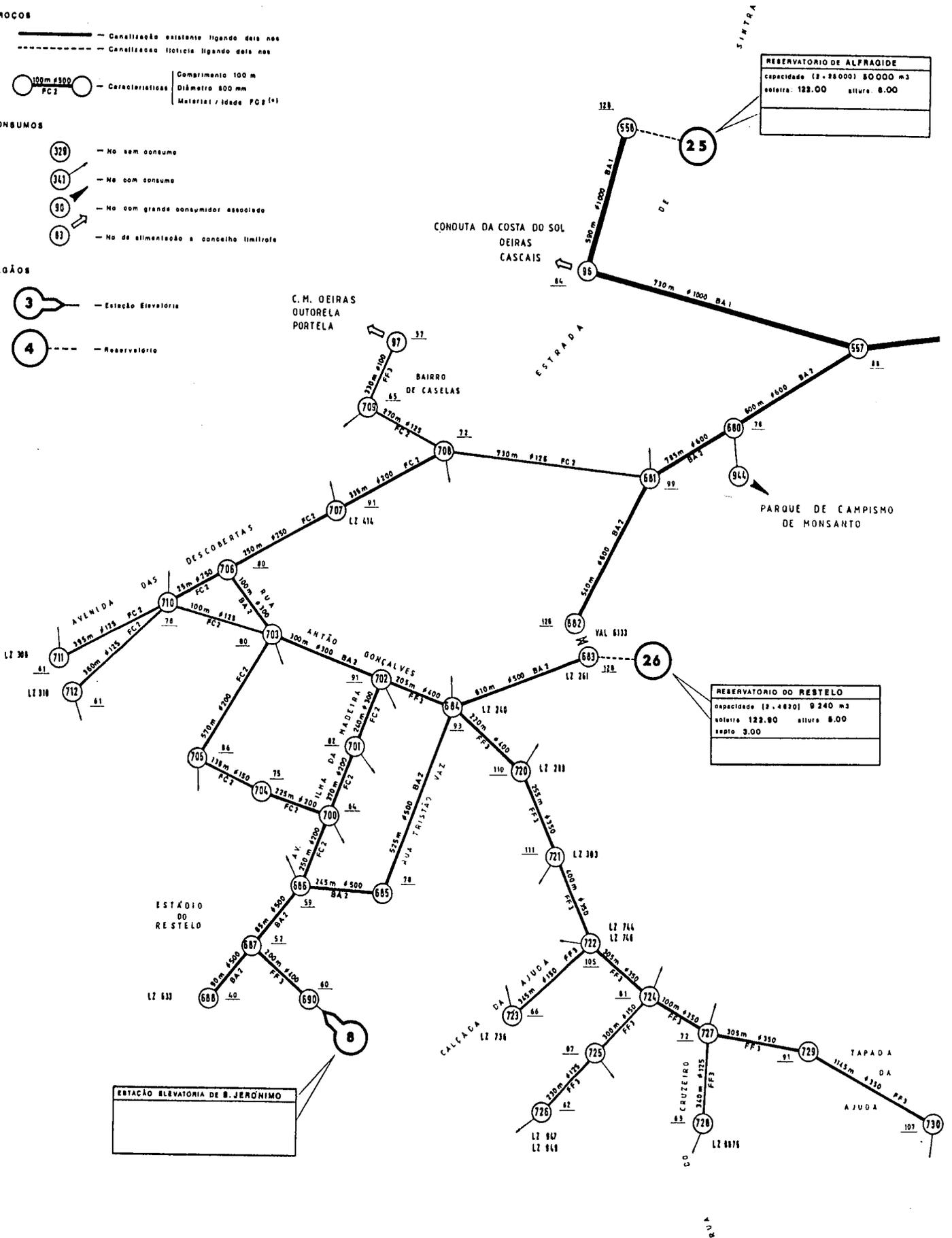
- Canalização existente ligando dois nós
  - - - - - Canalização fictícia ligando dois nós
- Características: Comprimento 100 m, Diâmetro 800 mm, Material / Idade FC2 (a)

CONSUMOS

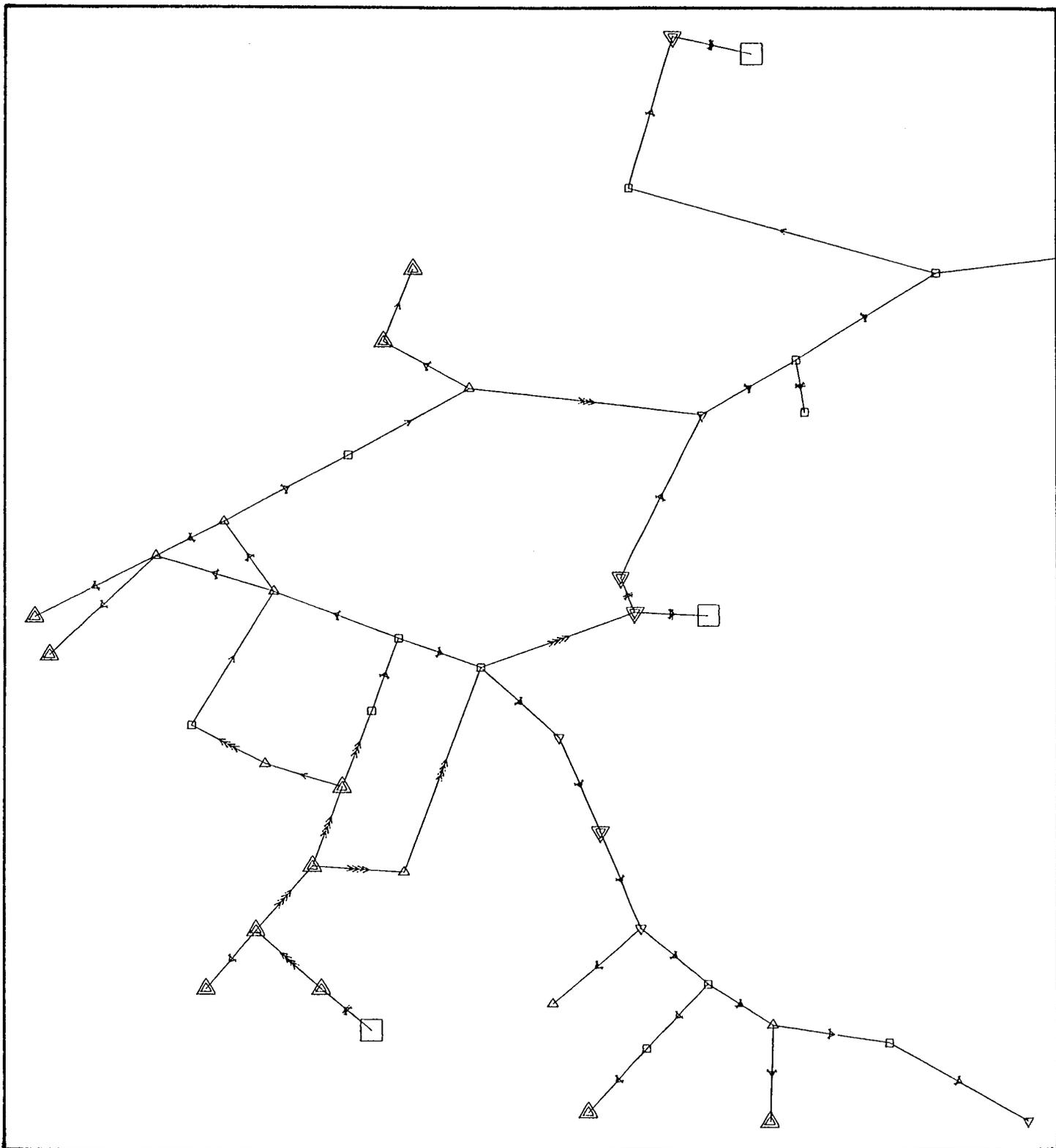
- 320 - No sem consumo
- 341 - No com consumo
- 98 - No com grande consumidor associado
- 83 - No de alimentação a conceito limitrofe

ORGÃOS

- 3 - Estação Elevatória
- 4 - Reservatório



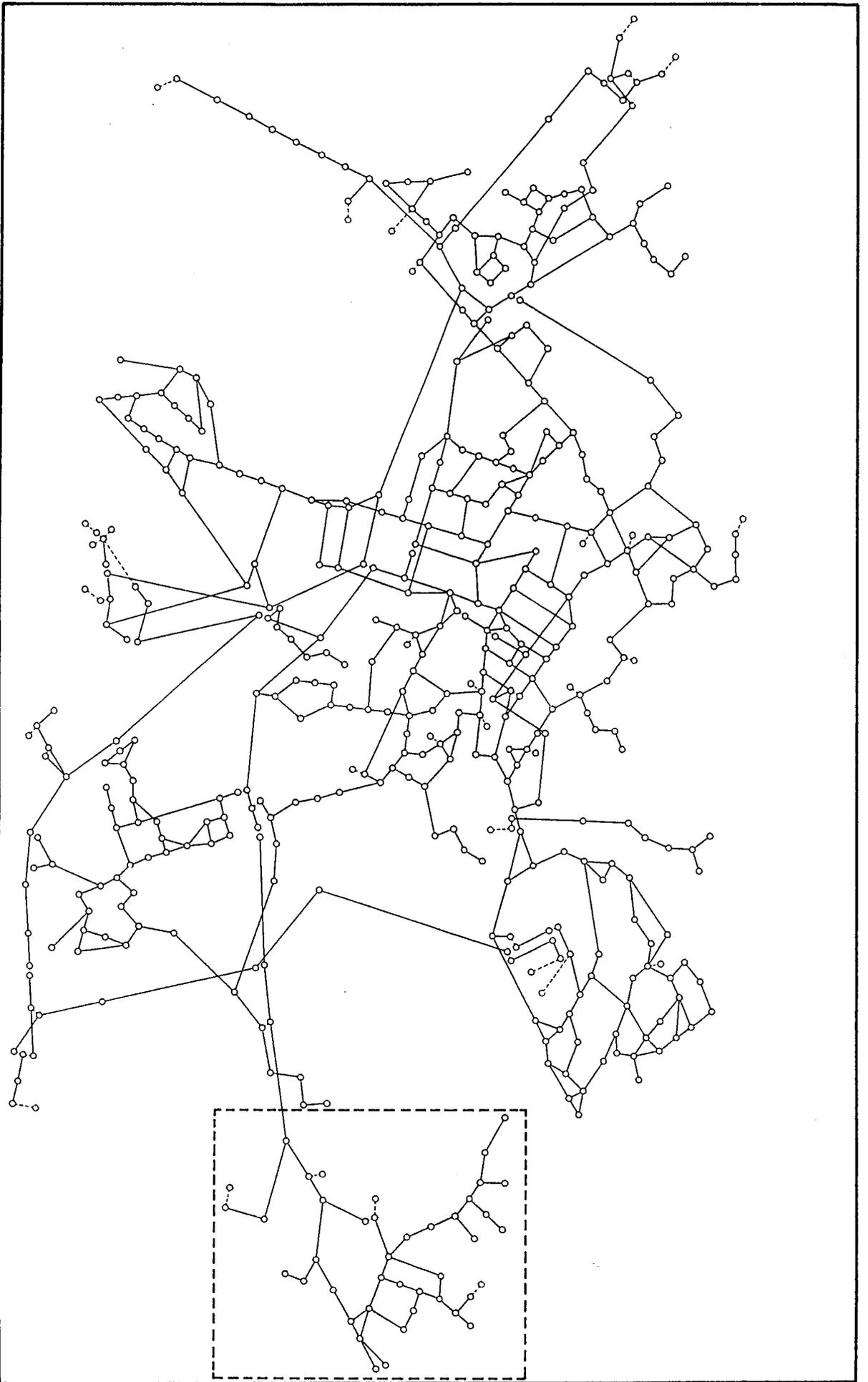
EPAL - ESQUEMA DA REDE MODELIZADA DA ZONA ALTA (EXTRATO)



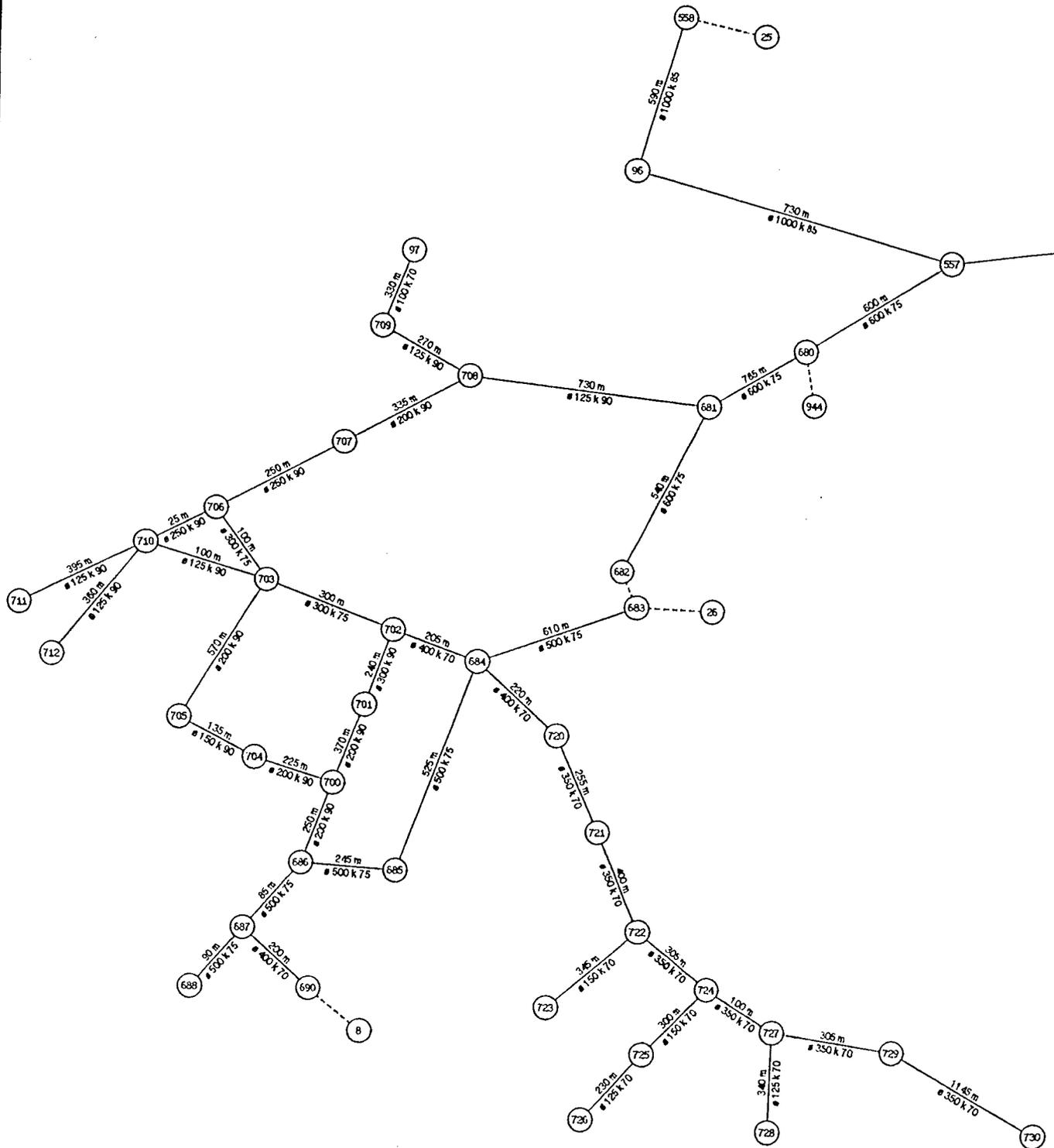
EPAL - SAIDA GRAFICA DO PROGRAMA PROGRES  
(EXTRATO)

FIG.  
3

MODELO MATEMÁTICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE LISBOA - ZONA ALTA (3)



EPAL - SAIDA GRÁFICA DESENVOLVIDA NA EPAL



EPAL - REDE MODELIZADA DA ZONA ALTA - TOPOLOGIA  
 SAIDA GRAFICA DESENVOLVIDA NA EPAL  
 (ZOOM DA FIG. 4)

FIG.  
 5