



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

7

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
METODOLOGIAS DE CONTROLE DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

MARIA HELENA ALEGRE⁽¹⁾ E JAIME MELO BAPTISTA⁽²⁾

(1) Eng^a Civil (IST), Assistente de Investigação do LNEC

(2) Eng^o Civil (UP) especializado em Engenharia Sanitária (UNL), Investigador Auxiliar do LNEC

RESUMO

A escassez de recursos hídricos, energéticos e financeiros, associada à evolução técnica a que se tem assistido nos últimos anos, impõe alterações profundas nas metodologias tradicionalmente utilizadas na exploração e no planeamento de sistemas de distribuição de água.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no seu âmbito de instituição de investigação ligada aos interesses do País, tem em curso um processo de investigação sob o tema desta comunicação. Num futuro próximo, terão que ser utilizadas em Portugal técnicas semelhantes às que hoje em dia já são correntes em muitos países, sobretudo na Europa Ocidental e no Japão.

O objecto fundamental desta comunicação é salientar as diferenças fundamentais entre as metodologias tradicionais e as metodologias actuais e em desenvolvimento nos países mais avançados. Apresenta-se também um percurso lógico a seguir tecnicamente até atingir o objecto final, que é o de obter sistemas de "gestão assistida por computador", também correntemente designada por "gestão em tempo real".

1 - DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Um sistema de distribuição de água (SDA) pode considerar-se composto pela rede de distribuição e pelos elementos especiais. A rede de distribuição é, por sua vez, o conjunto de condutas e de elementos acessórios.

As condutas transportam a água em pressão entre um ou mais pontos de alimentação e os diversos pontos de consumo, podendo apresentar diferentes dimensões de secção e materiais constituintes. Podem estar associados de diferentes modos, originando sistemas ramificados, malhados ou mistos.

Os elementos acessórios são os diversos dispositivos cujo efeito no comportamento hidráulico do sistema é praticamente desprezável, limitando-se à introdução de pequenas perdas de carga localizadas. Referem-se, a título de exemplo, as juntas de ligação de tubagens, as curvas e os tês. A nível de estudo hidráulico, podem ser ignorados na maioria dos casos.

Os elementos especiais são os diversos dispositivos que, de uma forma ou de outra, permitem condicionar o escoamento nas condutas, seja por aumento ou diminuição de pressão, seja por regulação de caudal. Aqueles que têm interesse para a análise hidráulica de um SDA resumem-se a reservatórios, instalações elevatórias, instalações sobrepessoras, redutores de pressão, válvulas de retenção e válvulas de seccionamento. Um SDA, hidráulicamente composto por condutas e elementos especiais, é habitualmente representado, para efeitos de análise hidráulica, por "nós" e "troços". Estes últimos, por sua vez, podem estar associados de modo a constituírem um anel fechado, que se designa por "malha".

2 - FORMAS TRADICIONAIS DE EXPLORAÇÃO

Se, em finais do século XIX, alguém se propusesse desenvolver em Portugal o tema desta comunicação, a primeira reacção com que depararia seria inevitavelmente a pergunta "o que é um sistema de distribuição de água?". A população ou ia buscar a água de que necessitava directamente aos cursos de água, às fontes naturais ou aos poços, ou se abastecia através da compra de água aos "aguadeiros". Em sistemas mais desenvolvidos, como por exemplo no de Lisboa, já era possível recorrer aos fontenários, forma rudimentar de sistema de distribuição.

Esta situação evoluiu progressivamente, começando pelos grandes centros urbanos, continuando por todo o litoral, havendo ainda hoje muitos povoados das zonas interiores do País sem a chamada "água canalizada". Na primeira metade do século, se os sistemas de adução eram, para as situações mais complexas, alvo de alguns cálculos rudimentares, o mesmo não se passava com as redes de distribuição. Basta lembrarmo-nos que só em 1936 foi apresentado nos Estados Unidos da América o método de Hardy Cross para o cálculo do equilíbrio hidráulico de redes malhadas, e que foi este o primeiro método minimamente eficiente com esta função.

Na ausência de métodos de cálculo eficientes que permitissem projectar uma rede com algum rigor científico, como era feita a exploração dos sistemas existentes?. Para respondermos a esta pergunta não é necessário recuar no tempo. Em Portugal, a quase totalidade dos SDAs continua a ser explorada da mesma forma artesanal como o era há 50 anos.

Tradicionalmente, o gestor de um SDA não procura de sobremaneira racionalizar os recursos de que dispõe, mas tem como objectivo último minimizar uma função hipotética a que poderíamos chamar "função representativa das queixas dos consumidores".

Em SDAs de pequena e média envergadura, é vulgar que as funções de gestor e

de encarregado de obras sejam acumulados pela mesma pessoa, que em regra dedicou toda a sua vida ao "seu" sistema, que "conhece como às próprias mãos". Quase toda a informação é memorizada naturalmente pelo operador, que sabe que no bairro A os consumidores se queixam sempre de falta de água, que no bairro B só se queixam quando é efectuada determinada manobra de válvulas no sistema, e que na rua C passa uma conduta de diâmetro 60 de ferro fundido. Trata-se deste modo de um tipo de informação empírica e pouco rígorosa.

Sentiu-se em determinada altura que os investimentos feitos na construção das infraestruturas de saneamento básico tinham que ser, pelo menos parcialmente, recuperados de modo a permitir um certo equilíbrio financeiro da entidade exploradora. Decidiu-se então que a forma a adoptar seria tarifar os consumidores em função do seu consumo, o que obrigou a instalar medidores de caudal totalizadores junto dos pontos de consumo pago. Os registos assim obtidos, embora insuficientes (ver 3.5), constituem um primeiro grupo de dados estatísticos de grande valor.

3 - NOVAS FORMAS DE EXPLORAÇÃO

3.1 - Descrição geral

Tal como é inconcebível nos nossos dias construir SDAs sem ter feito previamente os cálculos adequados, também a curto prazo será inaceitável manter as metodologias de exploração actualmente em vigor.

As restrições financeiras actuais não deverão constituir um obstáculo mas sim um incentivo à adopção de novas técnicas que permitam racionalizar os investimentos, tirar o máximo partido dos recursos disponíveis e poupar energia dispendida na exploração.

Em contrapartida aos métodos de exploração hoje utilizados, a moderna tendência é a da centralização de informação por um ou mais níveis hierárquicos (Fig. 1 e 2) de forma a que o gestor possa conhecer em cada instante o estado do SDA e decidir em conformidade qual a actuação mais adequada.

A opção por um ou mais níveis deve ser função fundamentalmente da dimensão e complexidade do sistema que, no caso de serem elevados, tornam convenientes níveis de decisão intermédios.

Tomando o caso mais simples de uma única central, o SDA deve estar a ela ligado por forma a poder enviar os seus principais parâmetros de funcionamento. Estes correspondem naturalmente à indicação do estado de funcionamento de centrais elevatórias, válvulas e outros equipamentos, mas também a valores de caudais, pressões e por exemplo teores de cloro residual.

Estes parâmetros são enviados à central por "telemetria" (3.2), após o que devem sofrer uma conveniente verificação, selecção e tratamento, por forma não só a esclarecerem o operador do funcionamento global do sistema como também a irem alimentar ficheiros de dados para posterior utilização. Estes ficheiros constituem um apoio valiosíssimo para estudos futuros por exemplo de ampliação do sistema.

O operador tem assim possibilidade de acompanhar o funcionamento global do sistema pela análise dos dados numéricos recebidos, que em alguns casos podem e devem ser apresentados na forma gráfica (3.4), para mais cómoda e rápida apreciação (Fig. 3, 4, 5 e 6). Pode então realizar manobras de órgãos da rede, quer em situações normais de exploração, quer em situações de excepção. Essas manobras podem ser executadas por "telecomando" (3.2).

Naturalmente que o operador deve ter um conhecimento correcto das incidências que cada manobra pode ter no sistema, o que poderá conseguir através

da utilização de um "modelo de simulação" (3.3) que, tal como o nome indica, simulará a manobra e indicará as respectivas consequências.

Numa perspectiva a longo prazo, será mesmo possível automatizar parte ou toda a intervenção do operador, constituindo assim um ciclo fechado de controle e operação, com intervenção esporádica do homem.

Nos capítulos seguintes descrevem-se com mais algum pormenor alguns dos aspectos referidos.

3.2 - Telemetria e telecomando

No estágio actual da tecnologia já é viável a utilização de sistemas em que alguns registos são transmitidos à distância desde o ponto de medição até à central por qualquer sistema de telemetria. É igualmente viável e largamente utilizado na Europa e no Japão o sistema de telecomando, que permite comandar à distância as manobras de equipamento adequadas a cada situação de funcionamento. Mesmo em Portugal já existem alguns exemplos de utilização destas técnicas.

Os registos captados podem ser de diversos tipos, dos quais se apontam os fundamentais:

- a) Registos hidráulicos (caudais, pressões, velocidades, etc.)
- b) Registos de qualidade da água (cloro residual, pH, oxigénio dissolvido, etc.)
- c) Registos mecânicos (estado de abertura de válvulas, situação de máquinas, etc.)
- d) Registos eléctricos (intensidade, potência, factor de potência, etc.)
- e) Registos meteorológicos (temperatura, humidade, etc.)

Os comandos são fundamentalmente de tipo mecânico, permitindo abrir e fechar válvulas, ligar ou desligar grupos elevatórios, injectar qualquer correctivo da qualidade da água, ou outros.

A transmissão dos sinais pode ser feita através de rádio, cabo ou linha telefónica, sendo mais utilizadas as duas últimas formas. Para distâncias curtas, por exemplo para máquinas situadas no edifício da central, há ainda a possibilidade de usar selectores com ligação directa.

Nas linhas de exploração, poderá haver uma combinação de sinais eléctricos, electrónicos, pneumáticos e hidráulicos, consoante o tipo de equipamento de que se trate.

A arquitectura do sistema de transmissões depende da geometria do SDA, da localização da central relativamente ao SDA, do tipo de registos a transmitir, de frequência e modo de transferência e da tecnologia e do capital disponíveis. Por exemplo, há que definir à partida se se pretendem obter registos contínuos de todos os pontos de medição, ou se, pelo contrário, é aceitável obter num dado instante apenas um registo correspondendo a uma leitura determinada, no instante seguinte outro registo de tipo diferente ou de um ponto diferente, e assim sucessivamente até fechar o circuito, repetindo o processo com uma frequência seleccionada. O primeiro sistema será inevitavelmente mais caro, mas fornece informação mais completa. Actualmente, os sistemas existentes são em geral do segundo tipo, tendo não um único mas vários canais de recepção.

Seja qual for o sistema seleccionado, há cuidados básicos a ter em atenção, dos quais se referem alguns:

- a) Deve haver redundância das ligações e das informações mais importantes

no sentido de aumentar a segurança e a fiabilidade do sistema.

- b) Deve ser possível isolar qualquer componente não essencial ao funcionamento do SDA sem que isso implique uma paragem global.
- c) Deve ser prevista a existência de alarmes que avisem os operadores da ocorrência de avarias quer do sistema de telecontrole quer no próprio SDA.
- d) O equipamento deve ser projectado de modo a permitir reparações tão rápidas e simples quanto possível. Isto pode ser conseguido por exemplo através da substituição de circuitos integrados normalizados, existentes permanentemente em stock.
- e) O equipamento deve ser tão versátil quanto possível. Por um lado, a exploração quotidiana do SDA em causa faz nascer sempre novos objectivos a atingir. Por outro lado, há que prever sempre a ampliação do sistema, ou a sua ligação a centrais de grau hierárquico adjacente.
- f) Deve ser previsto um programa de manutenção preventiva periódico de todo o sistema.
- g) O sistema de operação deve ser o mais simples possível, e baseado em raciocínios lógicos dos operadores.
- h) As acções de formação, familiarização e treino dos operadores com o sistema são essenciais.

Os sistemas de telemetria e telecomando estão muitas vezes associados a processadores (ou mesmo a micro-computadores), que permitem seleccionar um conjunto de operações a efectuar num dado instante, mas que simultaneamente fazem um pré-tratamento dos registos recolhidos. Este pré-tratamento poderá ir desde a simples comparação entre os valores registados e valores limite pré-estabelecidos (por exemplo com base em simulações efectuadas a priori), até à organização do registo de modo a eles serem armazenados de forma compacta e funcional.

Em paralelo com os sistemas de telecontrole "em grande" dos SDA começa a surgir interesse em fazer a leitura automática à distância dos contadores domiciliários, em grandes centros urbanos. Cada sinal de leitura do contador é transmitido por exemplo por telefone a um centro de controle, onde é tratado de forma a conhecer o consumo mensal, que é arquivado em "diskettes" ou em bandas magnéticas, utilizadas para fins contabilísticos, de gestão e de planeamento. Actualmente esta é uma via que, embora já tecnicamente possível, ainda é economicamente desmotivadora.

3.3 - Modelo de simulação

Por simulação de um SDA entende-se a análise hidráulica do funcionamento desse sistema, de modo a ser perfeitamente conhecido o seu comportamento para uma ou mais situações possíveis. É portanto uma ferramenta de extrema utilidade no controle de SDAs.

Para sistemas com um mínimo de complexidade, a simulação só é exequível através de um "modelo matemático" que representa correctamente o sistema, utilizando um dos métodos disponíveis de verificação de equilíbrio hidráulico.

O modelo matemático, com o apoio de um computador, permite conhecer em poucos segundos a resposta do sistema a qualquer solicitação previsível de consumos e ou a qualquer alteração da sua geometria. A tendência será cada entidade exploradora ter o modelo matemático do ou dos seus SDAs implementada no seu próprio centro de cálculo ou noutra centro ao qual te

nha acesso, utilizando-o sempre que necessário, nomeadamente:

- Simulando "situações normais" de funcionamento, como as flutuações de caudais ao longo do tempo (dia, mês, ano e vida da obra) e o envelhecimento progressivo das condutas, com a conseqüente variação das rugosidades.
- Simulando "situações de emergência" possíveis no sistema, analisando os resultados e estudando em tempo útil as soluções mais convenientes para responder a essas situações. Referem-se, a título de exemplo, situações correspondentes à colocação de um troço fora de serviço por necessidade de reparação, à colocação de um reservatório ou instalação elevatória fora de serviço, e ainda a necessidade de combate a um incêndio em zonas topograficamente desfavoráveis.
- Simulando "alterações pontuais" do sistema de modo a melhorar o seu funcionamento. Existem habitualmente zonas desfavorecidas, com problemas de pressão inferiores ou superiores aos limites convenientes e velocidades demasiado baixas ou demasiado altas, que podem por vezes ser resolvidas com pequenas obras de eliminação ou execução de ligações entre condutas, ou com manobras simples de válvulas. Na definição dessas pequenas alterações, a simulação é extremamente útil.
- Simulando "remodelações de fundo" necessárias para manter actualizado o seu sistema de distribuição, numa perspectiva a longo prazo. Os efeitos da localização e características de novas origens, sejam reservatórios ou instalações elevatórias, de novas condutas e de novos elementos especiais, capazes de responderem às necessidades previstas em caudais e pressões, podem ser determinados através da simulação do sistema.

3.4 - Visualização gráfica

Quando é necessário interpretar rapidamente um grande volume de números, sejam eles valores registados directamente ou sejam resultados de um programa de cálculo automático, a sua análise directa torna-se numa tarefa que além de difícil, é uma importante fonte de erros. Uma das formas mais eficientes de resolver o problema é o tratamento de informação numérica e a sua transformação gráfica, cuja interpretação, embora menos exacta, se torna muito mais rápida e intuitiva.

No LNEC já se encontram implementadas três formas distintas de visualizar graficamente as grandezas que caracterizam o sistema para uma dada hipótese de funcionamento (por exemplo as cotas topográficas, as cotas piezométricas ou as pressões). São elas as cartas de perspectivas, de isolinhas ou de manchas, e de que são exemplo respectivamente as Figuras 3, 4 e 5.

Outra forma possível de representação gráfica, também frequentemente utilizada no LNEC, é o registo em forma de gráfico da evolução no tempo de um determinado parâmetro num dado local do SDA. Os processadores ou os computadores ligados aos sistemas de telemetria deverão ter a possibilidade de dar ao operador a informação colhida sob nesta forma (variação de nível de um dos reservatórios, por exemplo).

Aproveitando as facilidades gráficas que os novos meios informáticos dispõem, pensa-se que o desenvolvimento de novo "software" gráfico é um dos campos onde o LNEC deverá investir dentro deste domínio. Neste contexto, está previsto que dentro de um a dois anos se passa a dispôr em Portugal de programas de computador que permitam a entrada de dados directamente através de um terminal gráfico ou de uma mesa digitalizadora, o que facilita por um lado a introdução de alguns dados e por outro elimina as dificuldades inerentes ao manuseamento simultâneo de cartas a escalas diferen

tes. Como complemento, pretende-se desenvolver ou adoptar programas existentes capazes de reproduzir à escala pretendida os elementos do SDA desenhados em cada momento. Como exemplo pode-se referir uma saída gráfica onde figurem, além do esquema do SDA, o número dos nós, o número dos troços, e os respectivos comprimentos e diâmetros, ou uma carta onde figurem apenas o esquema do sistema, os caudais escoados nos troços e os respectivos sentidos de escoamento para uma dada situação simulada; ou qualquer combinação de informação disponível que num dado instante nos seja útil.

Pensa-se com este leque de programas cobrir as principais lacunas que actualmente ainda se sentem neste domínio.

3.5 - Cadastro do sistema e organização dos registos

É frequente considerar-se como assunto secundário face aos problemas mais ou menos graves que os gestores do SDA enfrentam quotidianamente a elaboração cuidada dos cadastros das redes e a sua actualização permanente. A experiência do LNEC mostra que a situação mais comum entre nós é a da existência de projectos parcelares de rede, que foram em geral executados com alterações não assinaladas, associados a parcelas de rede sem qualquer peça escrita que a represente. Se esta situação tem sido possível de manter, não o será mais desde que se tente tomar decisões coerentes e compatíveis com o nosso tempo; as dificuldades financeiras dos municípios não poderão ser invocadas para justificar esta lacuna, que poderá ser tapada em geral sem dispêndio de capital directo, e usando exclusivamente os conhecimentos memorizados dos encarregados das obras, dos fiscais ou dos canalizadores mais antigos.

Tentar usar modelos de simulação muito potentes com base numa geometria de rede fictícia trará inevitavelmente resultados desastrosos, sem qualquer significado real.

Os cadastros deverão ser constituídos por desenhos esquemáticos do SDA a escalas que permitam o fácil manuseamento das cartas mas que sejam suficientemente legíveis e que deverão conter a seguinte informação:

- a) Esquema actualizado da rede, de modo a que fique claro o modo como as condutas se cruzam ou se ligam e a localização em planta de todos os elementos.
- b) Valor do diâmetro, comprimento, material, classe, data de construção e tipo de junta para todas as condutas.
- c) Cotas de implantação.
- d) Localização e descrição (tipo, diâmetro, marca e data de implantação) de todas as válvulas.
- e) Localização dos reservatórios, com referência às cotas de soleira, ao nível máximo e ao nível mínimo.
- f) Localização e descrição das instalações elevatórias e sobressoras (nº de grupos, tipo, potência, marca, curvas características, etc.).

Sempre que haja alguma alteração ao SDA, deverá ser anotada imediatamente no cadastro.

Gerir bem exige saber antes de mais dar a resposta à pergunta "quer o quê?". Na posse de um cadastro permanente actualizado o primeiro passo está dado.

Outro assunto normalmente descurado e que no entanto merece ser alvo de mais atenção é a forma de organização dos registos de consumos e a repeti

ção periódica de campanhas de medição, de caudais e pressões na rede.

Em Portugal, embora os consumidores paguem taxas proporcionais ao caudal consumido, o que implica instalação e leituras periódicas de contadores domiciliários, não têm sido aproveitadas do ponto de vista hidráulico todas as potencialidades de informação recolhida mensalmente pelos cobradores. O eventual tratamento dos registos reflete exclusivamente uma estrutura administrativa e tarifária que pouco ou nada tem a ver com a estrutura hidráulica do sistema. Os consumidores começam por ser classificados de acordo com regras locais muito variáveis de município para município, e que podem ir desde a classificação num grupo único à classificação por escalões por consumo médio dispendido ou por tipo de consumidor (doméstico, comercial, industrial, público, etc.). Verifica-se ainda uma grande heterogeneidade de conceitos sobre quem pertence a que grupo. Por exemplo há quem englobe nos consumos públicos a diferença entre a macromedição e a soma dos outros grupos, não sendo possível distinguir perdas de água na rede dos consumos reais; igualmente frequente é ver incluídas em qualquer dos grupos pequenas unidades hoteleiras.

Na nossa opinião, há um trabalho de fundo a desenvolver neste domínio, quer da parte dos organismos centrais quer da parte dos regionais. Aos organismos centrais cabe definir directivas claras e completas que garantam a uniformidade de critérios desejável, a utilizar em todo o País. Aos organismos locais cabe propor critérios que a sua experiência mostre serem adequados, e cabe garantir o cumprimento sério das directivas adoptadas, conscientes que a compilação da informação recolhida é fundamentalmente a eles que irá servir.

A classificação por escalões, do ponto de vista hidráulico, permite com facilidade definir o que, para um dado SDA, deve ser considerado como grande consumidor, merecendo tratamento estatístico individualizado. Permite igualmente definir espacialmente manchas de concentração de consumidores por "peso" médio, o que constitui uma boa base de trabalho nomeadamente para a preparação de dados de um modelo de simulação hidráulico do SDA. Apresenta contudo uma grande desvantagem que é a não caracterização dos consumidores. O valor do consumo médio de uma entidade não é suficiente para inferir sobre o diagrama das flutuações ao longo do tempo. Gerir ou planear conscientemente um SDA passa pelo conhecimento tão aproximado quanto possível das flutuações diárias, semanais, rasonais, ou outras a que os consumos estão sujeitos. Consequentemente, a informação que é possível extrair de uma classificação por escalões, por si só, é claramente insuficiente.

A classificação por tipo de consumidor pode dificultar o conhecimento espacial da distribuição dos pequenos, médios e grandes consumidores, mas tem o grande mérito de, quando bem estruturada, dar informação muito boa sobre as flutuações dos consumos no tempo. Como se sabe, os consumos domésticos caracterizam-se pela existência de duas pontas diárias muito nítidas, de intensidade e a horas dependentes sobretudo dos hábitos da população, assim como os consumos tipicamente comerciais se caracterizam por terem distribuições quase uniformes dentro dos horários de expediente, e nulos nas horas mortas.

Este tipo de classificação permite estabelecer manchas de concentração de cada tipo de consumidor, informação de muito valor sobre as flutuações de consumo no tempo esperadas para cada zona do sistema. No entanto peca pelo inconveniente de não dar informação sobre a variabilidade de consumos dentro de cada grupo.

Estabelecida que esteja a classificação a referir, os municípios costumam

calcular somas parciais de consumos mensais, normalmente com base nas zonas de cobrança de cada cobrador ou na divisão administrativa de cada localidade. É importante que esta situação se modifique, e se tenha em conta a estrutura hidráulica dos SDA (zonas de dependência de cada reservatório, ondas de pressão, válvulas de seccionamento normalmente fechadas, etc.).

Para finalizar, salienta-se a importância da contabilização de todos os consumos, mesmo que eventualmente não sejam pagos, da calibração periódica dos debitômetros e do registo do consumo efectivo, mesmo que seja inferior ao correspondente à taxa mínima.

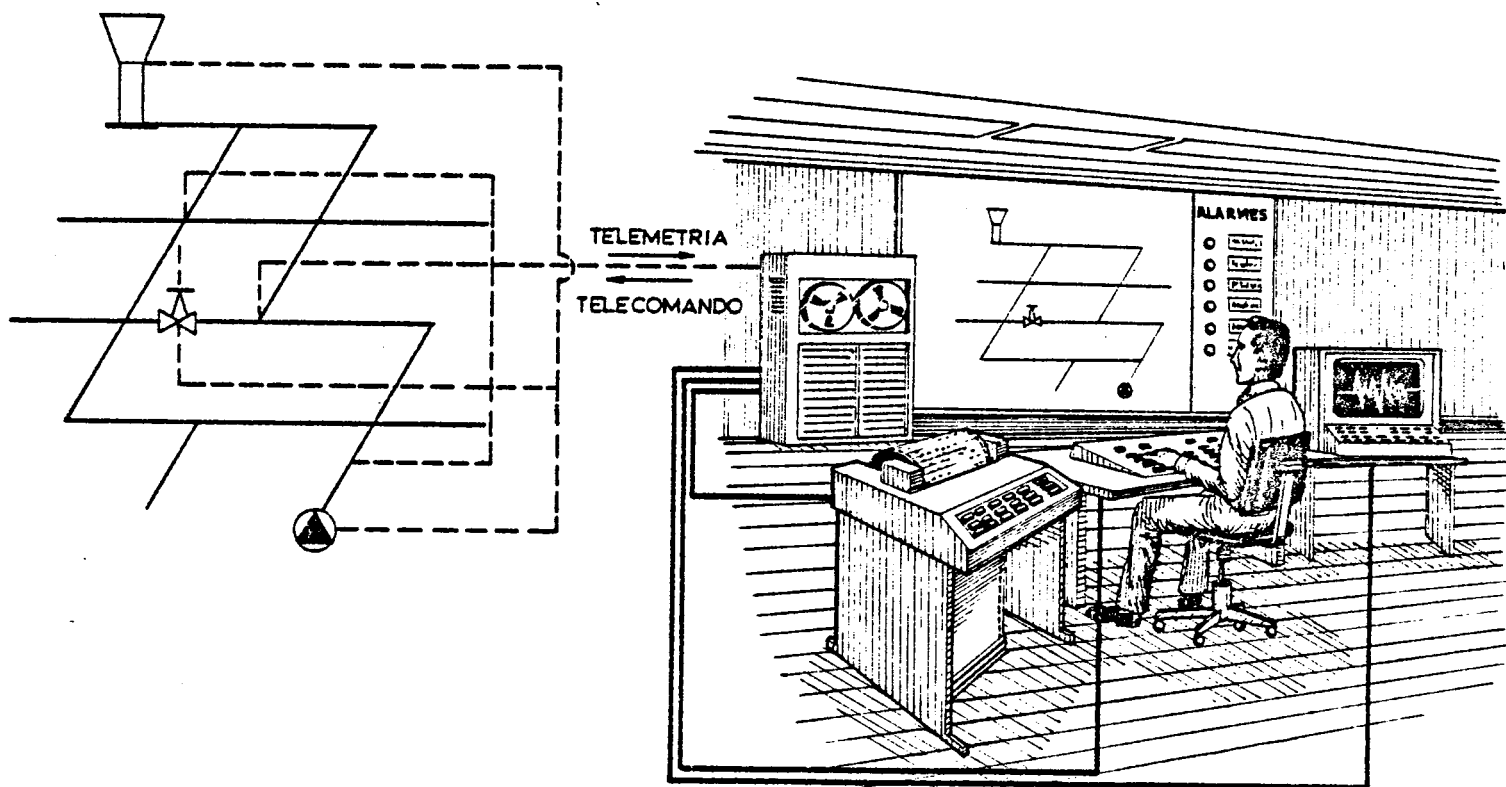


Fig. 1 - Gestão centralizada

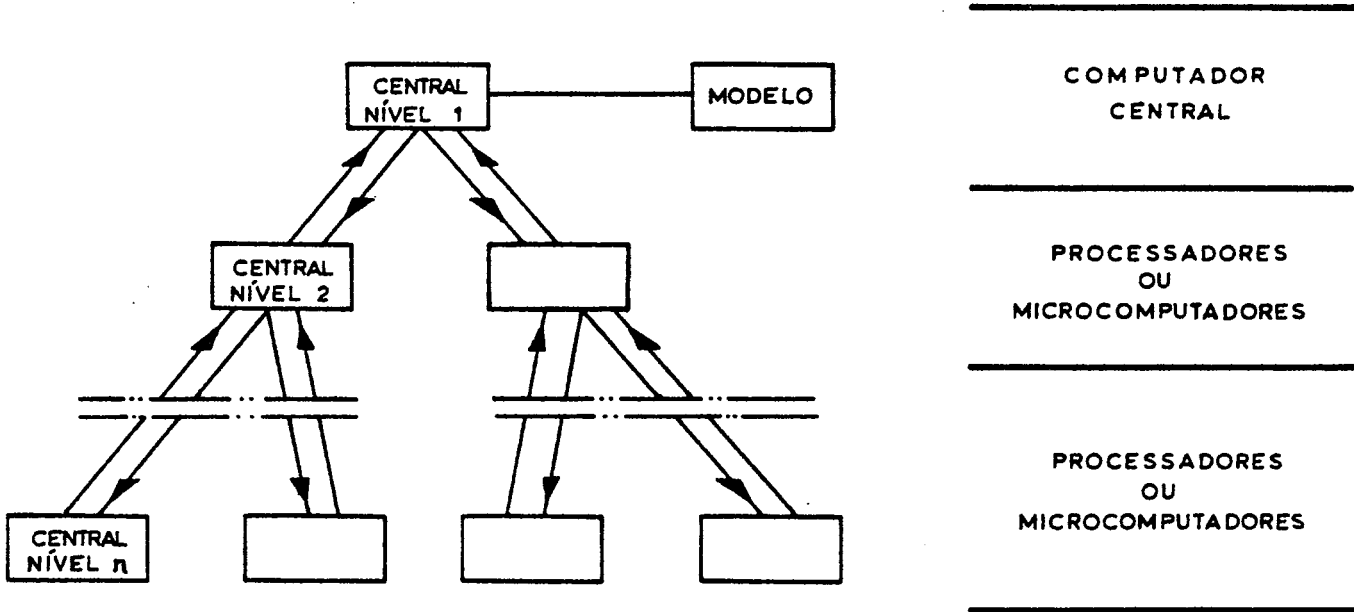


Fig. 2 - Níveis hierárquicos

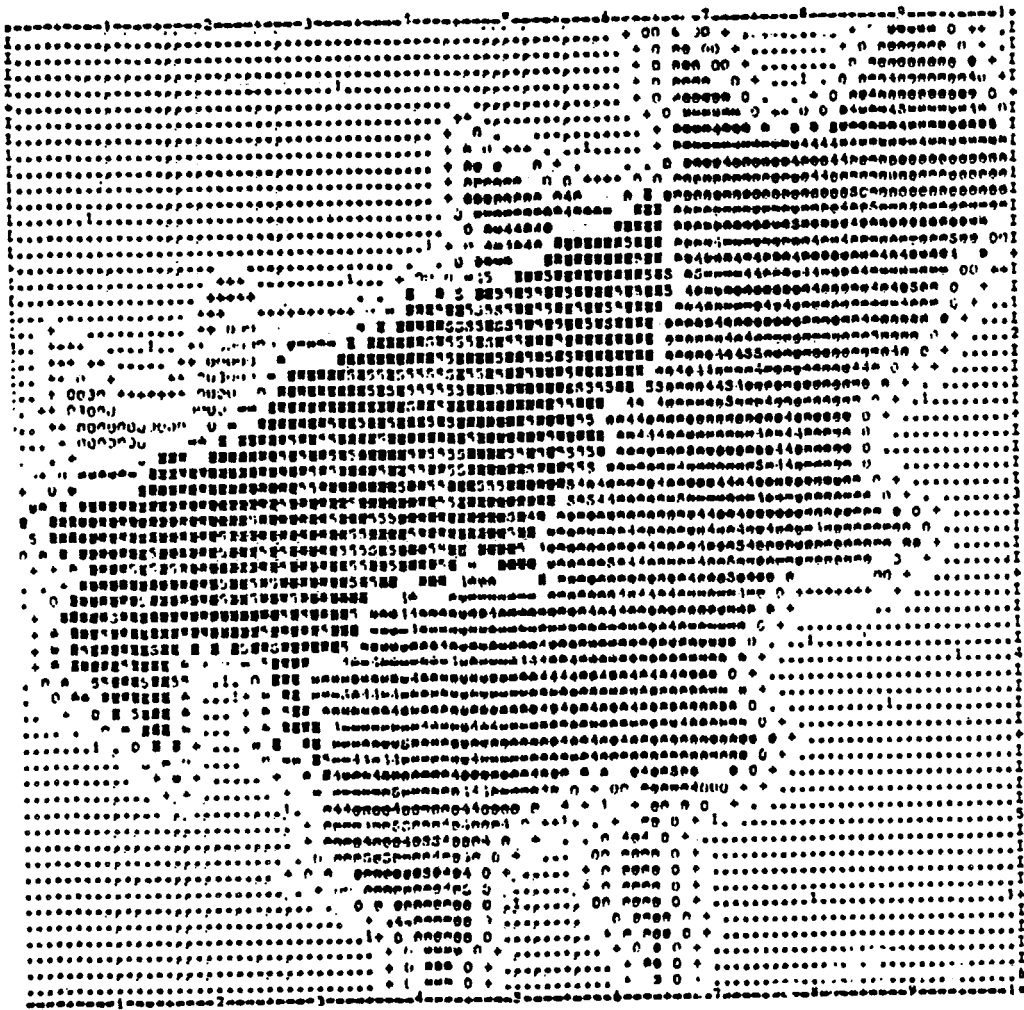


Fig. 3 - Carta de manchas

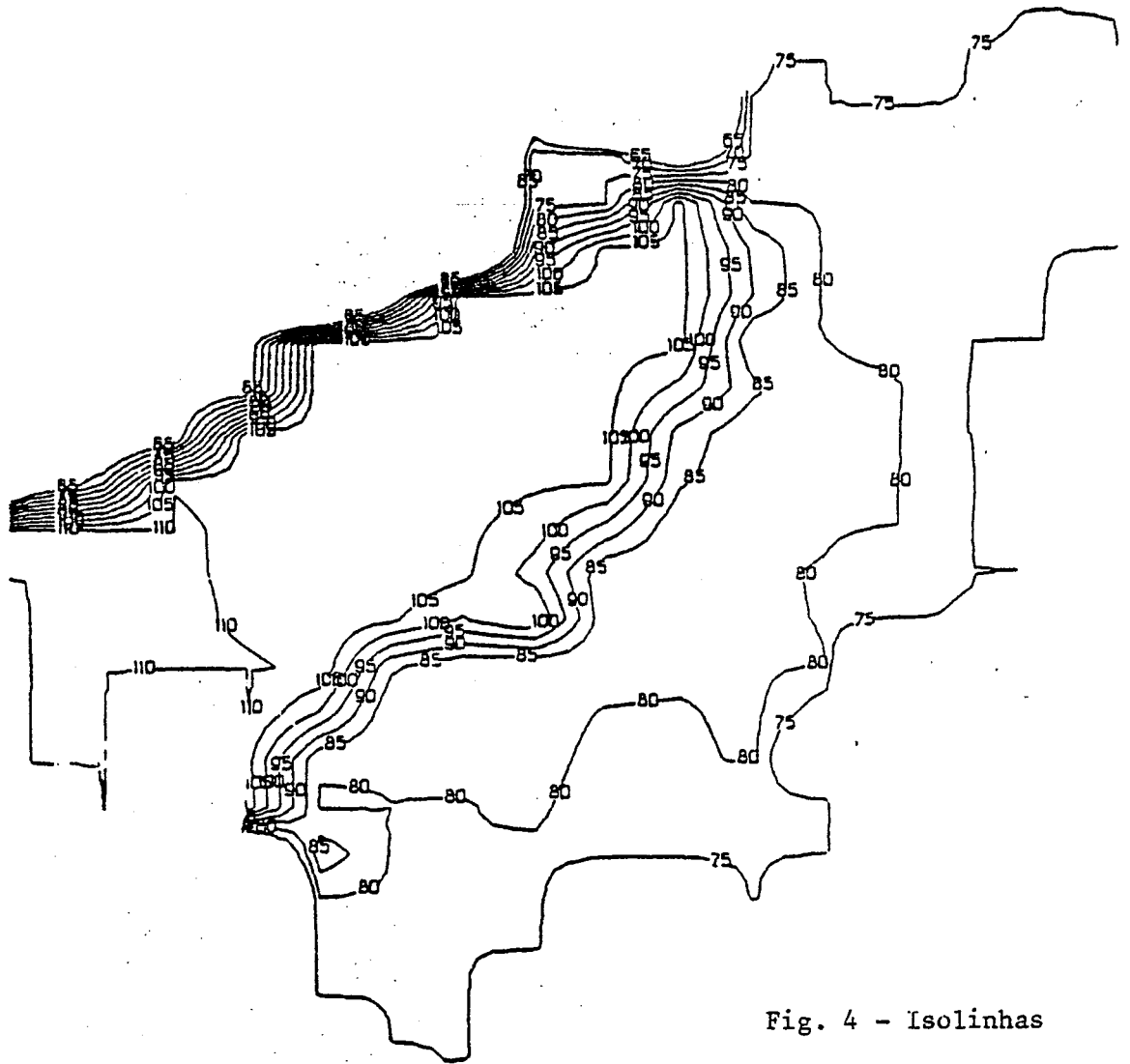


Fig. 4 - Isolinhas

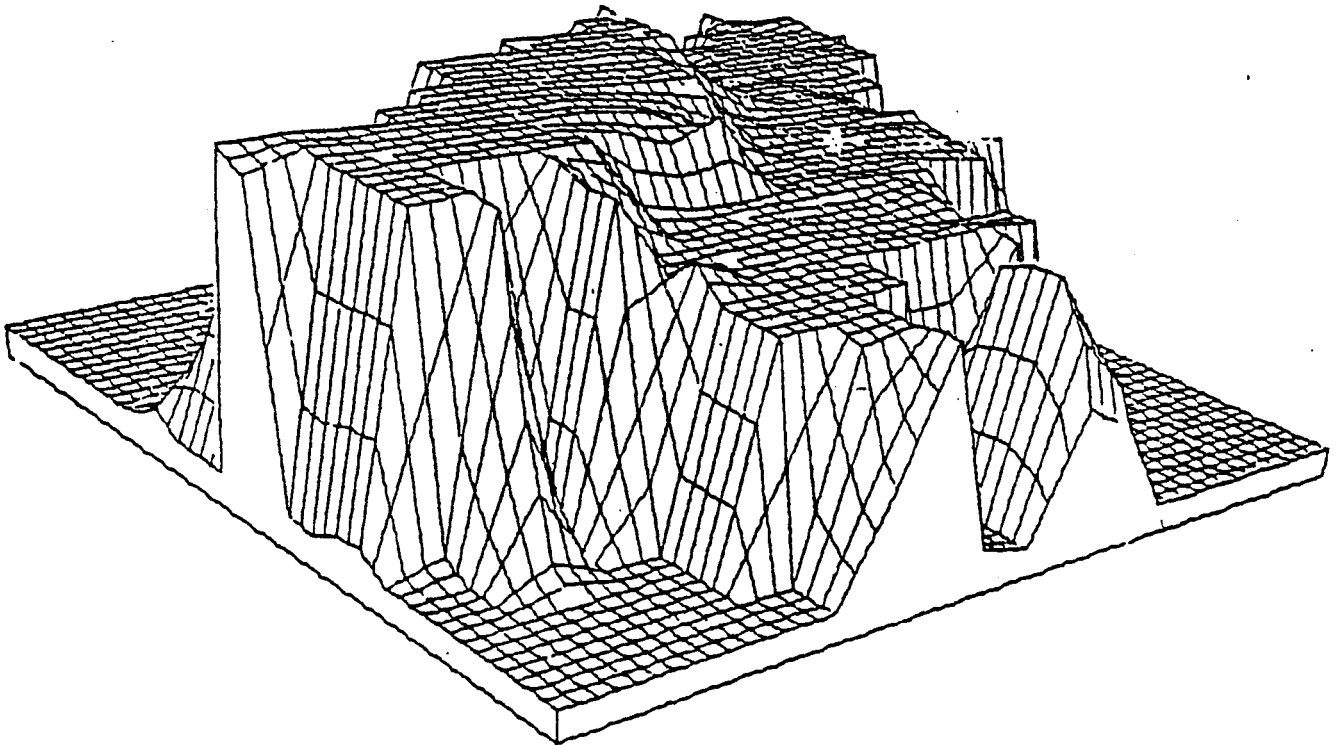


Fig. 5 - Perspectivas

EVOLUCAO DO CAUDAL DE 16/10/83 A 1/1/83
CONDUTA FEIJO - FEIJO (D. AEREO)

1- CAUDAL DIARIO
2- CAUDAL MEDIO=121.98

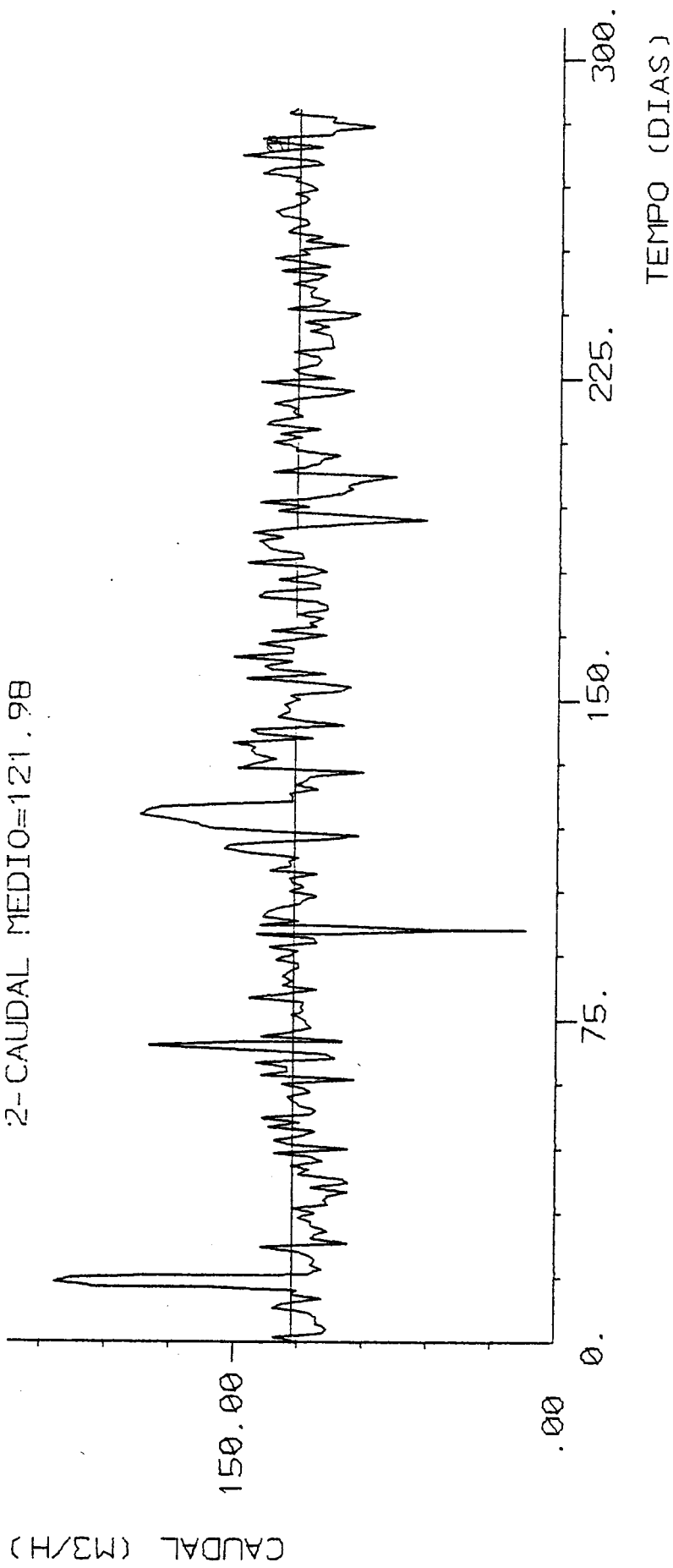


Fig. 6 - Evolução de caudal