

# Análise, Modelação em Cascata e Projecção de Consumos de Água

Júlio F. Ferreira da Silva <sup>(1)</sup>, Naim Haie <sup>(2)</sup>, José M. Pereira Vieira <sup>(3)</sup>

*Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*

## RESUMO

Neste artigo são descritos e aplicados os modelos preconizados para a caracterização e projecção de consumos mensais e anuais de água registados em sistemas públicos de abastecimento.

A caracterização quantitativa da evolução dos consumos ao longo dos meses e anos, é realizado através da identificação das suas principais componentes: a tendência e a sazonalidade.

São apresentados os modelos propostos para a realização de projecções, cuja principal aplicação será a definição de cenários de evolução a longo prazo destinados à elaboração de planos estratégicos de desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água. Estes modelos fazem o tratamento em cascata da sucessão anual e mensal de consumos, utilizando quatro passos sequenciais para identificar a tendência, a sazonalidade, a autocorrelação e a correlação com os factores climáticos.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os responsáveis pela gestão dos sistemas de distribuição de água, em face da crescente procura de água e do incremento das exigências de qualidade, veem-se na necessidade de tentar controlar a evolução dos consumos.

Para cumprir as tarefas de planeamento das medidas necessárias à satisfação das carências sentidas pelas populações no serviço de distribuição domiciliária, os decisores precisam de ter ferramentas de previsão que partam dos registos de consumos mais recentes e antecipem o comportamento imediato das solicitações e por outro lado devem lançar mão de projecções para avaliar em que medida as diferentes políticas influenciam a evolução do fenómeno da procura da água no futuro.

Faz-se uma previsão quando se modelam os consumos para se definir com a máxima probabilidade a evolução num futuro próximo em função das tendências observadas no passado recente. Faz-se uma projecção para evidenciar as perspectivas de

(1) - Assistente-Estagiário

(2) - Professor Auxiliar

(3) - Professor Associado

evolução, ou cenários dos consumos, em função do desenvolvimento dos parâmetros que os influenciam.

Quando se dispõe de um conjunto de observações de consumos relativas a sucessivos períodos de tempo, somos motivados para fazer a sua análise, tarefa esta que visa a descrição, a explicação, a previsão e o controlo.

A descrição da evolução dos consumos ao longo do tempo, com a identificação dos valores mínimos, dos valores de ponta e dos instantes em que acontecem, é uma tarefa preliminar para o desenvolvimento e apuro de qualquer estudo.

A explicação da sucessão em estudo deve ser ensaiada através de modelos que sejam função dos valores passados ou da variação verificada noutras sucessões, por exemplo é conhecida a influência dos factores climáticos, especialmente a temperatura nos gastos de água.

A tentativa de se antecipar a evolução futura dos consumos tem por objectivo ajudar na concepção dos melhores esquemas dos sistemas de abastecimento, bem como no estabelecimento das adequadas políticas de gestão, para se garantir a continuidade do serviço de distribuição ao menor custo possível.

O controlo da evolução dos consumos com a verificação se estão dentro dos limites esperados é fundamental para se detectar os comportamentos aberrantes, enviar sinais de alerta e procurar corrigir a anomalia, evitando o desperdício.

O trabalho que, agora, se apresenta é o resultado dum programa de investigação aplicada que visa a modelação, previsão e projecção de consumos de água e suas aplicações na concepção e gestão de sistemas de abastecimento de água.

Tratam-se de modelos essenciais para a fundamentação das decisões que são tomadas no dimensionamento e na exploração de sistemas de abastecimento de água.

Uma consulta recente aos resumos de teses de doutoramento registados em 1993 e 1994 na base de dados internacional "Dialog" revelou que existem dezoito títulos onde é tratado o tema "Water demand". No domínio da engenharia sanitária, realça-se a tendência para a pesquisa de modelos de previsão e projecção de consumos associados a modelos de optimização para o controlo dos gastos de água e preservação da sua qualidade, sobretudo em zonas carenciadas de climas áridos ou semi-áridos ou em locais onde existem problemas de sobreexploração das principais origens subterrâneas. É exemplo disto a tese de doutoramento de Davies (1994).

A caracterização quantitativa dos consumos em redes de distribuição possibilitará um melhor conhecimento dos elementos base de concepção e dimensionamento, bem como informação necessária à definição de estratégias de desenvolvimento a longo prazo dos sistemas de abastecimento de água.

As principais instituições portuguesas com responsabilidades na distribuição domiciliária de água estão, neste momento, a elaborar planos directores, para definirem as estratégias de realização das obras destinadas ao desenvolvimento dos respectivos sistemas de abastecimento. Nestes planos, a avaliação da evolução dos consumos nas próximas décadas é uma tarefa essencial e condicionante das acções a desenvolver.

Com informação mais apurada diminuir-se-á o risco de deficiente dimensionamento e de desperdício de recursos financeiros, sempre escassos, e incrementar-se-ão as metodologias de optimização dos custos de investimento em obras, bem como dos encargos da posterior operação.

## 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS CONSUMOS MENSAIS DE ÁGUA

Os consumos de água, na maioria dos sistemas de abastecimento de água, têm sofrido um incremento ao longo dos últimos anos. Isto deve-se, principalmente, ao facto das redes de distribuição estarem ainda em ampliação ou remodelação e, também, à evolução do nível de vida das populações, a que corresponde um aumento dos gastos de água na higiene pessoal, bem como nas limpezas das ruas e regas de zonas verdes.

Murteira (1993) descreve a tendência como a inércia ou variação em média numa sucessão cronológica. Esta componente da sucessão de consumos compreende os movimentos que se manifestam suave e consistentemente durante períodos longos, neste caso através dos sucessivos anos e meses. Para investigar, de forma quantitativa, a natureza da tendência, com o objectivo de se antecipar os valores futuros (a longo prazo) dos consumos, usando informação contida na própria sucessão e relacionando-os com outras sucessões cronológicas respeitantes aos factores que os influenciam, os instrumentos estatísticos indicados são a regressão e a correlação.

Para além da variação em média ao longo dos anos, os consumos de água estão sujeitos todos os anos a variações mensais. No entanto, esta evolução mensal não segue um padrão rígido, isto pode ser motivado por causas naturais (por exemplo, devido à evolução da temperatura ambiente ao longo dos dias que é aleatória) e sociais (por exemplo, nos meses de férias de verão devido à transferência das populações residentes no interior para o litoral).

A componente sazonal ou estacional ( $E_t$ ) pode ser caracterizada usando-se modelos determinísticos através de uma análise de regressão em termos de polinómios trigonométricos, já que muitas funções periódicas podem representar-se por uma combinação linear de senos e cossenos. Uma alternativa, mais simples consiste na utilização do método das médias móveis.

Com  $S = 2k$  o período sazonal par, neste caso  $S = 12$  meses, define-se a média móvel de  $S$  termos bilateral e centrada

$$M_t = \frac{1}{S} \left( \frac{1}{2} C_{t-\frac{S}{2}} + C_{t-\frac{S}{2}+1} + \dots + C_t + \dots + C_{t-\frac{S}{2}-1} + \frac{1}{2} C_{t+\frac{S}{2}} \right) \quad t = \frac{S}{2} + 1, \dots, 12.N - \frac{S}{2} \quad (1)$$

Com  $t$  o instante médio das observações incluídas na média móvel e  $N$  o número de anos com valores conhecidos.

Calculando-se os valores

$$E_j^* = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \left[ \frac{C_{S(i-1)+j}}{M_{S(i-1)+j}} \right] \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

$$E_j^* = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \left[ \frac{C_{S(i-1)+j}}{M_{S(i-1)+j}} \right] \quad j = k+1, k+2, \dots, S \quad (3)$$

obtém-se a estimativa da componente sazonal

$$E_j = E_j^* \left[ S / \sum_{i=1}^S E_i^* \right] \quad j = 1, 2, \dots, S \quad (4)$$

Este método tem como principal vantagem a sua fácil programação ou utilização, já que qualquer “software” comercial dedicado a “time series” tem a possibilidade do cálculo e representação gráfica destes índices sazonais.

Nos dados históricos de consumos poderão existir, também, movimentos oscilatórios motivados por alterações dos preços, integradas em campanhas para a poupança da água ou devido às fases de expansão e depressão que afectam a economia e consequentemente a actividade das indústrias e o rendimento das famílias.

A sucessão de consumos de água apresenta, ainda, uma componente aleatória ou resíduo que abarca tudo o que não se consegue definir ou modelar.

### 3 - MODELAÇÃO EM CASCATA

Entre os factores que condicionam os consumos de água encontram-se o número de ramais de ligação que as redes de distribuição possuem, o tipo de consumidores ( doméstico, comercial ou industrial ), o rendimento dos habitantes servidos pelas redes, o preço da água e os factores climáticos (por exemplo a temperatura e a precipitação).

Para verificar as relações entre estes factores e os consumos registados pode recorrer-se a uma técnica de modelação em cascata. Esta metodologia é assim designada já que trata os dados históricos em quatro passos sequenciais.

#### 3.1 - Descrição Geral

A caracterização das sucessões cronológicas dos consumos anuais e mensais pode subdividir-se em componentes de memória longa e partes com memória recente. As parcelas de memória longa são a tendência e a sazonalidade e as de memória curta são a autocorrelação e a correlação climática.

A tendência compreende os reflexos das variações na população, no preço da água, no rendimento familiar e a sazonalidade reflecte as variações ao longo dos meses do ano. A componente sazonal ou periódica dos consumos de água é, aqui caracterizada pela existência de correlação significativa entre registos espaçados por um intervalo de tempo múltiplo de 12 meses.

Para caracterizar a estrutura de dependência no seio da própria sucessão de consumos usamos como modelo a autoregressão que explica os movimentos da sucessão como função linear dos valores nos momentos anteriores.

Para completar o estudo sobre uma sucessão de consumos deve ser realizada uma análise cuidadosa aos resíduos.

O processo de modelação em cascata está representado esquematicamente na Figura 1.

#### 3.2 - Tendência

A tendência nas sucessões cronológicas de consumos anuais tem origem nas variações demográficas, na evolução da cultura das populações, é também, devida a causas que se relacionam com a eficiência económica das empresas e com o rendimento das famílias e, deve-se, ainda, à qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis para a captação da água.

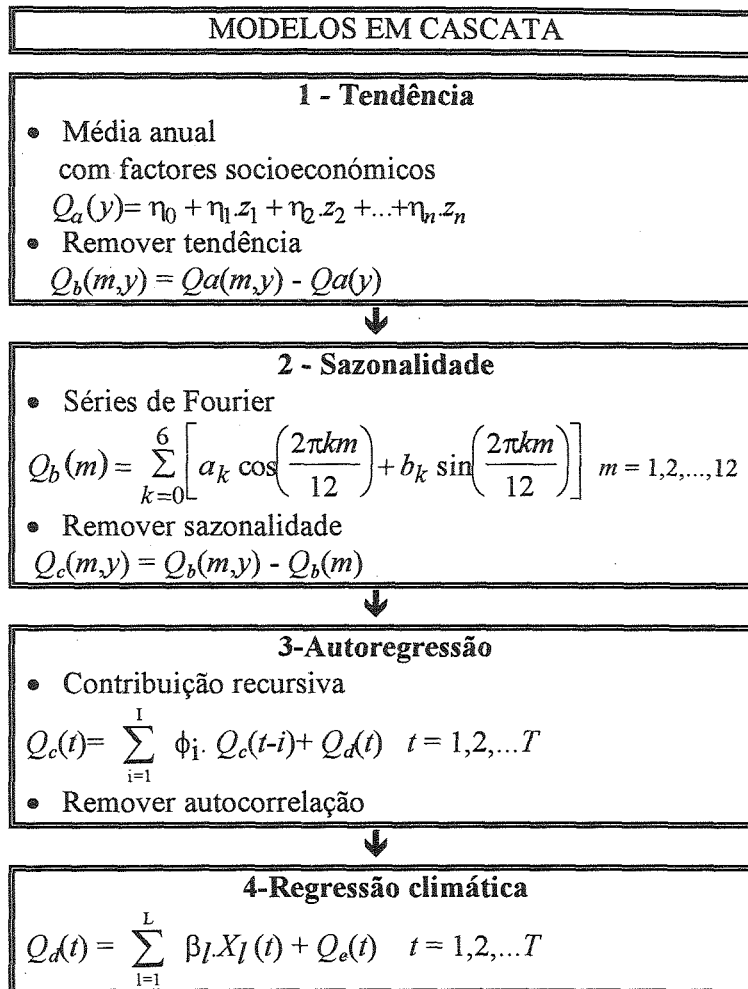


Figura 1 - Modelos em cascata [esquema adaptado de Mays (1992)]

O primeiro passo da aplicação dos modelos em cascata é a identificação da tendência dos dados históricos e, em seguida, removê-la. Este passo tem dois objectivos: por um lado o seu estudo permitirá prever o andamento geral da sucessão tendo em vista a realização de extrapolações e em segundo lugar, a eliminação da tendência permite dirigirmos a atenção para as outras componentes.

A média anual,  $Q_a(y)$ , pode relacionar-se com os factores socioeconómicos relevantes como a população servida, o seu rendimento, o preço da água e o número de ramais de ligação.

$$Q_a(y) = \eta_0 + \eta_1.z_1 + \eta_2.z_2 + \dots + \eta_n.z_n \quad y = 1, 2, \dots, Y \quad (5)$$

em que:

$Z_j(y)$  - Factor socioeconómico ( $j$ ) no ano ( $y$ );

$\eta_j$  - Coeficientes obtidos por regressão;

$Y$  - O número total de anos com dados históricos.

No nosso país a maior parte dos sistemas de distribuição de água estão, ainda, em crescimento, já que existem muitas localidades sem abastecimento domiciliário, ou estão com obras de remodelação e ampliação das componentes existentes, o que sugere uma boa correlação entre os consumos e o número de ramais de ligação construídos.

Cada sistema em estudo deve ser objecto de atenção específica, também, para a definição da tendência, o que pode levar à adopção de outra lei de crescimento mais adequada do que a mostrada na equação (5), por exemplo substituindo-a por um dos métodos que incluem limites para a evolução futura, isto para se evitar o crescimento *ad infinitum*.

O número de anos a considerar nos dados históricos para a definição da tendência dependerá da evolução concreta de cada caso em apreciação.

Nas actualizações, sempre necessárias, dos planos estratégicos das entidades gestoras dos serviços de abastecimento de água, é possível incluir nos modelos de projecção as informações mais recentes da evolução dos consumos e, inclusive, atribuir diferentes pesos às observações registadas em instantes diferentes.

Para remover a tendência da sucessão cronológica dos consumos mensais faz-se:

$$Q_b(m,y) = Q_a(m,y) - Q_a(y) \quad (6)$$

### 3.3 - Sazonalidade

Para caracterizar a sazonalidade na sucessão cronológica de valores mensais  $Q_b(m,y)$  pode modelar-se esta componente utilizando a série de Fourier:

$$Q_b(m) = \sum_{k=0}^6 \left[ a_k \cos\left(\frac{2\pi km}{12}\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi km}{12}\right) \right] \quad m = 1, 2, \dots, 12 \quad (7)$$

com as amplitudes das harmónicas dadas por:

$$a_0 = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \left[ \frac{1}{Y} \sum_{y=1}^Y Q_b(m,y) \right] \quad \text{e} \quad a_k = \frac{1}{6} \sum_{m=1}^{12} \left[ \frac{1}{Y} \sum_{y=1}^Y Q_b(m,y) \right] \cos\left(\frac{2\pi km}{12}\right) \quad k = 1, 2, \dots, 6 \quad (8)$$

$$b_k = \frac{1}{6} \sum_{m=1}^{12} \left[ \frac{1}{Y} \sum_{y=1}^Y Q_b(m,y) \right] \sin\left(\frac{2\pi km}{12}\right) \quad k = 1, 2, \dots, 6 \quad (9)$$

A remoção da sazonalidade da sucessão cronológica é obtida por:

$$Q_{c1}(m,y) = Q_b(m,y) - Q_b(m) \quad m = 1, 2, \dots, 12; \quad y = 1, 2, \dots, Y \quad (10)$$

### 3.4 - Autoregressão

A sucessão  $Q_{c1}(m,y)$  pode ser representada por  $Q_{c1}(t)$  com  $t = 12.(y-1) + m$ .  $Q_{c1}(t)$  pode possuir autocorrelação, representando a componente da memória curta do processo.

O terceiro passo no modelo em cascata é caracterizar essa memória recente

$$Q_{c2}(t) = \sum_{i=1}^I \phi_i Q_{c1}(t-i) + Q_{d1}(t) \quad t = 2, 3, \dots, T \quad (11)$$

em que:

$Q_{c1}(t-i)$  - Sucessão cronológica removida da tendência e sazonalidade, separada de  $i$  meses;

$I$  - n° máximo de intervalos ou "lags";

$\phi_i$  - Coeficiente de autoregressão;

$Q_{d1}(t)$  - Valores residuais depois da remoção da autocorrelação;

$T$  - Número total de meses.

Depois da remoção da autocorrelação vem:

$$Q_{d1} = Q_{c1}(t) - Q_{c2}(t) \quad (12)$$

### 3.5 - Regressão Climática

O quarto e último passo dos modelos em cascata junta a dependência da sucessão cronológica  $Q_d(t)$  com os factores climáticos, precipitação, temperatura, etc. Esta dependência pode ser modelada por:

$$Q_{d2}(t) = \sum_{l=1}^L \beta_l \cdot X_l(t) + Q_e(t) \quad t=1,2,\dots,T \quad (13)$$

em que:

com  $X_l(t)$  - Factor climático  $l$ ;

$L$  - N° total de factores climáticos;

$Q_e(t)$  - Erro aleatório com média zero e variância constante;

$\beta$  - Parâmetro calculado por regressão linear.

Para que os modelos em cascata descrevam bem a sucessão de consumos em estudo, os resíduos  $Q_e(t)$  devem estar não correlacionados, isto é, devem apresentar um comportamento semelhante a uma sucessão de variáveis aleatórias com a mesma distribuição, média zero, variância constante e covariância nula.

### 3.6 - Projecção dos Consumos

Depois do tratamento em cascata dado à sucessão cronológica consumos anuais e mensais, a projecção para um mês ( $t$ ), com  $t > T$ , é dada pela soma das componentes: tendência, sazonalidade, contribuição recursiva e correlação com os factores climáticos:

$$Q(t) = Q_a(y) + Q_b(m) + Q_c(t) + Q_d(t) \quad t = T+1, T+2, \dots, H \quad (14)$$

sendo  $H$  o horizonte da previsão.

Os valores futuros dos factores socioeconómicos e climáticos devem ser previamente conhecidos.

As quatro componentes são definidas por:

$$Q_a(y) = \tilde{\eta}_0 + \tilde{\eta}_1 \cdot z_1'' + \tilde{\eta}_2 \cdot z_2'' + \dots + \tilde{\eta}_n \cdot z_n'' \quad (15)$$

$$Q_b(m) = \sum_{k=0}^6 \left[ \tilde{a}_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi km}{12}\right) + \tilde{b}_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi km}{12}\right) \right] \quad m = 1, 2, \dots, 12 \quad (16)$$

$$Q_c(t) = \sum_{i=1}^I \tilde{\Phi}_i Q_c''(t-i) \quad t = T+1, T+2, \dots, H \times 12 \quad (17)$$

$$Q_d(t) = \sum_{l=1}^L \tilde{\beta}_l \cdot X_l''(t) \quad t = T+1, T+2, \dots, H \times 12 \quad (18)$$

onde

“ $\sim$ ” representa os valores estimados por análise de regressão e “ $''$ ” representa os valores previamente estimados.

### 3.7 - Metodologia

A aplicação dos modelos em cascata deve fazer-se após a recolha e análise preliminar dos dados relativos ao sistemas em estudo. Assim, o primeiro passo será a recolha dos registos de consumos anuais, do número de ramais de ligação existentes na rede de distribuição ou do número de habitantes servidos, bem como do seu rendimento familiar ao longo de diversos anos. É necessária, também, informação sobre a evolução mensal dos consumos, especialmente dos últimos anos, e dos factores climáticos, por exemplo da temperatura e da precipitação.

Aqueles dados podem ser obtidos, respectivamente, junto dos Serviços responsáveis pela gestão do sistema de abastecimento de água, no INE - Instituto Nacional de Estatística, nos relatórios do Banco de Portugal, no INM - Instituto Nacional de Meteorologia e na DSRH - Direcção de Serviços de Recursos Hídricos do Ministério do Ambiente.

O segundo passo será a análise aos dados por forma a se identificar e remover anomalias provocadas, por exemplo, por ausências ou deficiências de leitura. Para ultrapassar esta dificuldade, uma técnica de previsão recursiva designada por filtro de Kalman pode ser usada com vantagem. Trata-se da substituição dos valores em falta pelos que resultam da previsão para esses instantes usando um modelo estocástico.

A primeira fase, propriamente dita, da aplicação da modelação em cascata será a realização duma regressão múltipla entre os valores médios mensais anuais dos consumos e os valores dos factores que os condicionam. Nesta fase deve ter-se o cuidado de não se usar sucessões que estejam correlacionadas entre si, por exemplo, em sistemas em crescimento, a utilização do número de ligações em simultâneo com o número de habitantes servidos pela rede de distribuição pode ser desnecessário, já que o segundo se obtém facilmente através do primeiro.

Na segunda fase, a caracterização da sazonalidade, deve ser preferencialmente quantificada através da utilização de séries de Fourier com um período de doze meses e as médias de cada mês.

Na terceira fase, os coeficientes  $\phi_i$  são calculados por regressão linear dos valores da série  $Q_c$  afastas de diferentes intervalos ou "lags". Por exemplo, fazendo uma análise de regressão usando como variáveis dependentes os valores da sucessão  $\{Q_{c1}(2), Q_{c1}(3), \dots, Q_{c1}(T)\}$  e como variáveis independentes os valores da sucessão  $\{Q_{c1}(1), Q_{c1}(2), \dots, Q_{c1}(T-1)\}$  resulta a equação:

$$Q_{c2}(t) = \phi_0 + \phi_1 Q_c(t-1) \quad (19)$$

De forma similar, os coeficientes  $\phi_i$  para duas subséries afastadas por  $k$  instantes são definidos por regressão usando  $\{Q_{c1}(k+1), Q_{c1}(k+2), \dots, Q_{c1}(T)\}$  e  $\{Q_{c1}(1), Q_{c1}(2), \dots, Q_{c1}(T-k)\}$

O número de "lags" a utilizar é definido detectando o maior coeficiente de correlação proveniente das diversas regressões entre as subséries afastadas de 1 a  $k$  instantes.

Na quarta e última fase, é definida a contribuição para os consumos dos factores climáticos através duma regressão usando os dados históricos, por exemplo, da temperatura e da precipitação e os valores já conhecidos de  $Q_d(t)$ .



Nenhum estudo sobre uma sucessão de consumos está completo sem que tenha sido dada atenção a uma tarefa fundamental que é o exame cuidadoso dos resíduos, pois a sua análise dá indicações preciosas sobre a adequação dos resultados do modelo.

Os resíduos devem ter um comportamento semelhante a um ruído branco para que se possa admitir que o modelo descreve bem a sucessão em estudo. O ruído branco é caracterizado pelo valor nulo da Função de Autocorrelação (FAC) e da Função de Autocorrelação Parcial (FACP). Assim, a sucessão residual deve conduzir a valores daquelas funções que estejam no interior dos limites críticos para que possam ser consideradas estatisticamente nulas.

Para a realização de projecções é necessário dispôr de estudos anteriores sobre a evolução futura dos múltiplos parâmetros intervenientes nas diversas fases dos modelos, o que pode fazer-se recorrendo a relatórios específicos já existentes e realizados por entidades especializadas, como por exemplo a evolução do rendimento familiar deverá ser definida de acordo com as indicações sugeridas nos documentos publicados pelo Banco de Portugal. Nos sistemas que não sofrerão no futuro ampliações, a população deverá participar como um dos factores socioeconómicos para a definição da tendência. As projecções do número futuro de consumidores devem ser realizadas recorrendo à análise demográfica, por exemplo através do método da sobrevivência das coortes.

#### 4 - APLICAÇÕES

Os exemplos apresentados foram seleccionados por responderem às necessidades reais sentidas pelas diversas entidades responsáveis pelo planeamento de sistemas relacionados com a hidráulica urbana, quer no que concerne às tarefas de concepção quer no que diz respeito às operações de gestão, nomeadamente com o conhecimento antecipado dos valores de receitas.

##### 4.1 - Caracterização dos consumos mensais

Para o estudo da evolução dos consumos mensais utilizar-se-á o método das médias móveis. Para ilustrar esta metodologia de caracterização da sazonalidade, seguir-se-á de perto a sua aplicação aos registos dos consumos mensais facturados no sector de distribuição da cidade de Guimarães na última década. As redes de distribuição servem actualmente 18650 ramais de ligação e os consumos repartem-se por domésticos na percentagem de 65 %, comércio e indústria 20 % e o restante por serviços públicos e organismos do estado.

No quadro 1 estão indicados os índices sazonais calculados usando médias móveis e, paralelamente, está também ilustrada a variação mensal segundo Lheureux, que é tradicionalmente usada nos projectos para o dimensionamento de alguns órgãos dos sistemas de abastecimento de água.

A evolução dos consumos mensais apresentada é também característica dos restantes três sectores de distribuição do concelho de Guimarães. O mês de maior consumo é quase sempre Setembro que possui um índice sazonal de 116,4 % e em Agosto assiste-se a uma ligeira quebra no andamento da curva de gastos motivada pela paragem, para férias, da maioria das indústrias e da transferência, durante o dia, de parte da população para as praias do litoral. O mês de menor consumo é, em média, Março.

Quadro 1 - Variação mensal dos consumos (%)

Índices sazonais mensais (%)												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Usando Médias Móveis	98	89	85	98	102	105	109	100	116	111	97	89
Segundo Lheureux	70	70	80	90	110	125	130	130	125	115	85	70

#### 4.2 - Modelação e Projecção em Cascata

Os dados históricos dos consumos anuais de água foram recolhidos nos SMAS de Guimarães e são relativos a todos os sectores de distribuição. Esta informação é relativa a consumos facturados.

O cronograma dos volumes anuais está representado na figura 2 e mostra diversas alterações na marcha principal ou tendência. Em termos gerais, há um crescimento nítido, no entanto, existem intervalos de tempo em se registou uma diminuição dos gastos de água. Na mesma figura é, também, mostrada a sucessão cronológica do número de ramais de ligação. A análise conjunta das duas sucessões sugere a existência de elevada correlação entre os respectivos valores.

Na figura 3 estão representadas as sucessões de consumos anuais e do rendimento das famílias. A sua observação revela que entre 1982 e 1985 existe uma evolução semelhante nas duas curvas.

Na figura 4 estão representados os consumos mensais registados a partir de Janeiro de 1984.

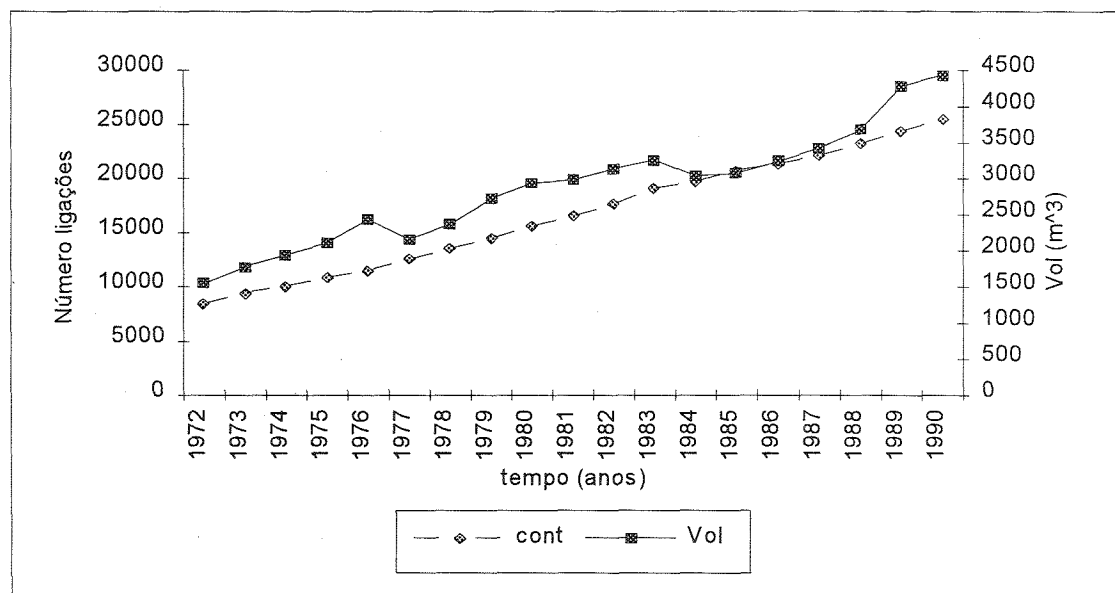


Figura 2 - Consumo anual e Número de ligações em Guimarães

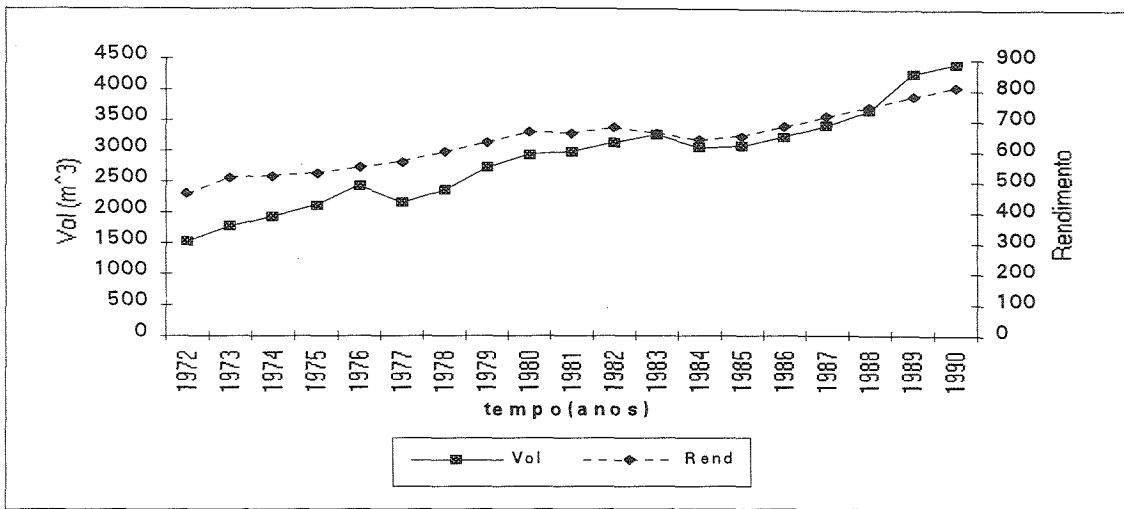


Figura 3 - Consumo anual e Rendimento das famílias

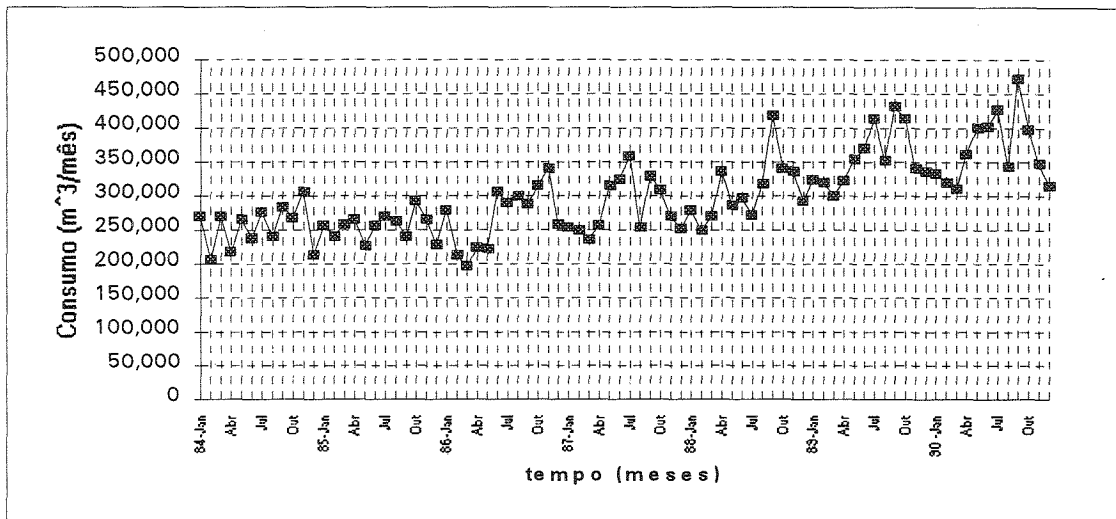


Figura 4 - Consumo mensais em Guimarães

Na definição da tendência utilizaram-se como factores socioeconómicos o número de contadores, o rendimento familiar dos consumidores e desprezou-se o preço da água já que, neste caso, os valores não são suficientemente altos para influenciar o consumo.

A componente Sazonal ou estival é caracterizada com o recurso à série de Fourier.

Para identificar a Autocorrelação, isto é a relação dos valores mais recentes com os registados em instantes anteriores, utiliza-se a Equação (11).

A relação dos consumos com os factores climáticos é avaliada através da análise de regressão dada pela equação (13)

O estudo sobre uma sucessão de consumos só fica completo com o exame cuidadoso dos resíduos (Figura 5). É sabido que os resíduos devem ter um comportamento semelhante a um ruído branco para que se possa admitir que o modelo descreva bem a sucessão em estudo. A análise dos resíduos através da observação da FAC (Figura 6) e FACP residuais indica que se pode considerar boa a adequação do modelo, já que todos os valores, para os "lags" considerados, estão dentro dos limites críticos.

A projecção para um mês futuro ( $t$ ) é dada pela soma das componentes: tendência, sazonalidade, contribuição recursiva e correlação com os factores climáticos. Nesta aplicação definiu-se como horizonte de projecção ( $H$ ) o ano 2000. A projecção do número de ramais de ligação e do rendimento das famílias foi feita através de análise de regressão linear e a projecção das variáveis climáticas, precipitação e temperatura foi realizada com o emprego dum modelo estocástico.

Na figura 7 está, também, representado um intervalo de tempo pós amostral com os consumos reais ocorridos nos anos de 91, 92 e 93. O ano de 1991 caracteriza-se por apresentar nos primeiros meses valores excepcionalmente baixos e com um andamento ao longo do tempo muito longe da curva padrão definida pelos índices sazonais de Fourier.

Quando o objectivo do recurso à modelação e projecção em cascata for a antecipação de consumos futuros para um horizonte de projecto curto, então deve ser procurado, através de uma análise de sensibilidade, qual o número dos últimos anos que deve ser usado como dados.

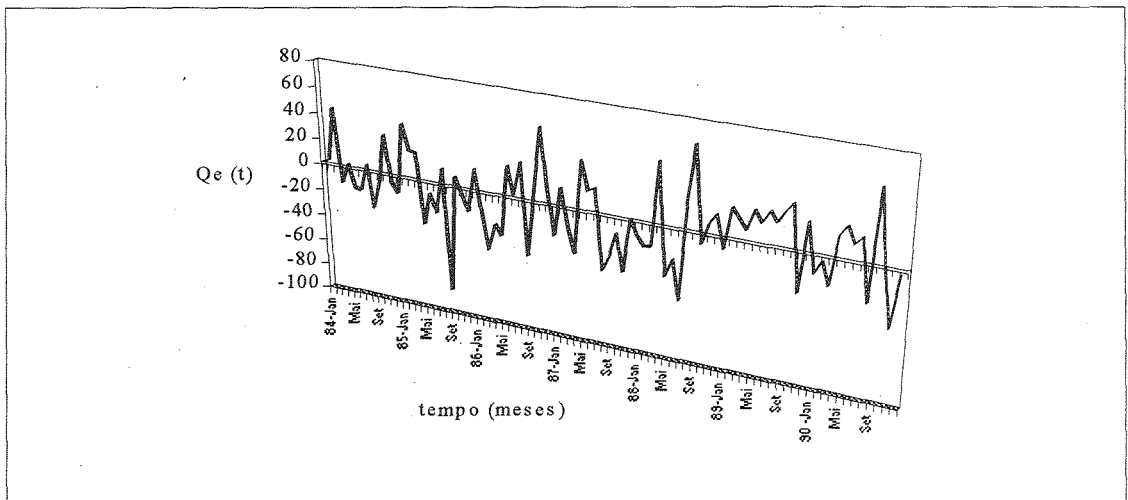


Figura 5 - Sucessão residual -  $Q_e(t)$

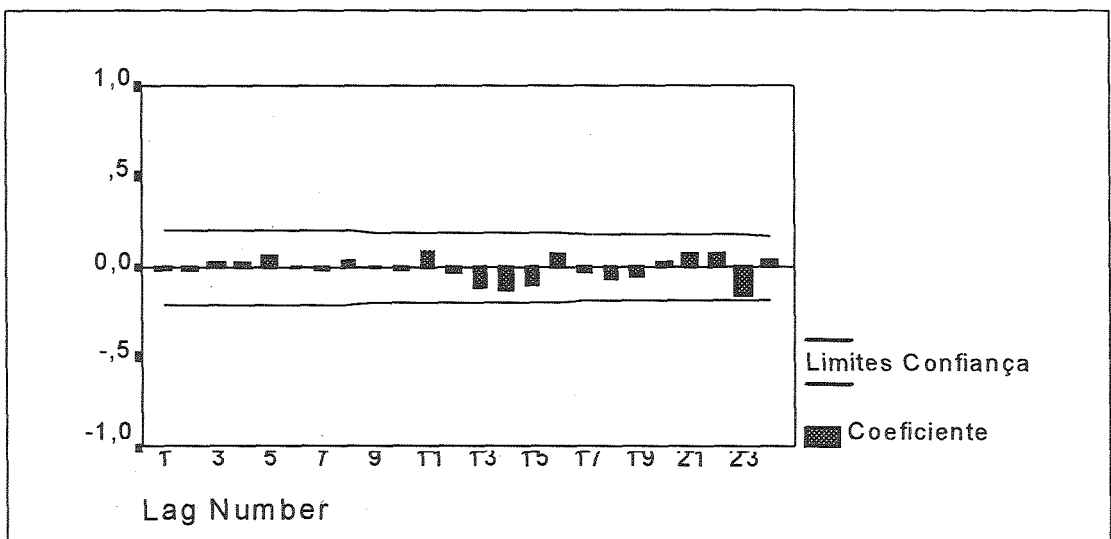


Figura 6 - Função de Autocorrelação dos resíduos

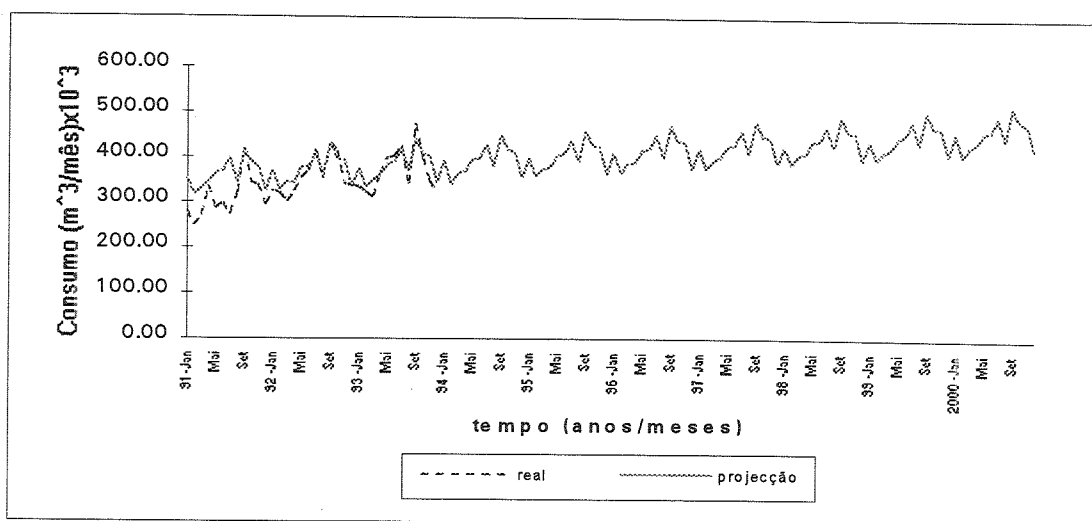


Figura 7 - Projecção de consumos com o modelo em cascata até ao ano 2000

## 5 - CONCLUSÕES

As crescentes preocupações com a qualidade da água e com a garantia da continuidade do serviço de distribuição têm provocado um incremento dos investimentos e dos custos de produção de água potável. Para cumprir as tarefas de planeamento das medidas necessárias à satisfação das carências sentidas pelas populações, os decisores precisam de ter ferramentas de projecções para avaliar em que medida as diferentes políticas influenciam a evolução do fenómeno da procura da água no futuro.

A elaboração de estudos de planeamento de sistemas relacionados com a hidráulica urbana deve basear-se no conhecimento específico da evolução dos consumos de água registados nos sistemas de distribuição de água em funcionamento. Isto tem especial importância na concepção e dimensionamento de obras de remodelação e ampliação e, ainda, na programação das tarefas destinadas a cumprir com os serviços da forma mais económica possível.

A ausência de informação específica dos índices sazonais mensais, especialmente nos sistemas de abastecimento de água objecto de remodelações ou ampliações, mas também na concepção de novos sistemas, pode levar à adopção dos valores tradicionalmente adoptados como “padrão” e conseqüentemente ao dimensionamento desajustado dos diversos órgãos. Isto é facilmente comprovado com a comparação entre os resultados do estudo da evolução ao longo do ano dos consumos mensais da última década em Guimarães com a apresentada por Lheureux.

Os modelos em cascata descrevem bem a sucessão de consumos facturados em Guimarães, já que os resíduos estão não correlacionados, isto é a sucessão residual conduz a valores das funções FAC e FACP que estão dentro dos limites críticos e, então, podem considerar-se estatisticamente nulas.

## AGRADECIMENTOS

Aos SMAS de Guimarães que permitiram o acesso aos dados históricos dos consumos.

## REFERÊNCIAS

1. Davies, Carolyn Mary, "Water Demand Forecasting and conjuntive Management of Groundwater and Mains Supply in the Botany Area, Sydney", PhD University of New South Wales (Australia), Resumo in Base de dados Dialog, 1994.
2. Davis, W. U., D. Rodrigo, D.D: Baumann and J. Boland: IWR "Main Water Use Forecasting System, User's Manual and System Description". U.S. Army Corps of engineers Institute for Water Resources, Fort Belvoir, Va, 1988.
3. Ferreira da Silva, Júlio F., "Modelos Base de Apoio à Decisão no Planeamento de Sistemas de Abastecimento de Água", Trabalho de Síntese submetido à Universidade do Minho no Âmbito de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Guimarães, Dezembro de 1994.
4. Mays, L., Y.Tung, "Hydrosystems Engineering and Management", chapter 6, pp 221-267, McGraw-Hill, 1992.
5. Murteira, Bento J. F. e outros, "Análise de Sucessões Cronológicas", McGrawHill , Lisboa, 1993.