Kamel Zahed Filho

**PREVISÃO DE DEMANDA DE CONSUMO EM
TEMPO REAL NO DESENVOLVIMENTO
OPERACIONAL DE SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo, para a obten-
ção do Título de Doutor em
Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Kokei Uehara

CONSULTA
FT-578

São Paulo, 1990

BC
FT-578

ABSTRACT

This work describes the structure of a reservoir system control in real time. Several usual types of control are shown, foccusing on the need for optimization and automation of real time operations.

Experiences on operational control based on computer referred in literature are described. The state-of-art of operation modeling concerning to simulation, optimization and demand forecasting is presented.

The Metropolitan System of Water Distribution of São Paulo and its operational control system are described.

Two proposed models for water demand forecasting in real time are discussed. The first one is based on the concept of polynomial ajustement to water consumption data. The other one uses an harmonic representation of the observed values.

Results of practical application of these models are analyzed, in respect of numerical precision and confidence on operational decisions.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Kokei Uehara, orientador deste trabalho, meu agradecimento por sua colaboração, incentivo, exemplo e amizade, e meu sincero reconhecimento por sua orientação em minha vida profissional e particular.

Ao Professor Doutor Rubem La Laina Porto, gostaria de externar meu agradecimento por seu apoio e por seu exemplo de um profissional e mestre competente.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, nas pessoas de meus superiores diretos que, através de seu incentivo e da permissão do uso das informações, permitiram a realização deste trabalho.

A Luiz Carlos Helou, meus agradecimentos por sua colaboração e apoio e por suas sugestões que me orientaram nos momentos decisivos do trabalho.

A Roberto Abranches e Liliam Maria Mondego Monte meu agradecimento por sua colaboração nas digitações dos dados.

A Suzanete Zahed Coelho, por sua dedicada e competente colaboração na datilografia do texto, registro aqui meu agradecimento.

A meus pais, minha gratidão por sua orientação que me ajudou a trilhar este caminho. A todos os meus familiares, pelo constante apoio e incentivos a meu trabalho.

A minha esposa, meu especial agradecimento, por sua colaboração desprendida, por seu incentivo animador à continuação de meu trabalho, mesmo nos momentos difíceis de nossa vida.

RESUMO

O trabalho apresenta uma descrição da estrutura de um sistema de controle de reservatórios em tempo real e as diversas formas de controle existentes, mostrando a necessidade de otimização e automatização do controle.

São descritas as experiências de controle operacional baseado em computador obtidas da bibliografia. É apresentado o estado da arte na modelação da operação, no que diz respeito à simulação, otimização e previsão de demandas.

É apresentado o Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo e descrito o seu sistema de controle operacional.

São discutidos dois modelos alternativos propostos para a previsão de consumos em tempo real, baseados em ajustes polinomiais e harmônicos das séries de dados.

Analisa-se os resultados de aplicação prática destes modelos quanto à precisão de resultados e à confiabilidade de operação.

APRESENTAÇÃO

Os estudos de previsão de consumo de água concentram-se na sua grande maioria voltados para a utilização em previsões de longo prazo, para aplicações em planejamento ou projetos de sistemas de abastecimento. Muito pouco tem sido apresentado sobre o problema da previsão de consumo de água em operação em tempo real.

A evolução marcante dos equipamentos de computação, associados aos desenvolvimentos de técnicas eficientes de modelação de escoamentos e de otimização de sistemas têm levado à aspiração de uma operação automática.

A busca de uma operação automática visa obter uma maior confiabilidade e eficiência nos resultados. A palavra automática induz à imagem de eliminação do homem como elemento decisor. Na verdade, o que se procura é incorporar seus conhecimentos a uma metodologia formal e aliviá-lo das tarefas repetitivas e estafantes, permitindo o uso de seu intelecto para analisar criticamente a operação e introduzir novos conceitos e idéias à operação "automática", ao mesmo tempo em que passe para a função de censor das decisões "tomadas pelo computador".

O autor desenvolveu sua dissertação de mestrado na área de operação de reservatórios e tem trabalhado no grupo de con-

trole e desenvolvimento operacional da Diretoria de Operação da Região Metropolitana de São Paulo, da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) desde 1985.

A consulta ao trabalho de Ribeiro (1985), sobre otimização e simulação da operação de um sistema adutor de água, permitiu notar uma lacuna existente para a viabilidade prática do uso da metodologia proposta, que era a necessidade de se dispor de um modelo de previsão de consumo em tempo real.

Paralelamente, a SABESP vinha desenvolvendo, em conjunto com uma empresa de consultoria, um trabalho de otimização do sistema de controle operacional. Foram feitas, na ocasião, algumas tentativas de desenvolvimento de um modelo previsional, que não se mostrou satisfatório, para sua aplicação na operação em tempo real.

A necessidade de construir um modelo previsional de consumos, de reunir e consolidar algumas experiências na área de controle operacional e de propor uma evolução para uma operação otimizada levou o autor a escolher o tema da pesquisa.

Espera-se, desta forma, que a pesquisa desenvolvida venha colaborar no aperfeiçoamento dos serviços de saneamento básico e incentivar novos trabalhos que possam incorporar outros conhecimentos, com benefícios para toda a sociedade.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 8.1 - Menu inicial do programa DIGITA
- Figura 8.2 - Tela de edição do programa DIGITA
- Figura 8.3 - Saída do programa CONSISTE
- Figura 9.1 - Sistema Adutor Metropolitano (SAM)
- Figura 9.2 - Diagrama unifilar da Alça Leste do SAM
- Figura 12.1 - Variação do coeficiente de correlação no ajuste de uma série de harmônicos a uma série semanal de consumos, em função do número e harmônicos.
- Figura 12.2 - Coeficiente de correlação em função do número de harmônicos (múltiplos de 7), no ajuste de uma série semanal de consumos.
- Figura 12.3 - Desvios máximos entre consumos calculados e observados, em função do número de harmônicos, no ajuste de uma série semanal de consumos.
- Figura 12.4 - Intercepto da regressão linear entre consumos calculados e observados, em função do número de harmônicos, no ajuste de uma série semanal de consumos.
- Figura 12.5 - Previsão Harmônica - Análise de sensibilidade do número de harmônicos.
- Figura 12.6 - Previsão Harmônica - Análise de sensibilidade do número de horas de base (7 harmônicos).
- Figura 12.7 - Previsão Harmônica - Análise de sensibilidade do número de horas de base (14 harmônicos).
- Figura 12.8 - Previsão Harmônica - Análise de sensibilidade do número de horas de base (21 harmônicos).
- Figura 12.9 - Previsão Harmônica - Resultados do setor Jaçanã para diversos harmônicos e horas de base
- Figura 12.10 - Previsão Harmônica - Resultado do setor Jaçanã para 21 harmônicos e 5 horas de base.
- Figura 12.11 - Previsão Harmônica - Resultado dos setores da Alça Leste para 21 harmônicos e 5 horas de base.
- Figura 12.12 - Previsão Harmônica - Valores de Média+Desvio-padrão dos desvios entre consumos previstos e observados, em função da hora da previsão.
- Figura 12.13 - Previsão Harmônica - Curva de frequência dos desvios entre consumos acumulados previstos e observados (21 harmônicos e 5 horas de base).

- Figura 12.14 - Previsão Harmônica - Desvios Médios horários entre consumos previstos e observados, em função da frequência e horizonte de previsão.
- Figura 12.15 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios. Polinômio de grau 1 e média móvel de 1 hora.
- Figura 12.16 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios. Polinômio de grau 1 e média móvel de 22 horas.
- Figura 12.17 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios. Polinômio de grau 7 e média móvel de 1 hora.
- Figura 12.18 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios. Polinômio de grau 7 e média móvel de 23 horas.
- Figura 12.19 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios. Curva de frequência.
- Figura 12.20 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade do grau do polinômio. Graus 1,3 e 7 e média móvel de 1 hora.
- Figura 12.21 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade do grau do polinômio. Graus 1,4 e 7 e média móvel de 22 horas.
- Figura 12.22 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da média móvel (grau=1, faixa de tolerância=0 %)
- Figura 12.23 - Previsão Polinomial - Análise de Sensibilidade da média móvel (grau=7, faixa de tolerância=0 %)
- Figura 12.24 - Previsão Polinomial - Resultados do setor Jaçanã para combinações de graus 1 e 7 e média móvel de 1 e 23 horas (faixa de tolerância de 0%).
- Figura 12.25 - Previsão Polinomial - Resultados dos setores da Alça Leste para polinômios de grau 7, média móvel de 5 horas e faixa de tolerância de 0%.
- Figura 12.26 - Previsão Polinomial - Valores da Média + Desvio-padrão dos desvios entre consumos previstos e observados, em função da hora de previsão.
- Figura 12.27 - Previsão Polinomial - Curva de frequência dos desvios entre consumos acumulados previstos e observados (grau=1, média móvel = 1 hora, faixa de tolerância = 0%).
- Figura 12.28 - Previsão Polinomial - Curva de frequência dos desvios entre consumos acumulados previstos e

observados (grau=7,média móvel = 23 horas,faixa de tolerância = 0%).

Figura 12.29 - Previsão Polinomial - Desvios médios horários entre consumos previstos e observados em função da frequência e horizonte de previsão.(grau=1,média móvel=1 hora,faixa de tolerância =0%).

Figura 12.30 - Previsão Polinomial - Desvios médios horários entre consumos previstos e observados em função da frequência e horizonte de previsão. (grau=7,média móvel = 23 horas,faixa de tolerância =0%).

Figura 12.31 -Modelo de Operação - Consumos previstos e reais do período simulado (sem modelo previsional).

Figura 12.32 -Modelo de Operação - Consumos previstos e reais do período simulado (com modelo previsional).

Figura 12.33 -Modelo de Operação - Diferenças entre consumos previstos e reais no período simulado (sem previsão).

Figura 12.34 -Modelo de Operação - Diferenças entre consumos previstos e reais no período simulado (com previsão).

Figura 12.35 -Modelo de Operação - Volumes armazenados previstos e reais no reservatório (sem previsão).

Figura 12.36 -Modelo de Operação - Volumes armazenados previstos e reais no reservatório (com previsão).

Figura 12.37 -Modelo de Operação - Diferenças entre os volumes armazenados reais e previstos no reservatório (sem previsão).

Figura 12.38 -Modelo de Operação - Diferenças entre os volumes armazenados reais e previstos no reservatório (com previsão).

Figura 12.39 -Modelo de Operação - Vazões aduzidas ao reservatório no período simulado.(sem previsão).

Figura 12.40 -Modelo de Operação - Vazões aduzidas ao reservatório no período simulado.(com previsão).

LISTA DE TABELAS

Tabela	8.1	- Índices de Regularidade do Abastecimento dos Setores da Alça Leste do Sistema Adutor Metropolitano.
Tabelas	8.2 a 8.13	- Relação dos dias com dados incompletos de consumo
Tabela	9.1	- Características dos reservatórios da Alça Leste do SAM.
Tabelas	12.1 a 12.10	- Coeficientes de correlação da regressão entre valores previstos e observados de consumos dos setores da Alça Leste, utilizando modelo previsional harmônico.
Tabela	12.11	- Consumos médios dos setores da Alça Leste e sua relação com os volumes dos reservatórios.

NOTAÇÃO

a_i	coeficiente de ajuste
A	área de um lote
A_m	área média de um lote
$A_w(t)$	tendência de consumo
b_i	coeficiente de ajuste
B	benefício obtido sem previsão
$B_d(t)$	termo dependente do dia da semana
B_f	benefício com previsão
B_{max}	benefício operacional máximo
B_{min}	benefício operacional mínimo
B_r	benefício relativo
c_i	coeficiente de ajuste
d_l	coeficiente de ajuste
d_p	preço marginal da água
d_{pm}	valor médio de d_p
D	demanda de um setor
$D_n(t)$	derivada de ordem n do consumo em t
D_t	intervalo de tempo de cálculo
D_w	número de dias em cada semana
e	erro de previsão de consumo expresso em fração do volume do reservatório
E	número de empregados na indústria e comércio
f	fator de consumo por residência unidomiciliar
f_0	fator de consumo base
HH	número de ocupantes por residência
HH_m	valor médio de HH
I	renda média por residência
I_m	valor médio de I

K1	coeficiente de majoração do consumo médio no dia de consumo máximo anual
M	número total de dias da série observada
MF	número de residências multi-domiciliares
n	ordem do modelo auto-regressivo
np	númerode harmônicos
N	metade do número de pontos equidistantes no tempo utilizados no ajuste da série harmônica
P	população
Qm	vazão média de consumo
Qmax	vazão máxima possível de ser aduzida
$r(t,t')$	função de autocorrelação
SFF	número de residências unidomiciliares sem medição
SFM	número de residências unidomiciliares com medição
u	parâmetro meteorológico
v	volume do reservatório,expresso como fração do consumo diário
V	volume do reservatório
Var(B)	acréscimo do benefício com previsão
Var(Q)	variação do armazenamento no reservatório
w	ruído branco
w0	frequencia natural
W	número de semanas utilizadas na correlação
Xwd(t)	carga na hora t,no dia d,da semana w
yp(k)	componente periódica do consumo
yr(k)	componente residual do consumo
ywd(t)	termo residual do consumo
E2m(t)	erro médio quadrático

Í N D I C E

	PÁG.
1- OBJETIVO	1
2- INTRODUÇÃO.....	2
3- FORMAS DE CONTROLES OPERACIONAIS.....	11
4- O CONTROLE OPERACIONAL BASEADO NO COMPUTADOR : EXPERIÊNCIAS.....	19
5- A UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA.....	25
6- A UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE OTIMIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	31
7- PREVISÃO DE DEMANDA.....	35
8- COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	50
9- O SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO.....	57
10- O SISTEMA DE CONTROLE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SÃO PAULO.....	60
11- MODELO DE PREVISÃO DE CONSUMOS EM TEMPO REAL.....	65
11.1 - Considerações Gerais.....	65
11.2 - Desenvolvimento do Modelo.....	69
11.3 - A Estrutura do Programa de Previsão Baseado em Série de Taylor.....	76
11.4 - Um Modelo de Previsao Alternativo Baseado em Série de Fourier.....	80
12- APLICAÇÕES.....	89
12.1 - Ajustes de Harmônicos a uma Série Temporal.....	91
12.2 - Aplicação do Modelo de Previsão de Consumo Baseado em Série de Fourier.....	94
12.3 - Ajuste de Polinômios a uma Série Temporal.....	104
12.4 - Aplicação do Modelo de Previsão de Consumo Baseado em Série de Taylor.....	106
12.5 - Avaliação do Efeito da Previsão de Consumos na Operação de um Reservatório em Tempo Real....	111
13- CONCLUSÃO.....	116
14- BIBLIOGRAFIA.....	131

1 - OBJETIVO

Procura-se desenvolver um algoritmo de previsão de demanda de consumo de água que possa ser utilizado em operação em tempo real de um sistema adutor.

O algoritmo deve satisfazer a três requisitos básicos: precisão de resultados compatível com os desvios de operação aceitáveis, facilidade de aplicação para permitir o processamento dos dados no menor tempo possível e flexibilidade para incorporar correções em função de novas informações obtidas no sistema.

A obtenção de um modelo previsional de demandas permite a utilização de modelos de otimização da operação associados a modelos de simulação do escoamento no sistema.

O algoritmo proposto é aplicado a alguns reservatórios do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, para demonstrar as precisões nas previsões e sua colaboração no auxílio ao modelo de otimização, quanto à melhora no índice de atendimento à demanda e à redução do número de manobras necessárias.

2 - INTRODUÇÃO

A operação de sistemas em tempo real é uma tarefa bastante complexa, que vem recebendo atenção especial já há algum tempo, face à necessidade de se garantir confiabilidade no atendimento dos serviços, economia no uso dos equipamentos (energia e manutenção) e retardamento de investimento para expansão dos sistemas.

O conceito de operação de sistemas é entendido por leigos como mera sequência de comandos de equipamentos, que têm como objetivo o atendimento da demanda. Entretanto, na realidade, o problema é muito mais amplo, envolvendo aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infra-estrutura de apoio e de atendimento ao usuário, todos sendo considerados simultaneamente e interdependentes entre si.

A equipe de "planejamento da operação" define as regras (fixas ou variáveis) de controle dos sistemas, baseada em informações e experiências passadas e no conhecimento do estado atual do sistema. As regras são transmitidas ao "controle do sistema", que por sua vez, retorna os resultados das operações efetuadas ao planejamento, para avaliação do desempenho e para as alterações necessárias.

Para que o planejamento possa definir a melhor regra de operação, são necessárias três condições básicas: a definição

clara do objetivo a ser alcançado, a disponibilidade de modelos matemáticos de análises e os equipamentos para seu processamento e o conhecimento do sistema.

A definição do objetivo é uma das tarefas mais árduas na medida em que vários aspectos, que não técnicos estão envolvidos. Quando existem várias entidades com interesses próprios em um sistema, devem ser negociados seus objetivos conflitantes, procurando alcançar o mais próximo possível o interesse maior da sociedade. Portanto, as questões sociais, econômicas, políticas e ambientais devem ser solucionadas de forma conjunta e coerente. Quando a entidade que opera o sistema é única, os conflitos são menores, mas ainda persiste a necessidade de ordenar seus interesses com os da sociedade e de ponderar os aspectos não técnicos na definição dos objetivos. Além disso, os objetivos podem variar no tempo, em função de condições externas ao sistema e também em função da capacidade do mesmo. Logo após a implantação de um sistema, normalmente ele possui uma capacidade ociosa que deve ser ocupada, através de uma política de incentivo de consumo. Entretanto, isto deve ser feito com cautela, para não levar a desperdício de recursos pelo consumidor que irá se tornar em hábito nocivo ao sistema quando estiver com sua capacidade esgotada. Nas ocasiões em que há oferta e demanda equilibradas, o objetivo da operação está voltado à minimização de custos operacionais, de forma a se maximizar os benefícios líquidos. Quando o sistema está com demanda superior à sua capacidade de produção, o objetivo passa a ser o de minimizar os prejuízos causados pela escassez do recurso oferecido. Nesta fase, deve-se preocupar em manter a igualdade

de atendimento aos usuários e evitar o déficit a usuários especiais, definidos pela entidade e pela sociedade.

Uma vez definido o objetivo da operação, devem ser fixadas as políticas de operação. Para isso, é necessário conhecer o impacto de comandos de equipamentos sobre o sistema. A definição das regras de operação em tempo real exige quatro requisitos: a informação atualizada sobre o estado do sistema, que pode ser concretizada através de um sistema de comunicação por rádio ou telefone ou através de um sistema de telemedição com transmissão centralizada para um centro de controle; a disponibilidade de um modelo de previsão de demandas, para serem consideradas no planejamento da operação dos intervalos de tempo futuros; a existência de um modelo de simulação do sistema para avaliar a reação do mesmo aos comandos a serem efetuados e para detectar elementos críticos que condicionam a operação; um modelo de otimização da operação, que associado aos modelos de previsão e de simulação, define uma política de operação que procure atingir o objetivo pré-fixado. Como o número de informações e cálculos é elevado e é necessário um tempo curto de processamento, deve haver equipamento de "hardware" com capacidade para executar os diversos modelos citados.

O conhecimento do sistema é condição indispensável para o sucesso de uma operação eficiente. O modelo de simulação procura representar da forma mais verossímil possível as condições do sistema real face a alterações impostas pela operação. Por outro lado, para que o processamento dos cálculos seja eficiente, é interessante que a representação do sistema no modelo se-

ja simplificada. Para tanto, é necessário que se conheça a morfologia do sistema e as características físicas de seus elementos. Isto só é possível, com a existência de um cadastro bem organizado e atualizado, uma vez que os sistemas são dinâmicos, com alterações de relações entre seus elementos e de variações das propriedades dos mesmos causadas pelo envelhecimento dos materiais ou por obras de recuperação efetuadas.

O controle e supervisão da operação é o responsável direto pelos comandos de alterações do estado do sistema, sendo muitas vezes julgado pelo sucesso ou fracasso, sem considerar sua relação com o planejamento e as áreas de apoio.

Existem várias formas de controle e supervisão da operação, que serão discutidas mais adiante, que podem se caracterizar por estratégias simples de controle de elementos isolados por operadores locais até uma operação automática centralizada, sem a presença de operadores. Essa evolução de estratégia é obtida a partir da necessidade do próprio sistema, com a experiência adquirida do controle e com a disponibilidade de recursos de telemedição, telecontrole e processamento automático das informações. Os sistemas mais recentes já iniciam a sua operação de forma centralizada, com obtenção de dados por telemetria e comandos à distância, sem a automatização das decisões. Apenas em grandes sistemas e em países mais desenvolvidos se observam desenvolvimento de operações automáticas. Atualmente, esse automatismo é obtido através de modelos otimizadores e de simulação. A fronteira atual consiste no desenvolvimento de sistemas especialistas ("expert systems") em que as experiências vividas

no controle passam a ser integradas ao "software" de decisão.

Quando a operação não é automática, os operadores procuram atender à demanda, visando o custo mínimo e mantendo as condições de segurança do sistema. Os critérios de operação não são explícitos, variando de acordo com a experiência e o comportamento de cada operador. Quando a operação é automática, baseada numa simulação do sistema, com base em demandas futuras previstas, o operador passa a atuar como supervisor, para corrigir os desvios normais da situação real em relação à condição simulada por modelo. Quando ocorre um evento anormal, como um acidente no sistema, o operador passa a ser novamente o decisor das operações.

O acompanhamento constante dos operadores no controle da operação permite avaliar a eficiência das regras operacionais impostas pelo planejamento, detectar elementos do sistema que se comportam de forma diferente que a modelada e subsidiar a equipe de planejamento da operação com sugestões de alterações conseguidas com a vivência no controle do sistema.

Os "serviços de infra-estrutura" são fundamentais para uma otimização dos resultados operacionais. A atualização dos cadastros, através de levantamentos topográficos ou através de ensaios de equipamentos do sistema, irá resultar em uma modelação mais perfeita, fazendo com que as regras impostas pelo planejamento sejam eficazes.

O fluxo de informações dos equipamentos do sistema para o

centro de controle do mesmo é muito intenso e é básico para a tomada de decisões. Uma equipe de manutenção do serviço de telecomunicação deve ser altamente competente e eficiente para garantir o menor número de falhas possível. Da mesma maneira, a manutenção do centro de controle, envolvendo o "hardware" de processamento dos dados, painéis de controle e periféricos (impressoras, teclados, etc) é vital para a eficiência da operação.

Ainda como apoio ao controle e ao planejamento, a equipe de auditoria se encarrega de emitir relatórios gerenciais com base nos resultados da operação, de programar interrupções voluntárias de parte ou de todo o sistema, além de analisar o sistema de forma mais ampla, detectando elementos que devam ser alterados ou novas estruturas que devam ser incorporadas ao mesmo, para melhoria do atendimento da demanda.

A equipe de atendimento ao usuário é responsável pelo contato com o usuário do serviço, atendendo a reclamações de falhas do sistema, orientando o usuário em situações anormais do mesmo, além de manter contato com os serviços de imprensa para avisos mais amplos à população atendida. Esse tipo de contato com o usuário fornece informações ao planejamento e ao controle da operação, que algumas vezes podem orientar na tomada de decisões, além de prestigiar o usuário como uma figura integrante responsável pela qualidade do atendimento.

Por outro lado, a equipe comercial é responsável pela cobrança dos serviços ao usuário, através da medição e da fixação

de tarifas (ou adequando custos a tarifas impostas por outros órgãos) que irão implicar na mudança do perfil de consumos.

Para a coordenação dos serviços de planejamento, controle, infra-estrutura e administração, se faz necessária uma equipe de gerência para acompanhamento dos resultados, para desenvolvimento de equipe, para pesquisa de novos materiais e equipamentos, para controle da qualidade e segurança da operação, além de se responsabilizar perante a sociedade pela eficiência do serviço prestado.

Essa caracterização de uma operação de um sistema permite visualizar a contribuição do trabalhos desenvolvido, que é parte do planejamento da operação de um sistema de adução de água, aplicado à Região Metropolitana de São Paulo.

O sistema adutor de São Paulo, apresenta demanda superior à oferta, o que implica na necessidade de uma operação otimizada para reduzir os déficits, para distribui-los de forma mais racional, uma vez que a capacidade de investimento em novas obras não supera o crescimento da demanda previsto para os próximos anos.

Ribeiro (1985) desenvolveu um modelo de otimização para a operação de um sistema adutor complexo. Entretanto, como dado de entrada do modelo, é admitido conhecido o perfil de consumo do sistema nos intervalos de tempo futuros, que na verdade não é conhecido e que é objeto da pesquisa desenvolvida.

Em alguns países, os modelos de previsão, simulação e otimização já são utilizados há algum tempo. Entretanto, no que concerne à otimização, existem duas diferenças básicas: a função objetivo sempre procura minimizar custos operacionais, pois seus sistemas possuem capacidade de produção superior à demanda e a complexidade do sistema é, geralmente, menor do que a apresentada na Região Metropolitana de São Paulo.

A previsão de consumo de água já foi estudada por algumas entidades estrangeiras. Entretanto, a bibliografia disponível é escassa, além do que as entidades operadoras são empresas particulares, que não possuem, obviamente, interesse em divulgar tais técnicas.

No Brasil, houve uma tentativa de desenvolvimento de um modelo previsional efetuada pela SABESP, Companhia que atende a grande parte do Estado de São Paulo, com apoio de empresa de consultoria, em 1986. Entretanto, face a dificuldade de obtenção de dados, não se obteve um resultado conclusivo para ser utilizado em tempo real.

Os modelos estudados neste trabalho procuram utilizar o menor número possível de informações passadas, de forma a torná-lo simples e ágil para aplicação em tempo real. Os desvios apresentados entre os valores reais e previstos deverão ser corrigidos a intervalos regulares para alteração das regras operacionais, através do uso conjugado do modelo de otimização e o de simulação.

Como um trabalho de desenvolvimento inicial no nosso meio, espera-se que muitas contribuições venham surgir em pouco tempo para refinar o modelo, a partir das idéias simples aqui propostas.

3 - FORMAS DE CONTROLES OPERACIONAIS

A estrutura básica para se controlar um sistema consiste em equipe de planejamento operacional, controle propriamente dito e auditoria pós-operação.

As formas de se efetuar o controle são muito variadas e dependem de vários fatores, tais como a dimensão e a complexidade do sistema, a experiência da equipe, a disponibilidade de equipamentos para comunicação, para comando de estruturas de controle, para cálculos e a disponibilidade de modelos matemáticos para análises de informações, bem como o grau de importância do sistema quanto à segurança, confiabilidade do atendimento e custos operacionais.

O controle dos vários elementos pode ser feito isoladamente ou através de uma central, que é definido por Tardelli (1987) como estratégia local ou estratégia centralizada.

O controle local pode ser feito de três formas diferentes. Na primeira, manual, o operador maneja a estrutura de controle em função do estado local do equipamento e anota os dados operacionais e de consumo. Esta forma só pode ser aplicada a sistemas pouco complexos, onde haja pouca interferência da alteração de estado de um elemento sobre outro do sistema. O custo de manutenção do controle é pequeno, entretanto a solidão do ope-

rador implica em consequências psicológicas graves, tais como o alcoolismo.

A segunda forma de operação local é a automática não programada. São os casos de reservatórios controlados por bóias e elevatórias comandadas por pressostatos. Nestes casos, os reservatórios perdem sua função regularizadora. Há a necessidade de parâmetros definidos pelo planejamento para acionamento dos dispositivos de controle, exigindo manutenção frequente, para garantir confiabilidade.

Devem ser providenciados registradores locais dos dados operacionais ou serem efetuadas leituras periódicas por um observador.

A terceira forma local é a automática programada. Difere da anterior pela complexidade possível de regras operacionais, que podem incluir critérios mais flexíveis, além de limites máximos e mínimos. O comando do controle é efetuado através de redes ou de controladores lógicos programáveis (PLC), que contêm microprocessadores capazes de adquirir e analisar dados e comandar um processo de per si. Esse tipo de automação pode ser utilizada também nos controles centralizados. Nesse caso, há um refinamento do critério operacional em relação ao método não programado. Como os equipamentos são delicados, é necessário um projeto de proteção bem orientado no sentido de garantir seu funcionamento contínuo.

No controle centralizado, as decisões são emitidas por um

centro de controle, o que obriga a uma análise sistêmica dos elementos.

A forma mais simples é aquela em que o operador de um elemento do sistema obedece a comandos do centro de controle e transmite os dados operacionais ao centro, através de rádio ou telefone. Garante-se um acompanhamento contínuo da evolução do estado do sistema. Para que isto seja possível, deve haver boa infra-estrutura de comunicação. É factível em sistemas de grande porte, mas dificulta a análise dos dados, uma vez que não são criados bancos de dados para consultas posteriores.

Uma alternativa mais evoluída conta com um computador que registra e processa os dados, permitindo que os estados do sistema sejam comparados com limites de segurança previamente definidos. O planejamento operacional tem maior importância na orientação da operação. O controle é mais dinâmico, pois o tempo de processamento das informações é bastante reduzido. Em contrapartida, surge a necessidade da criação de um centro de informática, para desenvolvimento de programas e manutenção do computador e periféricos. A auditoria pós-operação é facilitada, pois é possível o tratamento dos dados através de processamento estatístico.

Para incrementar a confiabilidade e segurança operacionais, pode-se prescindir do operador local, passando o sistema a ser controlado a partir do centro de controle. Em uma primeira modalidade, a decisão é tomada pelo operador central. A esse tipo de controle denomina-se SCADA (Supervisory Control and Data Ac-

quisition). Os elementos do sistema (bombas, válvulas) devem poder ser controlados remotamente a partir do centro. O centro de informações deve possuir uma console para o operador, com monitor para visualização das informações em tempo real, impressoras para emissão de relatórios e console para acesso ao banco de dados que contenha as informações históricas e atuais. Este é o estágio atual da operação do sistema adutor metropolitano de São Paulo. Nesta classificação de operações, os modelos matemáticos são utilizados para análises a nível de planejamento operacional (off-line). O controle do sistema é feito de forma conjunta. Com a facilidade de os comandos serem feitos diretamente do centro de controle, tornam-se mais imediatos, uma vez que se elimina o contato com um operador local. A manutenção dos equipamentos de telemetria, telecomando e do centro de informática torna-se mais rigoroso. A qualidade do resultado operacional fica na dependência da participação do planejamento operacional e na capacitação e experiência do operador central.

O estágio mais avançado de operação de um sistema de grande porte exige a mudança de uma forma SCADA para outra denominada controle automático por computador, que exige um algoritmo de otimização da operação associado a um modelo de previsão de consumo em tempo real.

Uma pesquisa recente efetuada pelo Comitê de Projetos de Sistemas de Distribuição de Água por Computador (CADWS) conclui que muitos sistemas gostariam de adotar uma operação controlada ou ao menos auxiliada pelo computador (Shamir, 1985).

Os motivos para esta tendência são explicados pelos fatores seguintes, presentes em parte ou em conjunto nos diversos sistemas:

- a operação do sistema existente está se tornando cada vez mais complexa, devido à criação de novas estruturas e à interligação das existentes. As demandas crescem, tornando-se difícil atendê-las com confiabilidade, o que exige uma abordagem sistêmica na definição dos planos de operação;
- a saída de operadores experientes, nem sempre repostos por pessoas de mesma capacidade e experiência;
- as falhas mais frequentes de sistemas antigos, que conduzem a decisões operacionais difíceis, que devem ser tomadas rapidamente e sob tensão;
- os altos custos operacionais que justificam investimentos na tentativa de otimizá-los;
- o "hardware" de controle está se tornando mais barato e mais disponível e confiável;
- a facilidade de intercâmbio de experiência com sistemas de controle de processos de estações de tratamento, usinas e sistemas hidrelétricos e sistemas hídricos em geral;
- os gerentes, engenheiros e operadores estão se sentindo mais confortáveis e menos atemorizados pelos computadores;
- os modelos matemáticos, os algoritmos de otimização e o "software" de controle têm sido desenvolvidos consideravelmente nos últimos anos.

A experiência da operação do sistema adutor metropolitano tem mostrado a dificuldade dos operadores do centro de controle em conseguir um acompanhamento global da evolução do sistema, principalmente nas horas de consumo acentuado, uma vez que o número de pontos de controle do sistema é bastante elevado. Se o aumento do número de operadores facilita o acompanhamento, por outro lado dificulta a análise do sistema como um conjunto.

O comportamento particular de cada operador perante o risco de confiabilidade e segurança das operações torna o critério operacional bastante subjetivo, conduzindo a operações pouco conservadoras em alguns casos ou muito conservadoras em outros, mesmo quando há uma orientação bastante definida pelo planejamento operacional. Esse fato conduz também a uma descontinuidade de critério operacional, quando ocorrem as trocas de equipes de controle.

Se a tomada de decisões pelo operador beneficia seu aprimoramento no conhecimento das reações do sistema a seus comandos, prejudica por outro lado, dada a dificuldade em propiciar ao operador tempos de análises mais aprofundadas do sistema, uma vez que está continuamente ocupado em comandar os pontos de controle.

A capacitação de novos operadores é tarefa difícil e demorada, com resultado imprevisível. Mesmo com uma análise de perfil psicológico do futuro operador antes do seu treinamento, não se pode garantir o sucesso de se obter um operador ágil e eficiente para um sistema complexo.

A omissão de certas falhas de operação, com o intuito de proteger o operador contra alguma crítica externa, leva a atribuir as causas dessas falhas ao próprio sistema, dificultando a melhoria dos resultados operacionais.

Entretanto, o papel do operador é indispensável tanto na fase de transição de uma operação tipo SCADA para outra automática, quanto após sua implantação. A mudança deve ser feita gradualmente, com as análises de regras operacionais executadas " off-line " e apresentadas aos operadores para serem criticadas. Somente após a comprovação da eficiência e segurança de um algoritmo de operação é que se pode automatizá-lo.

A automatização do sistema poderá atingir níveis diferenciados em função de sua própria necessidade, de sua importância e do risco de falhas admissível. Entretanto, mesmo quando o objetivo for um sistema de controle totalmente automático, será necessária a presença de operador, cuja função será a de censor das regras definidas pelo computador e de responsável pela operação do sistema em situações anômalas ou em casos de falha dos computadores de controle. Essa responsabilidade de operação, em situações críticas, exige o contato permanente do operador com o controle, quer analisando e criticando as regras impostas pelo computador, quer estudando novos algoritmos operacionais para incrementar os resultados da operação.

Um sistema automático exige equipamentos e processos de alta tecnologia, exigindo uma equipe de alto padrão técnico. A

manutenção do sistema deve ser bastante sofisticada tanto a nível de equipamento quanto com relação aos programas de controle. O custo de implantação é elevado, sendo justificado para sistemas complexos de grande porte. Sistemas menores poderão se beneficiar da tecnologia já desenvolvida, adaptando-a a suas condições particulares.

O passo seguinte na automação do controle de sistemas é o uso dos programas desenvolvidos na chamada linguagem de inteligência artificial ou "expert systems". Os programas desenvolvidos nestas linguagens, atualmente ainda não apresentam as características de poder modificar seu comportamento, aprender para gerar novas regras, generalizar para abstrações a partir de exemplos etc. De fato, a maioria dos "expert systems", particularmente aqueles baseados em regras, tratam somente com um conhecimento superficial, ou seja, associações empíricas. Mesmo quando é utilizado um conhecimento mais profundo do tipo causal, este é tratado da mesma forma que o empírico" (Fenves, 1986). Na área de operação em tempo real, há a informação de que a empresa Lyonnaise des Eaux, responsável pelo abastecimento de parte de Paris montou um laboratório em Compiègne, em 1986, para o desenvolvimento de programas ("expert system") para projeto e operação de uma estação de tratamento e para operação em tempo real de um rede de distribuição (Lyonnaise, 1988). Até o momento não se tem notícias de algum resultado concreto.

4 - O CONTROLE OPERACIONAL BA-

SEADO NO COMPUTADOR: EXPE- RIÊNCIAS

O uso do computador no controle operacional de sistemas de adução e distribuição de água tem se difundido por todo o mundo, desde pequenas comunidades até grandes metrópoles.

O custo operacional de elevatórias, associado ao gasto de energia elétrica e os altos investimentos necessários para a melhoria dos sistemas de adução existentes justificam o esforço na utilização de técnicas operacionais baseadas ou apoiadas em computadores.

Inúmeros sistemas utilizam análises de regras operacionais, através de modelos de simulação do escoamento em redes malhadas, a nível de planejamento. A tendência atual é de que os sistemas passem a utilizar o SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), ou seja, o monitoramento e controle do sistema através de telemetria e telecomando, com " loop " aberto, isto é com a presença de um operador decisor. Alguns sistemas já utilizam a operação automática em que a decisão operacional é feita por modelos matemáticos, ou seja, por " loop " fechado (sem operador). Vale descrever algumas experiências para se visualizar o estágio atual de desenvolvimento nesta área.

Hill (1988) descreve a utilização de uma instalação tipo SCADA na operação dos sistemas de adução de água e de coleta e tratamento de águas residuárias de Groveland, Califórnia (EUA).

Groveland é uma pequena comunidade, que possui um rede complexa de estações elevatórias, reservatórios e estações de recalque de esgoto, que atende a uma população crescente e sazonal. Limitada por uma pequena verba para manutenção e uma equipe pequena de operação, optou pelo uso de um sistema SCADA.

O sistema adutor é composto por dois reservatórios principais que alimentam três outros reservatórios e 2000 ligações, através de cerca de 105 Km de dutos e três "boosters".

O sistema de coleta e tratamento de esgoto compreende 16 estações elevatórias, 50 Km de dutos e uma estação de tratamento com capacidade de 20 l/s. O sistema básico de telemetria foi instalado juntamente com uma construção, que terminou em 1974.

Em 1980, o sistema SCADA foi expandido para incluir a adução de água. Paulatinamente, foram sendo acrescentados os controles das estações e dos reservatórios, com auxílio de um minicomputador e de telecomandos.

Em 1985 houve uma implantação de um sistema SCADA, rodando num minicomputador Macintosh. O novo software permite um acesso simples pelo operador que, através de uma visualização gráfica e pictórica do sistema, torna simples a tarefa do operador.

Cosgriff (1985) descreve o sistema SCADA utilizado em Melbourne (Austrália). O sistema produtor apresenta déficits nos períodos de estiagem, havendo poucas verbas para a melhoria do sistema. O crescimento esperado do consumo é de 3% ao ano ou 80% nos próximos 20 anos.

Uma rede telemétrica monitora as vazões, pressões e níveis dos reservatórios, estando ligada a um modelo de simulação, que permite a utilização de dados reais instantâneos.

O modelo de simulação poder ser utilizado para analisar um período de operação ou vários períodos sequenciais. Entretanto, o modelo não está ligado diretamente ao controle do sistema, mas serve para análises de planejamento da operação. Na ocasião, o autor comenta que estava sendo implantado o software de controle. Apenas a modelação do sistema permitiu reduzir um programa de obras avaliado em US\$ 130 milhões em US\$ 30 milhões.

Takagi (1983) apresenta um sistema SCADA utilizado na cidade de Takamatsu (Japão). O índice de perdas devido a vazamentos é estimada em 16%. Face à escassez de água, o objetivo principal da operação é reduzir esse valor, através da manutenção da pressão nas adutoras entre 2,0 Kgf/cm² e 4,0 Kgf/cm². A população atendida é de 305.000 habitantes. O sistema possui 982 Km de tubulações, 4 estações de tratamento, 6 reservatórios, 8 válvulas de controle e 2 estações elevatórias. O sistema já utiliza uma operação do tipo automático, com supervisão do operador. O controle das válvulas é definido por um algoritmo de

otimização do tipo simplex. O sistema é simulado através de um modelo simplificado, que permite sua utilização em tempo real, com erros nos resultados de pressão nos nós, variando de 0,05 Kgf/cm² a 0,2 Kgf/cm². O sistema foi implantado em 1981. O resultado obtido foi uma redução das perdas no ano em 23% e uma diminuição dos arreventamentos das tubulações em cerca de 3% no primeiro ano de operação.

A parte oeste da cidade de Paris é operada através de um modelo de otimização (Lyonnaise, 1988), associado a um modelo de previsão de consumos, que leva em consideração a temperatura e a chuva da tarde anterior, o consumo do dia anterior, o número de dias consecutivos sem chuva, o dia da semana, as previsões meteorológicas de chuvas, temperatura, umidade relativa e visibilidade do próximo dia. O objetivo do modelo de otimização é conseguir encher os reservatórios às 6 horas da manhã. O sistema está em operação desde 1985.

Um sistema SCADA está sendo utilizado em Daly City (USA, California), operando a adução da cidade e monitorando a rede coletora de esgotos. O sistema adutor é composto por 12 reservatórios, nove poços, duas grandes elevatórias e seis boosters. São atendidas cerca de 20.000 ligações. Os computadores são duais e protegidos por fonte de energia auxiliar em caso de interrupção do fornecimento pela rede local. O controle é feito através de monitores coloridos, utilizando teclado ou "light-pen". As apresentações do status do sistema são feitos por gráficos, além dos relatórios gerados periodicamente ou solicitados pelo operador.

Williams et al. (1987) descreve um sistema SCADA que está sendo desenvolvido para a cidade de Wolverhampton (Inglaterra) para atender uma população de 400.000 pessoas. Está sendo implantada uma rede telemétrica mais completa para conseguir identificar o estado do sistema da forma mais detalhada e compatível com o software que está sendo desenvolvido. O software consiste em quatro programas básicos, que são: GIPAS, que ajusta uma equação à curva da bomba e simula sua operação sob várias condições; GINAS, que simula uma rede em regime permanente ou por períodos consecutivos; GIDAP, que analisa uma série de dados para obter os parâmetros de previsão de consumo; e GIMPOS, que é um programa para otimizar a operação das elevatórias. Embora o sistema de telemetria e de software ainda não estejam completos, os custos de operação têm reduzido entre 5% e 10% em relação à operação manual

Firth() descreve o sistema SCADA implantado pela SABESP e James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc, entre 1981 e 1983 para o controle do sistema adutor da Região Metropolitana de São Paulo, que na época possuía cerca de 12 milhões de habitantes em cerca de 30 municípios. O porte do sistema adutor com 110 reservatórios, 62 torres e 25 "boosters" exigiu um prazo relativamente longo para que toda a rede telemétrica fosse instalada e para que o software de controle fosse desenvolvido. Os benefícios com a implantação do controle centralizado relacionam-se à maior confiabilidade do sistema, à redução de extravasamentos de reservatórios, ao controle de vazamentos, através de macromedição, à segurança das adutoras e equipamentos, que

passam a ter limites de trabalho (pressão, vazão, corrente elétrica) bem definidos, além da grande flexibilidade dos operadores em atender uma condição não usual do sistema. Os dados gerados pelo software permitem análises de planejamento de expansão de partes e de todo o sistema adutor, definição de parâmetros de segurança da operação, além de subsidiar dados para novos progressos do controle, como é o caso do modelo de previsão de consumo ora em desenvolvimento.

Os exemplos citados procuram demonstrar a utilização do SCADA em diversos sistemas com características bem distintas. Nota-se a ampla variação das dimensões dos sistemas, desde pequenas comunidades até grandes regiões metropolitanas. A aquisição de dados e o controle automático dos sistemas demonstram em todos os casos redução de custos operacionais, aumentando a segurança e confiabilidade, além de proverem dados para gerenciamento e para planejamento de expansão dos sistemas.

O grau de automatização é bastante variável e dependente do porte do sistema e de suas necessidades. Os sistemas mais complexos tendem a evoluir de uma operação baseada em SCADA para uma operação automática, de forma a liberar os operadores para tarefas de supervisão, visando incrementar a confiabilidade da operação. O esforço exigido é grande e somente após o desenvolvimento em sistemas de grande dimensões, que disponham de recursos para investimentos e pesquisa é que se pode esperar uma difusão maior para os sistemas de pequeno porte.

5 - A UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA.

Os modelos de simulação de redes de distribuição de água consistem no equacionamento das vazões nos tramos de uma rede e das cargas hidráulicas nas junções entre tramos consecutivos.

Podem ser aplicados em estudos de dimensionamento de redes, isoladamente, onde a solução é obtida por análises sucessivas, com alterações impostas pelo usuário, ou em combinação com modelos otimizantes, onde a solução é obtida automaticamente.

Podem ser utilizados em operação em tempo real, associados ou não a modelos otimizadores, de forma a se concluir sobre a resposta do sistema a uma dada manobra.

A análise da simulação pode ser feita, admitindo-se regime permanente no sistema, ou adotando-se variações de vazões ou pressões ao longo do tempo. A simulação por períodos estendidos ajuda na operação de um sistema, verificando se as vazões são mantidas em pressões adequadas em todas as junções do sistema e se a reservação balanceia adequadamente as distribuições de adução e distribuição.

A inclusão de uma pesquisa bibliográfica sobre os modelos de simulação se justifica para permitir que o atual trabalho

possa ser ampliado para a composição de um modelo completo de operação de reservatório em tempo real.

Serão discutidos alguns modelos de forma a se qualificar aqueles mais adequados ao uso em simulação de grandes sistemas e por períodos contínuos de tempo, situação própria de uma operação em tempo real.

Os modelos que consideram o escoamento em regime permanente utilizam a equação da continuidade nas junções ou nós e a equação de energia ao longo dos tramos. O sistema de equações assim formado é resolvido por métodos de resolução de sistemas de equações lineares, pelo método de Hardy-Cross ou pelo método de Newton-Raphson. Constituem exemplos destes modelos, aquele desenvolvido por Davis e Jeppson (1975), o modelo de Tanner (1985), aplicado a análises de abastecimento da região de Los Angeles e Idaho, o modelo desenvolvido pela Montgomery Inc. (1983) para a SABESP e que vem sendo utilizado para definição de regras operacionais e análises de dimensionamento de adutoras e elevatórias.

São utilizados dois procedimentos básicos de cálculo. No primeiro, calculam-se as vazões nos trechos e as pressões nos nós em um dado intervalo de cálculo, admitindo-se regime permanente. Ao final do intervalo, os níveis dos reservatórios são atualizados em função dos consumos do período e das vazões de adução obtidas no cálculo. No segundo procedimento, admite-se o escoamento em regime transitório, utilizando-se as teorias de coluna rígida ou de coluna elástica.

Os modelos desenvolvidos por Bhave (1988), Hamberg e Shamir (1988) e por Shawcross (1985) enquadram-se na primeira classificação.

O modelo desenvolvido por Onizuka (1986) utiliza as equações da teoria da coluna rígida, admitindo que o escoamento se processe como um transiente lento. Ribeiro (1985) apresenta um modelo, em que utiliza as equações da teoria elástica, também admitindo que as manobras do sistema sejam lentas.

Os modelos de simulação em períodos extendidos podem ser utilizados em estudos de dimensionamento ou de otimização de regras operacionais, admitindo uma curva de consumos conhecida ou adotada. A transposição para aplicação em operação em tempo real exige o desenvolvimento de um modelo previsional de consumos. Willians e Coulbeck (1987) descrevem um modelo que está sendo desenvolvido para operação do sistema adutor de Wolverhampton (Inglaterra). A empresa Lyonnaise des Eaux (1988), que opera parte do sistema adutor de Paris, utiliza o modelo de simulação associado ao modelo de otimização em tempo real.

Os maiores problemas na solução dos modelos de simulação residem na restrição das dimensões do sistema representado, pelo impacto do espaço de memória e tempo de computador, na representação realística na distribuição de vazões nos nós ao longo da rede e na determinação dos coeficientes de rugosidade dos trechos, por medidas de campo completas ou por calibração através de algoritmos matemáticos.

Hamberg e Shamir (1988) apresentam duas técnicas, uma discreta e outra contínua não linear para simplificar a distribuição de vazões e agrupar trechos de pequenos diâmetros em trechos equivalentes. O objetivo é criar modelos que sejam equivalentes a um modelo detalhado da rede em termos das distribuições de cargas e vazões calculadas sobre uma área, permitindo uma análise mais eficiente. Quando as redes são de distribuição aos consumidores, as simplificações efetuadas podem não ter grande impacto sobre a solução do modelo, pois os consumos são, geralmente, de pequena magnitude e distribuídos próximos de uma distribuição uniforme ao longo dos trechos. Quando se trata de redes de adução, em que as retiradas de vazões são localizadas em alguns nós da rede e com valores ponderáveis sobre as vazões dos trechos, é necessário que se desenvolva um programa de macromedição do sistema, de forma a se obter registros contínuos dessas derivações ao longo do tempo.

O conhecimento dos coeficientes de rugosidade dos trechos é tarefa bastante difícil e onerosa. Por ser uma característica dinâmica da tubulação, com uma evolução ao longo do seu envelhecimento, torna-se necessário para sua determinação, um levantamento de campo contínuo e abrangente sobre todo o sistema. Muitas vezes essa tarefa torna-se inviável face aos custos e aos tempos envolvidos nos levantamentos de campo. Uma alternativa consiste em se calibrar o sistema modelado, ou seja, estimar coeficientes de rugosidade dos trechos, de forma que os valores de carga nos nós coincidam com os valores calculados pelo modelo de simulação. Essa calibração pode ser feita por proces-

so iterativo de tentativa e erro, que se limita a pequenos sistemas, face ao número de combinações possíveis, que cresce rapidamente com a dimensão do sistema (número de trechos).

Walski (1983) define calibração de um modelo de distribuição de água como um processo de dois passos consistindo em: comparação das pressões e vazões previstas e observadas para condições de operação conhecidas e ajuste dos dados de entrada do modelo para melhorar a concordância entre os valores observados e previstos.

Walski (1983) apresenta uma técnica de calibração de redes que dispensa o processo de tentativa e erro. Basicamente, são observadas vazões e pressões nos nós (hidrantes) para duas condições de escoamento distintas e, através de dois coeficientes, vai se corrigindo as vazões ou as pressões. Em um trabalho apresentado, Walski (1986) mostra que é possível calibrar um sistema complexo com 271 nós, 307 tramos e 9 válvulas redutoras de pressão, desde que os dados de campo sejam obtidos com precisão.

Bhave (1988) utiliza uma técnica alternativa à proposta por Walski (1983), admitindo que as vazões dos nós que são fonte do sistema possam ser medidas. A rede é dividida em zonas e caminhos. O processo é iterativo e deve ser repetido até que se obtenha uma calibração aceitável.

Ormsbee e Wood (1986) descrevem uma técnica de calibração explícita em que as equações básicas de uma rede são resolvidas

em funções dos ajustes das perdas de carga que satisfaçam exatamente uma ou mais condições de pressões e vazões medidas para uma dada condição operacional de demandas.

Independentemente da técnica utilizada, os autores concordam com duas premissas básicas: a necessidade de efetuar a calibração com duas condições operacionais distintas, para evitar que a combinação de um conjunto de parâmetros de rugosidade e de distribuição de vazões nos nós seja válida apenas para a condição particular ensaiada e a confiabilidade necessária sobre os dados levantados em campo, que exige um controle de qualidade rígido das medidas de pressão e vazões efetuadas.

6 - A UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE OTIMIZAÇÃO DE REDES DE DIS- TRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A otimização de redes de distribuição de água tem merecido destaque nos últimos anos, principalmente no que se refere ao dimensionamento de tubulações e reservatórios. Alguma experiência já existe também na fase operacional das redes, onde se procura minimizar os custos operacionais.

Quindry et al. (1981) aplicaram uma técnica de programação linear com o uso de pesquisa gradiente do ótimo, para dimensionar uma expansão de rede de adução de Nova York.

Morgan e Goulter (1985) desenvolveram um modelo de otimização baseado no uso conjunto de programação linear e simulação da rede por Hardy-Cross. A hipótese é que se conheçam as curvas de consumo da rede. O modelo pode ser utilizado para dimensionamento de uma nova rede ou expansão de uma já existente.

Na conferência ocorrida em Buffalo, New York, em 1985 vários autores apresentam técnicas diversas. Gessler (1985) descreve uma técnica de otimização de redes baseada em uma enumeração exaustiva. Embora o programa não possua uma forma elegante, garante a solução ótima global, além de permitir a consideração de restrições como velocidades máximas e custos de produção da água de diferentes mananciais. Lansey and Mays (1985) agruparam um modelo de otimização não linear a um simulador da

rede. O modelo não sofre restrições com a dimensão do sistema, permitindo analisar grandes redes sob várias condições de demanda.

Chiplunkar et al (1986) utilizam uma técnica de programação linear para o projeto de um grande sistema (Nadiad, Índia, com 44 anéis, 101 nós e 144 tramos) para uma condição de demanda. As restrições são incorporadas à função objetivo, através de funções de penalidade.

Walsky et al. (1987) fazem uma comparação entre vários métodos apresentados na conferência de Buffalo, quando aplicada a um caso de estudo. Embora haja diferenças nas soluções, todos os métodos utilizados chegaram a soluções com variações de 10 % de custo. Embora os programas de otimização possam auxiliar o engenheiro na escolha nos diâmetros dos tubos, é necessário ainda uma grande dose de julgamento e de experiência para se definir uma solução de baixo custo.

A aplicação de otimização em operação em tempo real tem sido desenvolvida por alguns autores. A empresa Lyonnaise des Eaux tem utilizado um modelo de programação dinâmica associado ao modelo de resolução de redes de Hardy-Cross. Para reduzir o número de combinações de alternativas de operação (que exigiria para o caso 10 exp. 40 a 10 exp. 50 cálculos da rede) a rede foi dividida em sub-redes, cada qual possuindo um único reservatório (que pode em alguns casos representar um agregado de vários existentes). As transferências de água de uma sub-rede a outra são atribuídas com um custo. O objetivo é minimizar o

custo de produção diário.

Willians e Coulbeck (1987) comentam sobre um modelo de otimização em desenvolvimento para minimização do custo operacional das bombas do sistema de Wolverhampton. Não detalham qual a metodologia utilizada.

Ribeiro (1985) propõe um modelo otimizador associado a um simulador. A procura da solução ótima é feita por pesquisa gradiente. A função objetivo consiste em utilizar os volumes dos reservatórios, evitando seu extravasamento e seu esvaziamento.

Das pesquisas e aplicações apresentadas, conclui-se que a otimização de redes de adução, tanto a nível de dimensionamento como de operação ainda não se constitui uma ferramenta acessível para o trabalho diário do engenheiro. A não linearidade das equações físicas envolvidas, a dificuldade na obtenção de curvas reais de custo e a dimensão e complexidade dos sistemas têm sido empecilhos para a obtenção de um modelo eficaz que faça prescindir o julgamento e a experiência pessoal do decisor.

O próprio critério de ótimo é um termo bastante controverso, uma vez que os custos operacionais são apenas um dos aspectos a serem considerados.

Pelo grande número de pesquisadores envolvidos nesta área, é de se esperar que em breve se atinja um desenvolvimento maior e se estabeleça algum método mais eficaz.

Entretanto, quando se observam as dificuldades dos pesquisadores em desenvolver os modelos de otimização, com técnicas tradicionais, questiona-se o tempo necessário para o desenvolvimento do modelo em linguagem artificial genéricos para a operação de sistemas complexos.

A quase totalidade dos autores impõe, como função objetivo, a minimização dos custos operacionais, principalmente dos gastos de energia nas elevatórias. Em um sistema com demandas superiores à capacidade de produção, como é o caso do sistema adutor metropolitano de São Paulo, a função objetivo deve refletir a busca em minimizar e distribuir os déficits de atendimento. A utilização das funções mais comuns de minimização de gastos de energia torna-se inapropriada e a definição de uma função objetivo adequada é tarefa difícil e ainda não solucionada.

7- PREVISÃO DE DEMANDA

A previsão de demanda é um assunto sempre presente, quando se pretende criar ou expandir um sistema. De uma forma geral, a previsão é uma afirmação sobre o futuro. Entretanto, ao contrário da "predição", a previsão é condicional sobre o que é esperado para acontecer, caso uma série de hipóteses admitidas venham a se tornar válidas. Portanto, a previsão pode ser entendida como uma projeção ou extrapolação das tendências do passado (Boland, 1985).

A previsão de demanda pode ser classificada de várias formas, de acordo com diversos critérios.

Quanto à variável prevista, a previsão pode ser classificada como previsão hidrológica, previsão de carga elétrica, previsão de consumos de água etc. Dependendo da variável prevista, as técnicas utilizadas podem sofrer variações em função das características de cada processo.

Quanto ao horizonte de previsão, pode-se classificar a previsão como de longo prazo ou curto prazo. A previsão de longo prazo está associada à definição de parâmetros para planejamento ou projetos de novos sistemas. A previsão de curto prazo está associada aos estudos de efeitos de medidas de racionamento ou a operação em tempo real.

No caso de previsão de longo prazo, procura-se, geralmente, prever três valores básicos: a demanda média de um dia de consumo médio, a demanda média de um dia de consumo máximo e o pico de consumo de um dia de consumo máximo. Na previsão de curto prazo, procura-se definir o padrão de consumo, isto é, a distribuição dos consumos ao longo do tempo.

A previsão de consumos pode estar ligada a um consumo agregado, como o de uma região, ou de uma cidade ou de um setor abastecido por uma fonte definida ou a consumos individuais, onde se analisam os perfis associados a ligações domésticas, comerciais, industriais, etc.

Antes de classificar alguns métodos de previsão, convém salientar os principais fatores associados à definição do consumo que são: a posição econômica e social dos consumidores, os tipos de residências, o tipo de uso do solo, as características das instalações hidráulicas individuais, o método de medida de consumo, o preço da água e as condições climáticas, especialmente a temperatura.

Serão analisados alguns modelos de previsão de longo prazo, com o intuito de se observar as variáveis utilizadas para definições dos consumos.

Crews (1985) e Boland (1985) propõem formas diversas de classificação de métodos de previsão de longo prazo. Uma síntese das duas idéias permite propor a seguinte estrutura de clas-

sificação:

- Métodos consensuais, são aqueles que visam uma explicação explícita do processo e se concentram em pura predição, causando pouca confiabilidade nos resultados;
- métodos de extrapolação temporal, que procuram explicar as alterações do consumo como função do tempo. Este é um processo útil para previsões de curto prazo, mas pouco eficaz para previsões de períodos de alguns anos;
- métodos de coeficientes únicos, que incluem a tradicional aproximação de consumo per capita ou consumo per ligação;
- métodos de coeficientes múltiplos, que relacionam o consumo com variáveis importantes, e os modelos econométricos de demanda;
- métodos probabilísticos, que proporcionam um meio de considerar a incerteza da previsão. Qualquer um dos métodos acima pode ser utilizado, atribuindo-se probabilidades subjetivas aos vários cenários possíveis do futuro, dependentes das várias fontes de incerteza relacionadas aos níveis de consumo futuro da água.

Young et al. (1985) relatam suas experiências no desenvolvimento de um modelo previsional para a região metropolitana de Denver (Colorado, USA). O modelo é composto de duas partes, em que na primeira aproximação os fatores de uso são aplicados a

variáveis demográficas (população, número de residências). A partir de uma regressão do consumo com diversas variáveis econômicas (tamanho do lote, preço), as previsões iniciais são, então, refinadas.

Como fatores de uso foram considerados: número de residências unidomiciliares com medição (SFM), número de residências unidomiciliares sem medição (SFF), número de residências multi-domiciliares (MF), número de empregados na indústria e comércio (E), população (P) e fator de consumo por residência unidomiciliar (F).

A demanda de um setor (D) é expressa por:

$$D = f \times \text{SFM} + 630 \times \text{SFF} + 217 \times \text{MF} + 45 \times \text{E} + 14 \times \text{P} \quad \text{Eq 7.1}$$

O refinamento da consideração dos fatores econômicos está associada à definição do consumo diário f , dado por:

$$f = f_0 + 350 \times a_1 \times (A - A_m) - 118.7 \times a_2 \times (dp - dpm) \\ + 3.59 \times a_3 \times (I - I_m) + 31.2 \times a_4 \times (HH - HH_m) \quad \text{Eq 7.2}$$

onde

f_0 = é o valor base médio do consumo SFM
(2.500 l/residência/dia)

A_m = tamanho médio do lote ($A = 0,24$ acres)

dp = preço marginal da água

Im = renda média por residência

HH = número de ocupantes por residência

ai = coeficiente de ajuste

A apresentação das expressões deste método visa mostrar o uso conjunto de um modelo com coeficiente único associado a outro de múltiplos coeficientes.

HU (1988) efetua um estudo de previsão de demanda para Hong Kong (China), a partir de estatísticas históricas de consumo, fazendo a projeção incluir a projeção do consumo total baseada nas tendências de crescimento histórico, a projeção baseada no crescimento da população e do consumo per capita, a projeção baseada nas tendências de crescimento das principais categorias de consumidores (doméstico, comercial e industrial) e a projeção baseada nos planos e programas de desenvolvimento do uso do solo. Todas essas projeções diferem, naturalmente, entre si, com graus variáveis, representando vários cenários possíveis de crescimento de consumos, cada uma tendo seus méritos e restrições em função dos critérios e hipóteses admitidos. Desta forma, é inevitável um enfoque probabilístico dos resultados das projeções, criando um conceito de banda de confiança, onde se definem limites superior e inferior de demandas futuras, para

garantir um planejamento mais prudente.

Quando os modelos de longo prazo procuram definir as vazões de pico de consumo, há uma tendência em correlacioná-los com grandezas climáticas e principalmente com a temperatura.

Um trabalho efetuado por Darr (1988) descreve um modelo de correlação entre o consumo médio mensal e a média mensal das temperaturas máximas diárias, aplicado à cidade de Jerusalém (Israel). Utilizando dados do período de 1980 a 1985, obteve uma correlação linear, com coeficiente de correlação igual a 0.945. Sugere que esta técnica poderia ser utilizada para intervalos de tempo menores.

Entretanto, Merlo (1988) compara as vazões de pico diárias com a temperatura e observa que, como regra geral, o consumo tende a aumentar quando a temperatura excede 30°C (na cidade de Turim, Itália) por várias horas durante o dia. O acréscimo do consumo devido a temperatura poderá chegar a ser da ordem de 15 a 20%. Transportar essa relação para uma fórmula seria muito difícil, pois como afirma o autor, deveria ser admitido que uma série de outros fatores permanecessem constantes, enquanto se sabe que variam continuamente e de forma aleatória. Por exemplo, se ocorressem as mesmas variações de temperatura nos meses de Julho ou Agosto, as curvas de consumo seriam totalmente diferentes. Se o dia com a temperatura de pico máxima for uma segunda-feira, o pico de consumo seria maior. Existe, pois uma inter-relação entre a temperatura e os demais fatores, que dificultam a explicitação do consumo como função da temperatura.

Merlo (1988) define as curvas de consumo agregadas (para a cidade de Turim), a partir dos perfis de consumo por tipo de uso (doméstico, industrial, etc...), procurando definir as relações entre o consumo de um dia de pico e um dia médio.

Os modelos de previsão de demanda de curto prazo têm sido utilizados basicamente para estudos de racionamento em períodos críticos de atendimento e para a operação em tempo real de sistemas de abastecimento de água, gás e eletricidade.

Nvule (1985) desenvolveu dois modelos de previsão de demandas, para prever a data de início de racionamento, durante uma estiagem ocorrida na região de Austin, Texas (EUA), em 1.984. Com os modelos, avaliou também o efeito das medidas de racionamento sobre o consumo do período. Em ambos os modelos, o consumo é relacionado com a temperatura (número de dias com temperatura máxima superior a 29,4°C) e com o número de dias chuvosos.

A previsão de demanda de curto prazo foi inicialmente utilizada na área de eletricidade. Dryar (1944) e Schiller (1945) estudaram a influência das condições meteorológicas e da iluminação do dia sobre a carga dos sistemas elétricos.

Davies (1945) faz um trabalho muito interessante, buscando a correlação entre a carga elétrica demandada por um sistema e as condições climáticas. Dos fatores meteorológicos, enfoca cinco como sendo os mais importantes: temperatura e velocidade do vento, como elementos controladores da demanda de calor e

nebulosidade, visibilidade e precipitação como determinantes da demanda de iluminação. Inicialmente, Davies tomou os dados de um ano de observação e efetuou uma regressão linear múltipla com três fatores meteorológicos, definidos como temperatura efetiva, poder de resfriamento do vento e índice de iluminação diária. Para eliminar as tendências sazonais e de longo prazo, bem como o efeito do dia da semana, foi ajustado aos dados de consumos, um polinômio de 6º grau e uma correlação de dia de semana. As diferenças entre os consumos reais e os valores ajustados por polinômio foram correlacionados com os fatores meteorológicos já descritos. Para um refinamento da análise, Davies efetuou correlações gráficas não lineares entre os consumos de energia e os fatores meteorológicos, para avaliar os desvios em relação à hipótese de linearidade admitida.

Farmer e Potton (1968) desenvolveram um modelo em que só utilizavam os dados disponíveis no computador no centro de controle, prevendo a carga unicamente a partir de seus valores atual e anteriores. Argumentavam que para estimar a carga, analisando sua dependência com parâmetros meteorológicos, tornaria a tarefa duplamente difícil, pois haveria a necessidade de se desenvolver outro modelo de previsão meteorológica.

Para o propósito de previsão, a demanda pode ser considerada como uma combinação de duas componentes: a primeira, tendência de longo termo, inclui o crescimento econômico, as variações sazonais e as periodicidades e a segunda, que inclui as componentes de variações diárias e horárias oriundas das flutuações das condições climáticas. O método utilizado para ana-

lisar essas componentes foi a decomposição espectral.

A carga é representada pela soma de uma tendência de longo termo, de uma componente variável com o dia da semana e de uma componente que flutua dia após dia e hora após hora. Se $X_{wd}(t)$ é a carga na hora t do dia da semana d e da semana w do ano, pode-se escrever:

$$X_{wd}(t) = A_w(t) + B_d(t) + Y_{wd}(t) \quad \text{Eq. 7.3}$$

onde:

$A_w(t)$ representa um termo de tendência que é atualizado manualmente.

$B_d(t)$ representa um termo dependente do dia da semana

$Y_{wd}(t)$ é a componente residual.

Os termos $A_w(t)$ e $B_d(t)$ são especificados, minimizando as componentes residuais de várias semanas de dados observados.

Os valores $A_w(t)$ e $B_d(t)$ são obtidos por:

$$A_w(t) = \frac{1}{D_w} \sum_{d=1}^{D_w} X_{wd}(t) \quad \text{Eq. 7.4}$$

$$B_d(t) = \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W [X_{wd}(t) - A_w(t)] \quad \text{Eq. 7.5}$$

onde:

W é o número de semanas utilizadas e

D_w é o número de dias em cada semana.

A componente $Y_{wd}(t)$ é expandida em série, em termos de funções características do processo:

$$Y_{wd}(t) = \sum_{k=1}^K a_{wdk} \cdot L_k^{0,8} \cdot \phi_k(t) + E_{wd}(t) \quad \text{Eq. 7.6}$$

onde:

$\phi_k(t)$ é determinada pela integral.

$$\phi_k(t) = \frac{1}{L_k} \int_0^T r(t, t') \cdot \phi_k(t') \cdot dt' \quad \text{Eq. 7.7}$$

onde:

$r(t, t')$ é a função de autocorrelação

$$r(t, t') = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m(t) \cdot y_m(t') \quad \text{Eq. 7.8}$$

onde:

M é o número total de dias da série observada.

A expressão (7.5) garante que não há outra expansão com o mesmo número de termos que forneça um erro menor. O erro médio quadrático (sobre os dados observados) toma a forma seguinte:

$$E^2 m(t) = r(t, t') - \sum_{k=1}^K L_k \cdot \sigma_k^2(t) \quad \text{Eq. 7.9}$$

Por essa relação o número de termos K, pode ser definido em função da precisão desejada na representação da carga residual $y(t)$.

A aplicação deste método gerou erros de previsão variando de 2 a 6% para antecedências de 0,5 hora a 2 horas, respectivamente.

O uso da previsão de demanda de consumos de água em curto prazo tem merecido atenção frequente, face à necessidade de economizar energia, através de uma operação otimizada das elevatórias do sistema.

A exemplo da previsão de carga elétrica, os métodos baseiam-se em correlações com parâmetros climáticos ou em análises dos dados anteriores do próprio consumo como elementos de uma série temporal a serem explorados.

No trabalho de Perry (1981) são citados os trabalhos de De Moyer, Gilman e Goodman, e os de Shimron e Shamir, ambos de 1973 e portanto, bem mais recentes que os trabalhos na área elétrica. Segundo Perry (1981), as previsões obtidas com os métodos propostos, fazem com que não sejam apropriados para uti-

lização em controle em tempo real.

Willians e Coulbeck (1987) descrevem sucintamente um modelo utilizado na cidade de Wolverhampton, (Inglaterra), em que os consumos são ajustados por uma série de Fourier com seis harmônicos, considerando-se alguns perfis de consumo típicos para determinados dias da semana.

A empresa Lyonnaise des Eaux utiliza um modelo para previsão em tempo real que considera as correlações dos consumos com a temperatura, precipitação e consumo do dia anterior, o número de dias consecutivos sem chuva, a posição do dia na semana e no ano (e se é feriado) e as previsões meteorológicas de precipitação, temperatura, umidade relativa e visibilidade do próximo dia.

Perry (1981) desenvolve dois modelos alternativos de previsão para serem utilizados em associação a um modelo otimizador da operação de elevatórias da empresa East Worcestershire Waterworks (Inglaterra).

Os consumos são tratados, no primeiro, como uma série temporal composta por uma componente periódica e uma componente residual.

Considerando a componente periódica com um período de 24 horas, pode ser modelada como uma série de Fourier, onde no instante k , seu valor é dado por:

$$y_p(k) = a_0 + \sum_{i=1}^{np} (a_i \cdot \sin i\omega_0 k + b_i \cdot \cos i\omega_0 k) \quad \text{Eq. 7.10}$$

onde:

np , a_i e b_i são números a determinar

ω_0 = frequência natural

A componente residual pode ser escrita como um modelo ARMA (auto-regressive-moving-average), na forma:

$$y_r(k) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot y_r(k-i) + \sum_{j=0}^m b_j \cdot u(k-j) + \sum_{l=1}^p d_l \cdot w(k-l) \quad \text{Eq. 7.11}$$

onde:

u é um parâmetro meteorológico

w é um ruído branco

$n, m, p, a_i, b_i, e d_l$ são constantes a determinar.

A segunda alternativa consiste em considerar a demanda total como uma série temporal não estacionária e expandi-la da forma como fizeram Farmer e Potton (1968) com a demanda de carga elétrica, utilizando análise espectral.

Segundo Perry, a segunda alternativa oferece melhor precisão para previsões até 4 horas, em relação à primeira. Entretanto, como a primeira é de mais fácil execução, sugere que se-

ja esta a utilizada em tempo real, e é a que foi implementada com sucesso no sistema de Worcestershire.

No trabalho desenvolvido pela SABESP e Figueiredo Ferraz (1986) foi definida uma curva de consumo médio para cada setor de abastecimento, denominada curva neutra. Para se obter a curva de consumo de um dia específico da semana, multiplicam-se os consumos horários por fatores de correção previamente obtidos, em função de dados históricos. A seguir, nova correção é efetuada para considerar o efeito da temperatura, através de um fator de correção, função da faixa de temperatura e do tipo de valor a ser utilizado, ou seja, a máxima, a média ou a mínima do dia, conforme o consumo da hora seja mais afetado por uma dessas três temperaturas.

O método é bastante criticável, pois a divisão das faixas de temperatura é efetuada sem um critério objetivo, além de que a relação entre consumo de uma dada hora com a temperatura média ou extrema do dia varia de setor para setor.

Em todos os modelos de curto prazo pesquisados, nota-se a preocupação em destacar a qualidade do modelo em função da previsão dos valores previstos quando comparados com os reais. Esta forma é bastante simples de calcular e indica resultados na forma de desvios ou de coeficientes de correlação que são facilmente entendidos pelos órgãos de operação.

Uma segunda forma não convencional é proposta por Yevjevich, através do benefício operacional da previsão. A medida

real do benefício da previsão é a diferença dos benefícios obtidos com e sem previsão.

$$\text{Var}(B) = B_F - B \quad \text{ou} \quad B_r = \text{Var}(B)/B \quad \text{Eq. 7.12}$$

onde: $\text{Var}(B)$ é o acréscimo do benefício com previsão

B_F é o benefício com previsão

B é o benefício sem previsão

B_r é o benefício relativo

O benefício máximo operacional ($B_{\max}$) poderia ser calculado, admitindo-se que os consumos fossem totalmente conhecidos. Isto pode ser visualizado, simulando-se a operação em um período com registros históricos.

O benefício mínimo sem previsão ($B_{\min}$) pode ser obtido, gerando-se uma série sintética de consumos e substituindo os valores históricos pelos valores gerados.

O benefício relativo poderia ser então calculado na forma:

$$B_r = (B_F - B_{\min}) / (B_{\max} - B_{\min}) \quad \text{Eq. 7.13}$$

8 - COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Com a finalidade de se aplicar os modelos desenvolvidos, escolheu-se uma parte do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, denominada de Alça Leste do SAM.

A Alça Leste é atendida pelo Sistema de Produção Cantareira, a partir da estação de tratamento de água do Guaraú. A escolha sobre essa alça foi baseada no fato de operar como um subsistema, que pode ser considerado como isolado dos demais. O único ponto de interferência com as demais alças é a saída da ETA Guaraú, que sofre variações no nível d'água, em função da sua produção e dos consumos dessas alças.

De forma geral, todos os setores de abastecimento (áreas atendidas por um determinado reservatório) encontram-se com deficiências de abastecimento, ocasionando uma demanda reprimida nas horas de pico de consumo, gerando consumos maiores nos períodos noturnos, deformando as curvas de consumo, em relação ao padrão esperado. A Alça Leste é um subsistema que ainda está sendo atendido de forma razoável, de forma que os perfis de consumo não sofrem grandes deformações.

Para se avaliar o nível de atendimento dos setores de abastecimento, são contabilizadas as horas em que os reservatórios de distribuição (e torres) permanecem com o nível d'água

abaixo do nível mínimo operacional (denominado limite baixo). Define-se um índice de regularidade do abastecimento (IRA) à relação porcentual entre o número de horas com atendimento normal e o número total de horas de um período, que pode ser diário ou mensal.

Quatro são os motivos que geram deficiência no abastecimento: insuficiência de adução que gera baixo nível nos reservatórios (definido por BN, o número total de horas com insuficiência); manutenção preventiva do sistema, como limpeza dos reservatórios, manutenção elétrica, civil ou mecânica (MP); manutenções corretivas ou não programadas, como quebra de equipamento de estação elevatória, interrupção de fornecimento de energia e rompimento de adutoras (MN); e falhas operacionais, causadas por retardamento de medidas de acionamento de válvulas do controle ou de elevatória (FO). Entretanto, dos quatro motivos expostos, o primeiro é o responsável principal pelas deficiências.

O período de dados coletados compreende os meses de Janeiro de 1988 a Abril de 1989, referentes aos consumos horários de 10 setores, além das temperaturas horárias medidas no reservatório do Araçá.

A tabela 8.1 apresenta os índices de regularidade mensal do período para os setores estudados.

Os dados de consumo são calculados a partir dos valores medidos de vazão de entrada nos reservatórios e dos níveis d'água

inicial e final de um determinado período. Os valores médios horários são gravados em disco e em fita magnéticos durante um dia. Ao final do dia, é impresso um relatório (atual relatório 1, página 3 do SCOA - SABESP) contendo os valores horários de nível d'água, vazão de entrada, pressão a montante das válvulas de controle, temperatura, pressão junto à torre, cloro residual e consumo. Os dados do disco são atualizados, com os valores do dia seguinte. O arquivo em fita permanece para consulta posterior.

Atualmente, o computador do centro de controle operacional do SCOA é um COBRA 700, que está sendo substituído por um COBRA 1200. O computador atual apresenta defeitos frequentes (como a sua unidade de fita, que não está gravando corretamente os valores do disco). Face a isto, foi necessário digitar, a partir dos relatórios diários, os consumos horários e as temperaturas horárias do período estudado, num total de 128.304 valores.

A confiabilidade nos dados não é a desejável, por uma série de fatores a seguir descritos. A variável de consumo é calculada a partir dos níveis e vazões medidos nos reservatórios. Quando ocorrem erros de leituras dessas variáveis ou quando os instrumentos (borbulhador para nível e venturi para vazão) não são perfeitamente calibrados há por decorrência um cálculo errado de vazão.

Como os dados são recebidos no computador do centro de controle, através de uma linha telefônica, que o liga aos reservatórios, sempre que há interrupção da comunicação, o último va-

lor transmitido fica sendo considerado como válido até o restabelecimento da linha. O mesmo problema ocorre quando há queda de energia no reservatório, o que impede os instrumentos de medição de transmitirem os valores reais.

Além disso, há problemas com o disco magnético do computador, que algumas vezes não atualiza os valores horários, mantendo os valores da mesma hora do dia anterior.

Embora não se possa confiar plenamente nos dados, esses serão úteis para a verificação da metodologia de previsão proposta. Quando o novo computador estiver operando, espera-se que a qualidade dos dados venha a melhorar sensivelmente, mesmo porque no novo " software ", os dados considerados inválidos serão marcados por um caracter de controle especial.

Para melhorar a qualidade dos dados e expurgar os valores considerados inválidos, procedeu-se a uma análise de consistência, para gerar os arquivos de trabalho.

Os dados foram digitados em arquivos da linguagem DBASE. Foi efetuado um programa de digitação, que permite a edição dos valores ao final de cada dia. Em anexo, encontra-se uma listagem do programa DIGITA. A figura 8.1 é a tela que contém o menu inicial, para escolha da estação a ser digitada. A figura 8.2 mostra a tela de edição dos valores de um dia, onde são apresentados o nome do reservatório e a data correspondente aos dados. Ao final da entrada dos 24 valores horários, pode-se corrigir algum valor, prosseguir para o dia seguinte ou finalizar

Tabela 8.1 - Índices de Regularidade do Abastecimento (IRMA)
Alca Leste - Período Jan/88 a Abr/89 (Fonte : SCOA - SAMESP)

MES	JACANA	ENI CHAVES	UIA MEDEIROS	UIA MARIA	PENHA	CANGAIBA	POBOLIM POPULAR	PARQUEIRO MANTANHO	SAO MIGUEL	GOROUA
JAN/88	96.9	100.0	91.8	94.0	99.6	94.7	97.8	99.7	97.5	99.2
FEB/88	91.7	100.0	98.6	99.4	99.5	99.4	99.7	98.2	99.4	100.0
MAR/88	96.7	100.0	94.0	97.7	100.0	95.7	99.5	98.2	99.9	100.0
ABR/88	98.2	100.0	96.5	95.0	100.0	98.4	100.0	97.5	98.7	99.8
MAI/88	97.6	100.0	99.4	99.9	100.0	98.4	99.8	97.7	99.7	100.0
JUN/88	96.7	99.5	98.7	97.2	100.0	97.1	100.0	98.4	98.5	95.7
JUL/88	97.4	100.0	99.9	99.3	100.0	96.9	99.4	98.9	99.6	99.5
AGO/88	93.1	100.0	98.3	96.6	100.0	96.8	99.6	98.7	95.0	100.0
SET/88	98.4	100.0	100.0	97.7	100.0	95.2	99.4	96.9	98.1	100.0
OUT/88	99.2	100.0	99.4	96.9	100.0	95.1	99.1	98.3	95.8	100.0
NOV/88	98.9	100.0	98.2	98.3	100.0	97.7	99.5	99.5	98.2	100.0
DEZ/88	99.2	100.0	97.4	100.0	100.0	94.4	99.7	99.8	96.7	100.0
JAN/89	99.6	100.0	100.0	98.4	100.0	95.9	99.2	99.5	96.2	100.0
FEB/89	94.2	100.0	99.4	96.4	100.0	83.4	98.8	98.8	96.2	100.0
MAR/89	93.0	98.7	98.6	99.3	99.1	82.7	97.9	97.6	91.9	100.0
ABR/89	94.1	100.0	99.3	98.1	94.1	84.5	99.5	99.7	93.3	98.1
MEDIA	96.1	99.9	98.1	97.8	99.5	94.1	99.3	98.0	97.2	99.5

o serviço, quando então o programa providencia uma cópia de reserva ("back-up") em disquete flexível.

O processo de análise dos dados foi dividido em quatro etapas. Na primeira, fez-se uma inspeção visual dos dados digitados, corrigindo-se os erros mais aparentes.

A seguir, foi desenvolvido um programa (CONSISTE) em DBASE, cujo objetivo era o de sinalizar os possíveis valores anômalos da série. Dois foram os critérios para indicação de valor suspeito. No primeiro, admite-se que a repetição do mesmo valor de consumo por três horas consecutivas indica um erro de transmissão de telemetria. No segundo, admite-se que os valores de consumo de uma dada hora possa ter um desvio máximo de 70% em relação ao valor médio da hora, obtido com todos os valores positivos (valores ausentes foram representados por -1). A figura 8.3 é um exemplo da listagem de saída, onde os valores suspeitos são indicados por um asterisco. Ao final da listagem são indicados os valores médios dos consumos de cada hora.

Na terceira etapa da análise, comparou-se os dados assinalados com os valores dos relatórios do SCOA, corrigindo-se quando necessário ou interpolando-se linearmente entre valores vizinhos, quando o dado obtido pelo computador era considerado errôneo.

Finalmente, o arquivo consistido passou por uma depuração final, através do programa DEPURA, escrito em DBASE. O programa calcula, para cada hora, a média e o desvio-padrão dos consumos

(7) JACANA	(19) JARDIM POPULAR
(8) EDU CHAVES	(21) ERMELINO MATARAZZO
(10) VILA MEDEIROS	(23) SAO MIGUEL
(11) VILA MARIA	(30) ARACA
(14) PENHA	(98) GOPOUVA
(17) CANGAIBA	

Entre com a estacao desejada :

Figura 8.1 - Menu inicial do programa DIGITA

Estacao : 7 JACANA		Dia: 01/01/90	
HORA	CONSUMO	HORA	CONSUMO
01	0	13	0
02	0	14	0
03	0	15	0
04	0	16	0
05	0	17	0
06	0	18	0
07	0	19	0
08	0	20	0
09	0	21	0
10	0	22	0
11	0	23	0
12	0	00	0

[F]inalizar [C]orrigir [P]rosseguir

Figura 8.2 - Tela de edição do programa DIGITA

SETOR :EDU.DIF

REG	DIA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023	024
46	15/02/88	594	605	531	512	531	562	518	538	592	646	781	802	822	781	722	685	670	631	631	629	614	601	605	598
47	16/02/88	588	562	559	559	542	559	575	577	711	845	991	991	948	872	835	789	783	744	727	713	672	635	648	631
48	17/02/88	592	592	533	529	512	527	542	588	674	850	926	913	872	815	776	772	774	740	740	729	681	648	638	618
49	18/02/88	553	572	538	529	564	536	575	629	742	848	907	885	809	750	774	755	755	740	740	683	713	670	648	603
50	19/02/88	562	542	529	559	559	594	609	661	755	811	889	868	831	792	750	753	761	761	744	707	724	674	644	674
51	20/02/88	611	592	572	579	566	598	473	683	781	833	872	850	831	813	750	753	761	761	750	740	742	685	653	655
52	21/02/88	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*
53	22/02/88	609	588	553	575	588	581	618	720	781	861	881	883	842	824	785	727	651	705	785	709	692	655	638	633
54	23/02/88	598	564	557	540	540	559	648	700	735	861	913	843	774	794	740	763	724	789	820	755	690	638	653	631
55	24/02/88	592	572	551	559	562	581	659	698	792	865	891	863	809	796	759	748	588	763	766	766	755	703	694	644
56	25/02/88	618	598	581	579	581	596	716	770	829	889	926	904	857	815	781	763	785	766	787	744	753	698	703	661
57	26/02/88	622	581	572	581	572	620	651	740	829	904	922	881	842	824	763	783	766	744	719	694	679	672	677	618
58	27/02/88	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*
59	28/02/88	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*
60	29/02/88	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*
61	01/03/88	592	548	531	559	540	568	648	718	835	872	933	913	855	757	740	700	705	705	690	709	670	629	614	601
62	02/03/88	581	562	527	551	566	583	729	759	835	868	891	852	811	794	755	774	783	809	789	750	729	711	657	618
63	03/03/88	583	559	583	581	577	618	642	740	794	850	872	831	785	750	731	713	694	694	716	698	705	648	629	590
64	04/03/88	529	512	564	568	568	607	679	744	796	894	891	852	835	794	742	742	681	700	703	705	644	646	644	653
65	05/03/88	592	588	546	579	572	581	683	744	815	876	896	874	805	796	755	772	785	766	770	711	694	635	635	611
66	06/03/88	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*	-1*

Figura 8.3 - Saída do Programa de Consistência dos Dados (Consiste)

do período de observação. Aceitou-se como dados válidos, os valores compreendidos numa faixa de dois desvios-padrão acima e abaixo do valor médio. Caso um determinado valor fosse considerado inválido, pesquisava-se os dois valores das horas anterior e posterior. Se esses fossem válidos, o valor da hora era obtido por interpolação linear, caso contrário era substituído por -1.

As tabelas 8.2 a 8.12 indicam, para cada reservatório os dias com ausência total ou parcial de dados válidos, indicados por "A". A tabela 8.13 indica os dias com ausência total ou parcial de dados em ao menos um reservatório da Alça Leste.

De forma a ampliar a duração e o número de períodos comuns com dados válidos, propõe-se substituir os dias com ausência de dados, com os valores do respectivo dia da semana, referente à semana anterior. Embora essa substituição não garanta a realidade dos dados, não interfere em nada na sua validade como série de teste do modelo previsional. Por outro lado, essa substituição permite uma ampliação sensível dos períodos válidos. Só para exemplificar, se se observar os dados do reservatório Edu Chaves, os cinco maiores períodos contínuos com dados válidos possuem na ordem 59,45,43,31 e 30 dias. Com a substituição apenas dos períodos com um dia de dados não válidos precedidos e seguidos por dias com dados válidos, as cinco sequências mais longas passam a ter 125,107,67,33 e 28 dias.

Considerando as mesmas situações para a Alça Leste, as cinco maiores sequências contínuas possuem 25,18,16,12 e 12

dias, inicialmente, e após a substituição de dias isolados com ausência de dados passam a ter 50,42,40,30 e 29 dias.

Assim sendo, sempre que for possível, os dados de um dia incompleto serão substituídos pelos valores do mesmo dia da semana, da semana anterior.

Tabela 8.2 - Relacao dos dias com falhas de observacao - JACANA -

[illegible]

Tabela 8. 3 - Relacao dos dias com falhas de observacao - EDU CHAVES -

[illegible]

[illegible]

Tabela 8.5 - Relacao dos dias com falhas de observacao - VILA MARIA -

[illegible]

Tabela 8.6 - Relacao dos dias com falhas de observacao - PDHA -

[illegible]

Tabela 8.7 - Relacao dos dias com falhas de observacao - CANGAIBA -

[illegible]

Tabela 8.8 - Relacao dos dias com falhas de observacao - JARDIM POPULAR -

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1/88																															
2/88																															
3/88																															
4/88																															
5/88																															
6/88																															
7/88																															
8/88																															
9/88																															
10/88																															
11/88																															
12/88																															
1/89																															
2/89																															
3/89																															
4/89																															

Tabela 8.9 - Relacao dos dias com falhas de observacao KAMELINO MATARAZZO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1/88																															
2/88																															
3/88																															
4/88																															
5/88																															
6/88																															
7/88																															
8/88																															
9/88																															
10/88																															
11/88																															
12/88																															
1/89																															
2/89																															
3/89																															
4/89																															

[illegible]

Tabela 8.13 - Relacao dos dias com falhas de observacao - ALCA LISTE -

[illegible]

9 - O SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO

A região metropolitana de São Paulo é abastecida através de um sistema adutor integrado, que atende a uma população da ordem de 16 milhões de habitantes. A produção total de água é de ordem de 50,0 m³/s.

A produção é dividida por sete sistemas produtores, que atendem o sistema integrado e alguns sistemas independentes que abastecem alguns municípios da região metropolitana.

O sistema Cantareira utiliza os recursos das bacias dos Rios Jaguari, Cachoeira, Atibaia e Juqueri. A estação de tratamento do Guaraú, situada ao Norte de São Paulo, produz uma vazão média de 29.5 m³/s.

Na parte Leste de São Paulo, está situado o sistema Rio Claro, responsável pela produção de 3,7 m³/s. Há também um pequeno sistema, denominado Ribeirão da Estiva, com produção de 0,1 m³/s.

Na parte Sul de São Paulo, há dois sistemas produtores. O Sistema Rio Grande, com capacidade de 3,8 m³/s, que trata as águas captadas dos braços da represa Billings e o sistema Gua-

rapiranga, com produção de 11,5 m³/s. O sistema Guarapiranga possui duas estações de tratamento, a Theodoro Ramos (1,2 m³/s e Alto da Boa Vista (10,3 m³/s).

Na parte Oeste, há dois sistemas produtores, captando água do Rio Cotia. A primeira estação de tratamento, Alto Cotia, situada na parte da cabeceira da bacia, produz 0,9 m³/s e a segunda, Baixo Cotia, situada mais a jusante, produz 0,7 m³/s.

Os sistemas isolados atendem os municípios de Guararema, Salesópolis, Juquitiba, Mairiporã, Cotia e Santana do Parnaíba, representando uma produção de 85 l/s.

O sistema adutor metropolitano de São Paulo é composto por 120 reservatórios, 55 torres, 95 estações elevatórias em adutoras ("boosters"), ou para torres e 1000 Km de adutoras. A reservação total do sistema é do ordem de 1.500.000 m³.

Do total de água produzida, cerca de 29% da vazão é contabilizada como perda do sistema, causada por vazamentos visíveis e não visíveis e defeitos de medição.

A figura 9.1 mostra um diagrama unifilar do Sistema Adu-
tor, identificando por cores os vários setores atendidos pelos diferentes sistemas produtores.

O subsistema utilizado no estudo, denominado por Alça Leste é composto por 7 reservatórios e três derivações diretas da adutora (o setor Penha passou a ser atendido por derivação di-

FIGURA 9.2 - DIAGRAMA UNIFILAR DA ALÇA LESTE DO SAM.

MOGI DAS CRUZES

LEGENDA

ESTAÇÕES SCOA (Nº DA ESTAÇÃO)

SENTIDO DO FLUXO DA ÁGUA

REGISTRO FECHADO

companhia de saneamento básico do estado de são paulo

— S A M —

SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO

ÁREA PROJ.

SUB-ÁREA PROJ.

sabesp

N.º

DOC - 338

REV.

FL.

N.º CONTRATADA

ESCALA
S/ ESCALA

reta após o rompimento do reservatório em Junho/88.

O diagrama da figura 9.2 apresenta as características da adutora, (comprimento, coeficiente de rugosidade de Hazen - Willians), as cotas dos medidores de pressão a montante das válvulas de controle e os níveis operacionais mínimos e máximos. Nos casos de derivações diretas, os limites operacionais referem-se às cargas piezométricas à jusante das válvulas de controle.

A tabela 9.1 resume algumas características dos reservatórios

Tabela 9.1 - Características dos Reservatórios da Alça Leste do SAM - (Fontes: SCOA).

Reservatório	Extra- vasor (m)	Laje Fundo (m)	Volume Total (m3)	Limite Máximo (m)	Limite Mínimo (m)	Volume Útil (m3)
Jaçanã	822.72	816.65	10.000	822.37	817.45	8.105
Edu Chaves	790.04	784.00	30.000	789.72	784.60	25.430
V.Medeiros	813.59	808.74	7.200	813.26	809.74	5.225
V.Maria	774.04	770.24	12.000	773.76	771.54	7.010
Penha*	785.48	781.43	16.000	785.17	782.83	9.245
Cangaíba	802.65	796.65	10.000	802.29	797.15	8.567
Jd.Popular	798.57	793.50	10.000	798.23	794.00	8.343
Er.Matarazzo	793.55	787.50	30.000	792.87	788.10	23.653
São Miguel	792.40	783.40	10.000	791.99	787.56	4.430
Gopoúva	792.07	783.47	54.000	791.42	783.59	49.165

* Fora de Operação após Junho/88

10 - O SISTEMA DE CONTROLE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para controlar o sistema de adução da região metropolitana de São Paulo, existe uma operação centralizada que recebe informações e emite comandos para os diversos pontos de controle do sistema.

São efetuadas, basicamente, as seguintes medidas: pressão (a montante de válvulas de controle, na base de torres e em adutoras), vazão, nível de reservatório, cloro residual, temperatura, posição de válvulas de controle e estado de operação de bombas.

No ponto de controle, que pode ser um reservatório, uma elevatória ou um ponto das adutoras, existem os sensores, os equipamentos auxiliares, a instrumentação e a estação remota de telemetria (ERT).

Os equipamentos auxiliares compreendem o compressor (para acionamento dos pistões das válvulas e para gerar o ar de borbulhamento dos medidores de nível), o painel de controle de bombas, que permite seu acionamento ou parada local, o painel de controle de válvulas que indica a posição e permite alteração local e o carregador e baterias para o armário de instrumentação e ERT.

A instrumentação é composta pelos transmissores (secundários) que alimentam o armário de instrumentação, onde são gerados os sinais elétricos (4-20 mA) proporcionais às grandezas analógicas medidas, que são transferidas para a ERT. Além disso, existem os indicadores dos valores instantâneos das medidas e totalizadores de vazão.

A Estação Remota de Telemetria tem por função básica gerar um código digital para ser transmitido ao Centro de Controle Operacional (CCO), através de linhas telefônicas privativas (LP) e de receber os sinais do CCO para transmitir os comandos de acionamento de válvulas ou bombas.

No Centro de Controle Operacional, encontram-se o armário de proteção de linhas, as estações centrais de telemetria, os equipamentos de informática e auxiliares.

Os sinais transmitidos pelas LP's são recebidos em um armário de proteção de linhas que os transfere para as estações centrais de telemetria (ECT). Cada ECT controla quatro ERT. A ECT recebe o sinal digital e o transfere para o computador. Quando a operação é de comando, o processo é inverso. No painel onde estão as ECT, pode-se operar diretamente cada válvula ou bomba do sistema. Entretanto, isto não é efetuado, pois a comunicação homem-máquina é pouco amigável, sendo utilizada apenas nos casos em que há pane dos computadores.

Os equipamentos de informática consistem em dois computado-

res que são conectados por um seletor automático. Quando ocorre algum defeito no computador principal, o seletor desvia todo o processamento para o computador reserva. A interface homem-máquina é efetuada através de uma mesa de operação, composta por quatro monitores coloridos de alta resolução e quatro teclados. Os equipamentos periféricos consistem em impressoras, monitores e teclados para atualização do software e um painel mímico que representa o sistema adutor, iluminando os pontos de controle com alarmes em curso.

Os equipamentos auxiliares são um gerador de emergência e um sistema de alimentação contínua de energia elétrica, que permite a operação do Centro de Controle, mesmo nas ocasiões de interrupção de energia.

O software atualmente utilizado foi escrito em linguagem CORAL e implantado nos computadores COBRA-700. A cada 30s o sistema de telemetria efetua uma "varredura" nas ERT e atualiza o banco de dados com as novas informações.

Os operadores acessam as informações de cada ponto de controle, através de um relatório (ou "tela") que contém os valores instantâneos e uma estatística diária de máximos e mínimos registrados (nível no reservatório, vazão aduzida etc).

Em função do nível d'água nos reservatórios e nos consumos observados, o operador pode comandar a movimentação das válvulas de controle e o acionamento das elevatórias.

Como os pontos de controle estão inseridos em subsistemas integrados, o operador analisa os estados dos diversos pontos de controle, antes de tomar uma decisão.

Basicamente, o critério operacional principal consiste em encher os reservatórios no período noturno, para que, iniciando com o volume máximo armazenado no início da manhã, possam regularizar os consumos durante o período diurno. As restrições de operação estão associadas aos limites máximo e mínimo operacionais (denominados por limite alto e limite baixo) de níveis d'água ou pressões.

Outras regras operacionais são função das características dos reservatórios. Aqueles que possuem capacidade de regularização superior à necessária são mantidos preferencialmente, durante o dia, com a entrada fechada, de modo a permitir um aumento da capacidade de adução a outros reservatórios. Reservatórios com pequeno volume útil são operados de forma que as vazões de entrada acompanhem de perto o perfil das vazões de consumo.

A operação dos reservatórios elevados ("torres") é feita na maioria dos casos de forma automática, através de chaves de nível, que acionam ou desligam as bombas de forma sequencial em função dos níveis da torre e do reservatório.

Com as informações do banco de dados são gerados diversos relatórios gerenciais, que auxiliam na avaliação da eficiência das operações e no diagnóstico de problemas de adução e reser-

vação. Assim, são gerados relatórios com os consumos de cada reservatório, que permitem o estudo da evolução do crescimento da demanda, relatórios com número de horas de funcionamento das elevatórias, que indicam o grau de compatibilidade da capacidade das elevatórias em relação aos consumos das zonas altas, relatórios com horas de interrupção das linhas telefônicas etc.

Atualmente, é elaborado também um relatório ("off-line") que indica o número de horas de deficiência do abastecimento, destacando os motivos de insuficiência de capacidade de adução, manutenções programadas e corretivas e falhas operacionais. Essas informações geram o índice de regularidade do abastecimento (IRA) de cada reservatório.

No presente momento está havendo uma substituição do "hardware" do centro de controle, que utilizará dois computadores COBRA- 1200. O "software" novo está escrito em linguagem C e introduz algumas inovações em relação ao atual. O atual relatório que é utilizado para monitorar um reservatório isolado e que é utilizado pelos operadores para concluir a operação será preterido por outro que apresentará o "status" dos vários reservatórios de um subsistema em uma tela, permitindo que a análise seja facilitada. O novo "software" já estará preparado para incluir uma operação automatizada. O critério operacional básico passará a ser uma curva-guia de operação com uma banda de variação admissível. Será possível incluir um modelo previsor de consumos, que terá seu desempenho constantemente avaliado, em função dos desvios entre os valores calculados e observados, através de relatórios específicos.

11. MODELO DE PREVISÃO DE CON- SUMOS EM TEMPO REAL

11.1 Considerações Gerais

A idéia básica na construção de um modelo previsor de consumos em tempo real foi a de apresentar uma solução simples e eficaz. Algumas tentativas de se desenvolver tal modelo para o sistema adutor metropolitano baseavam-se no princípio de se obter um desvio mínimo entre a vazão de consumo estimada e a observada. No trabalho aqui desenvolvido, procura-se relaxar essa restrição e procurar definir o modelo previsor como ferramenta auxiliar na definição de uma regra de operação. Hoje, é muito mais interessante que se consiga definir uma regra (que atualmente é subjetiva do operador) do que se alcançar a previsão "perfeita". Vale ressaltar também, que sendo o sistema integrado e com grande número de pontos de controle, é factível a correção da operação de um ou mais pontos de controle, quando houver um desvio excessivo no valor previsto em relação ao real. Em resumo, é mais importante avaliar os desvios de volumes armazenados ao longo do período de observação em relação aos valores previstos do que em verificar as correlações entre valores calculados e observados de consumo de uma dada hora.

As modificações das regras de operação em tempo real podem ser efetuadas a intervalos horários ou até menores. É necessário, portanto, que o tempo de processamento do modelo previsor

seja compatível com esses intervalos, o que exige modelos simples e rápidos.

Como já foi descrito por outros autores, o uso de variáveis climáticas para auxiliar a previsão inclui um trabalho adicional que é o de desenvolver modelos de previsão das variáveis climáticas. A experiência no trabalho desenvolvido pela SABESP e Figueiredo Ferraz, demonstrou que os consumos podem variar em função das temperaturas médias ou extremas do dia e mesmo com temperaturas de horas anteriores. Além disso, outro fator preponderante é a persistência das temperaturas. Assim, um dia considerado "quente" poderá apresentar consumos diferenciados, em função das durações das temperaturas acima de um certo limite. A consideração das defasagens entre temperatura e consumo, das durações das temperaturas e dos valores limites introduz uma análise muito complexa, que exige a existência de uma série de dados longa e confiável. Por hora, não se considerará o uso das variáveis climáticas, em razão de não se dispor dessas séries confiáveis e também pelo fato de não se dispor de um modelo preditor simples operante. No futuro, tais considerações poderão ser introduzidas para o refinamento do modelo básico.

Uma outra inovação em relação aos modelos de previsão existentes é a consideração dos dados de consumo como uma sequência dinâmica de valores que modifica suas características constantemente no tempo. No trabalho de Perry (1981), a série de consumos é decomposta em uma série de harmônicos e por uma série de vazões residuais, que são ajustadas por um modelo do tipo ARMA. Entretanto, tanto os coeficientes dos harmônicos, como os

coeficientes do modelo ARMA são obtidos a partir de uma série histórica e utilizados para a previsão. A alteração dos coeficientes não é efetuada em tempo real, mas analisada periodicamente fora da operação. No modelo desenvolvido pela SABESP e Figueiredo Ferraz (1986), definiu-se uma curva de consumos média para cada dia da semana ("curva-neutra"), a partir de onde se introduziam correções para efetuar a previsão. No caso da região metropolitana de São Paulo, as alterações de uso do solo são muito rápidas, obrigando a se efetuar reavaliações dos parâmetros com grande frequência. Embora em diversos modelos se utilize a característica de que a forma do hidrograma de consumo seja diferente para cada dia da semana, observa-se uma dificuldade prática em se utilizar essa propriedade para dias especiais, como feriados, que podem ter comportamentos diferentes, dependendo da sua posição na semana, nas estações do ano e na duração do feriado, entre outras coisas. No estudo aqui desenvolvido, procura-se analisar um dia de consumo como uma sequência móvel de 24 valores horários (hora 1 a 24, hora 2 a 1, hora 3 a hora 2, etc), excluindo-se assim o chamado efeito "dia da semana".

Um outro aspecto relevante no desenvolvimento de um modelo previsional foi o de definir o horizonte de previsão. No caso da operação de um sistema de reservatórios de distribuição, pode-se assumir que o ciclo seja diário, sabendo-se que os volumes de regularização existentes, em geral, são suficientes para um dia. Esse horizonte máximo de 24 horas deve ser utilizado apenas para definir uma política de operação inicial, que deve ser modificada no transcorrer do dia, face às inúmeras altera-

ções aleatórias do consumo. A procura em se conseguir um horizonte de previsão maior é justificada apenas no objetivo de se minimizar o número de manobras das válvulas de controle e das elevatórias do sistema. O horizonte mínimo de previsão com boa precisão deve estar associado ao tempo necessário para que se efetue novo processamento do modelo de otimização de manobras, que se implante as novas manobras e que o sistema responda às alterações.

11.2 - Desenvolvimento do Mode-

lo

A primeira proposição de um modelo de previsão de consumos consiste em utilizar o algoritmo da repetição dos valores, isto é, admitir-se que o consumo de uma dada hora seja igual ao da hora anterior.

Embora, nesse caso, se obtenha um resultado em que a forma dos hidrogramas de consumo seja a mesma, introduz-se uma defasagem entre eles. Essa defasagem gerará, nos períodos em que a curva de consumo é crescente, um erro no volume acumulado dos consumos, pois o consumo observado de cada hora será superior ao previsto. Analogamente, nos períodos de consumo decrescentes, os volumes acumulados dos consumos observados será menor que os previstos. Essas diferenças de volumes resultarão em um deplecionamento ou em uma elevação do nível d' água do reservatório maior que o esperado. A ordem de grandeza dessas diferenças de consumos acumulados pode ser maior que o volume do reservatório, o que poderá ocasionar o extravasamento ou o esvaziamento do reservatório.

Com o objetivo de se procurar ajustar a tendência de crescimento ou redução da curva de consumo, pode-se elaborar um outro modelo, em que se admita uma linearidade da variação do consumo com o tempo. Desta forma, para se fazer a previsão de

um período futuro, utiliza-se a informação do instante atual e de um instante anterior. Embora esse modelo proporcione melhor resultado que o anterior, nos trechos de crescimento ou redução de consumo, ainda não é adequado, pois as curvas de consumo são claramente não lineares, o que implica que o gradiente de um intervalo é diferente do intervalo anterior, o que vai em oposição à idéia básica do modelo.

Para se incorporar essa não linearidade da curva de consumo, um terceiro modelo pode ser proposto, em que se utilize as informações do instante atual e de dois instantes anteriores, para se efetuar a previsão de um instante futuro. Assim, o consumo de um período futuro seria calculado com base no consumo atual, no gradiente da curva de consumo do instante atual, corrigido pela taxa de variação desse gradiente em relação ao do intervalo anterior (segunda derivada da função de consumo).

A partir desse último modelo pode-se, então generalizar um modelo que utilize as informações do intervalo presente e de vários intervalos passados. Isso é uma aproximação da curva de consumos por uma série de Taylor.

$$D(t) = D(a) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{D^{(n)}(a)}{n!} (t-a)^n \quad \text{Eq. 11.1}$$

onde: $D(a)$ é o consumo no instante atual a

$D(t)$ é o consumo no instante t

$D_n(a)$ é a derivada de ordem n calculada em a

Do ponto de vista prático de aplicação, é necessário limitar a série a um grau finito n , de tal forma que o resíduo da série seja restrito a um valor tolerável.

Para pesquisar o grau a ser utilizado, utilizou-se o conceito de que a série de Taylor admite que a série seja uma função polinomial. Utilizou-se os dados de consumo disponíveis e fez-se uma análise de sensibilidade do grau de ajustamento das série observadas com polinômios de graus diversos.

Na expressão anterior, admite-se, que o intervalo $(t-a)$ seja unitário (para os dados disponíveis será adotado uma hora). Quando se desenvolve o modelo para previsão em tempo real, para se estender o horizonte de previsão a vários intervalos futuros, deve-se assumir que os valores previstos anteriormente sejam coincidentes com os valores reais. Essa hipótese não é verdadeira, o que acarretará erros crescentes da previsão, à medida que se aumente o horizonte máximo de previsão. Por outro lado, o processo é dinâmico, podendo-se efetuar correções (que pode ser uma reaplicação do modelo) a cada intervalo de tempo decorrido. Assim, os valores previstos para o primeiro intervalo futuro terá maior importância para definir a regra de operação de um reservatório, ao passo que os valores futuros servem para fornecer um balizamento do comportamento futuro, que vai sendo ajustado a cada intervalo de tempo decorrido.

No desenvolvimento e aplicação do modelo deparou-se com um

problema adicional nos dados. Os consumos registrados no centro de controle são valores calculados a partir das vazões de entrada ao reservatório (medidas), e da variação de nível do reservatório. Dadas as imprecisões dessas medidas, muitas vezes a curva de consumos apresenta uma oscilação (em forma de dente de serra) que perturba o processo de previsão, pois falseia o valor das funções derivadas. Uma proposta de solução para esse problema consiste em substituir os valores dos consumos pelas médias móveis de alguns intervalos anteriores. A fixação desse número de intervalos também é fruto de uma análise de sensibilidade de resultados obtidos a partir das séries históricas disponíveis e que podem variar para cada caso estudado.

Como as curvas de consumo apresentam trechos alternados em que são crescentes ou decrescentes, o ajuste por uma série de Taylor (ou polinômio) gera uma discrepância maior nos resultados, nos instantes de mudança de concavidade da curva. Para tentar contornar esse problema, sugere-se uma correção para esses intervalos específicos. Sabe-se que as curvas de consumo para um mesmo dia da semana apresentam comportamentos de variação temporal semelhantes. O processo de correção consiste em comparar a curva do dia atual com outras, do mesmo dia da semana, de semanas anteriores. Fixou-se períodos de análise de quatro semanas, arbitrariamente, assumindo-se que nesse período a influência climática possa ser desprezada. Em função do grau do polinômio e do número de horas incluídas para o cálculo das médias móveis de consumo, são utilizados os consumos de um número definido de horas anteriores à atual. Para essas horas são calculadas as relações entre o consumo do dia atual e os consumos

da mesma hora e dia da semana, das quatro semanas anteriores. A média dessas relações é admitida como válida para o intervalo atual da previsão. Calcula-se essa relação para o intervalo que está sendo previsto o consumo. Caso essa relação se afaste do valor médio obtido para as horas anteriores acima de uma certa faixa de tolerância, o valor previsto é substituído pela média dos consumos dessa hora das quatro semanas anteriores multiplicada pelo fator de correção obtido. A definição dessa faixa de tolerância também foi explorada para cada caso estudado.

Para se efetuar a análise de sensibilidade dos resultados da previsão em função do grau do polinômio, do número de horas para média móvel e da faixa de tolerância para correção foi elaborado um programa em linguagem BASIC, que foi sendo modificado ao longo da pesquisa. A finalidade do programa é gerar uma sequência de valores de consumos, a partir da metodologia exposta e compará-los com os valores reais de um período observado.

Para um período de observação definido, analisa-se cada dia separadamente. Para cada hora de um dia são calculados os consumos previstos com antecedência de uma ou várias horas até o horizonte de previsão adotado no menu inicial do programa. Quando a antecedência da previsão for de duas ou mais horas, utilizam-se os valores previstos para as horas anteriores como valores reais, pois essa será a situação na utilização do modelo em tempo real.

Cada valor gerado é corrigido, caso se afaste sensivelmente

do valor médio daquela hora para os últimas quatro semanas, como já foi exposto.

Para cada hora de um dia de previsão, são calculados os desvios entre os consumos previstos e reais acumulados, variando de uma hora até o horizonte máximo de previsão.

A saída do programa consiste em duas tabelas. Na primeira versão do programa, a primeira tabela apresentava para cada hora do dia, os coeficientes de correlação entre os consumos previstos com antecedências variáveis e os consumos reais daquela hora. Assim, por exemplo, para a linha correspondente à hora 10, encontram-se os coeficientes de correlação correspondentes à uma ou mais horas de antecedência. O valor do coeficiente de correlação para duas horas de antecedência era obtido a partir dos valores previstos da hora 10, quando se dispunha de informações até a hora 8. Entretanto, como os consumos de uma determinada hora concentra-se ao redor de um valor com ordem de grandeza determinada, os coeficientes de correlação tendem a ser baixos, dificultando uma análise mais conclusiva dos resultados.

Na versão final, a primeira tabela foi substituída por outra, que fornece para cada hora o valor médio e o desvio-padrão dos desvios entre os consumos acumulados previsto e acumulado real desde a hora 1 até a hora em questão. Como os valores previstos podem ter sido obtidos com uma ou mais horas de antecedência, esses resultados são apresentados em diversas colunas, cada qual correspondente a uma certa antecedência.

No final da primeira tabela é apresentada uma linha resumo contendo, para cada período de antecedência, o coeficiente de correlação entre os consumos previstos e reais (da hora 1 a 24 com a antecedência correspondente).

Os desvios calculados são expressos em porcentagem do volume do reservatório.

A segunda tabela fornece os elementos para a construção de uma curva de permanência dos desvios entre volumes de consumo previstos e reais. Para cada intervalo de antecedência, os desvios são classificados em faixas correspondentes a 0,5% do volume do reservatório. Os valores apresentados na tabela em uma dada faixa ou classe correspondem à porcentagem de valores previstos com uma dada antecedência, que gerou um desvio acumulado entre consumo real e previsto menor, ou igual ao limite superior da classe. Os desvios superiores a 10% do volume do reservatório foram reunidos em uma única classe (que na listagem apareceu como sendo de 10 a 10,5%, que deve ser interpretada como sendo acima de 10%).

São apresentadas também na seguinte tabela, os totais de valores considerados em cada período de antecedência e desse total o número de valores corrigidos em função da média das quatro semanas anteriores.

11.3 - A Estrutura do Programa

de Previsão Baseado em
Série de Taylor

Pretende-se aqui expor sucintamente a estrutura do programa e os equacionamentos principais.

Na primeira parte do programa são inicializadas as variáveis e definidos os parâmetros, como grau do polinômio, horizonte de previsão, etc. Define-se nessa fase, o arquivo de dados a utilizar, podendo-se restringir também a previsão à parte do período total de observação disponível.

No programa desenvolvido, foram substituídas as derivadas das funções consumo pelos valores dos consumos de horas anteriores.

A previsão de um valor, com uma hora de antecedência, é expressa pela série de Taylor:

$$D(i+1) = D(i) + D'(i) + \frac{D''(i)}{2!} + \frac{D'''(i)}{3!} + \dots \quad \text{Eq. 11.2}$$

onde: $D_n(i)$ é a derivada de ordem n da função D no instante i .

Foi assumido que a derivada de ordem 1 no instante i possa ser substituída pela expressão:

$$D1(i) = D(i) - D(i-1) \quad \text{Eq. 11.3}$$

Na verdade, a expressão correta seria:

$$D1(i) = (D(i+Dt) - D(i))/Dt \quad \text{Eq. 11.4}$$

Essa substituição se faz necessária pois na previsão em tempo real, o valor de $D(i+Dt)$, onde Dt é um pequeno intervalo de tempo será desconhecido. Está se assumindo uma pequena extrapolação linear da função de consumo que não deve afetar sensivelmente a utilização do modelo.

Da mesma forma, assume-se para a segunda derivada:

$$D2(i) = D1(i) - D1(i-1) = D(i) - 2 \cdot D(i-1) + D(i-2) \quad \text{Eq. 11.5}$$

Repetindo-se o procedimento para as derivadas de ordem superiores, pode-se apresentar o valor de $D(i+1)$ em uma forma alternativa:

$$D(i+1) = C0 \cdot D(i) + C1 \cdot D(i-1) + C2 \cdot D(i-2) + \dots + C_{\text{grau}} \cdot D(i-\text{grau}) \quad \text{Eq. 11.6}$$

onde:

$C_0, C_1, C_2, \dots, C_{\text{grau}}$ são coeficientes

grau é o valor do grau máximo do polinômio

Os coeficientes C_i podem ser assim determinados:

$$C(\text{grau}) = (1/\text{grau}!) * ((-1)^{\text{grau}}) \quad \text{Eq. 11.7}$$

Os demais valores de C_i para índices variando de $(\text{grau}-1)$ a 0, são obtidos por recorrência:

$$C(1) = (|C(1+1)| * (1+1)! + 1/(\text{grau}-1)!)*(1/1!)*((-1)^1) \quad \text{Eq. 11.8}$$

A seguir, define-se no programa o coeficiente de correção da vazão prevista, utilizando-se os dados das horas anteriores envolvidas na equação de recorrência descrita anteriormente. Para cada uma dessas horas, divide-se o valor do consumo do dia corrente, pelos valores das horas correspondentes das quatro semanas anteriores e se calcula o valor médio, denominado coeficiente alfa. O fator de correção é a média dos coeficientes alfa das horas envolvidas na equação de previsão.

O cálculo da previsão é feito para cada dia, partindo-se da hora 1 como base. São geradas as horas subsequentes. Assim, o consumo da hora 2 prevista será classificada como "consumo da hora 2 com 1 hora de antecedência", o consumo da hora 3 será o "consumo da hora 3 com duas horas de antecedência" e assim, sucessivamente até o horizonte de previsão escolhido. Prossegue-

se a previsão para a hora 2 como base que gerará os consumos da hora 3 com 1 hora de antecedência, da hora 4 com 2 horas de antecedência, e assim por diante.

Para cada dia de previsão, são calculados os desvios acumulados entre os consumos previstos e os observados, sendo classificados em função do número de horas de antecedência com que foram gerados os consumos e da hora correspondente.

Ao final das previsões são calculados a média e o desvio-padrão dos desvios acumulados, para cada hora e para cada intervalo de antecedência.

A seguir, o programa organiza uma curva de permanência dos desvios, para cada intervalo de antecedência, desta vez agrupando todos os valores de horas diferentes que correspondam a um mesmo horizonte de previsão.

11.4 - Um Modelo de Previsão Alternativo Baseado em Série de Fourier

Na pesquisa por um modelo de previsão simples, foi estudada a possibilidade de ajuste de uma série de Fourier à sequência de vazões de consumo.

Como o comportamento da série de consumos é fortemente periódica, é bastante plausível a tentativa de um modelo com característica periódica.

A idéia básica do modelo consiste em ajustar uma equação harmônica a uma série de dados observados e extrapolar essa série para o futuro, como um previsor.

O modelo proposto consiste em adaptar uma série de Fourier, de forma que a função de consumo possa ser expressa por:

$$D(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{np} (a_k \cdot \cos kt + b_k \cdot \sin kt) \quad \text{Eq. 11.9}$$

onde:

$a_1, a_2, \dots, a_m$ e $b_1, b_2, \dots, b_m$ são coeficientes determinados por um algoritmo de ajuste (mínimos quadrados)

a_0 é o valor médio da função no intervalo utilizado

n_p é o número de harmônicos da série

t é a variável tempo

O período de $D(t)$ é igual a 2π . Para alterar esse período, deve-se fazer uma mudança da variável t para adequação ao novo período.

Antes de escrever o modelo, convém discutir alguns pontos, que foram objeto de análise durante a pesquisa.

O primeiro ponto é a necessidade de elaborar um modelo que seja dinâmico, isto é, que altere sua equação de previsão à medida que são incorporadas novas observações. Essa necessidade faz com que a determinação dos coeficientes a_k e b_k , seja feita dinamicamente.

Numa primeira tentativa, foi elaborado um modelo que atualizava os coeficientes dos harmônicos a cada hora de previsão. Entretanto, como se verá mais adiante, o número de operações matemáticas para a obtenção dos coeficientes é muito elevada, o que tomou o modelo extremamente lento, quando executado em um microcomputador do tipo PC-XT. Numa primeira aproximação, utilizou-se um modelo mais simples, em que a atualização dos coeficientes dos harmônicos era efetuada a intervalos diários. Esta opção se mostrou relativamente eficiente e pode ser considerada como um modelo alternativo, quando a capacidade do equipa-

mento de cálculo for muito reduzida.

Na continuação da pesquisa, o algoritmo de obtenção dos coeficientes foi modificado, tentando-se conseguir uma performance do modelo compatível com sua utilização em tempo real. Mais adiante, na descrição do modelo esse algoritmo será exposto e comentado.

Um segundo aspecto a ser discutido é a definição do período a ser adotado para a função periódica (de consumo) e o número de harmônicos a ser incorporado na função. Para isto foi elaborado um programa, que será detalhado adiante, para verificar a influência desses dois fatores na qualidade do ajuste de uma série de harmônicos à função de consumo. Apenas para antecipar o resultado da análise, o ciclo do harmônicos adotado foi de 7 dias, que concorda com os conhecimentos práticos de variação dos consumos nos setores de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo.

Quanto ao "grau" ou número de harmônicos a utilizar na equação de previsão, deve ser estabelecido um valor prático para uso, pois sabe-se que quanto maior o número de harmônicos melhor será o ajuste da série de Fourier aos dados utilizados na definição das harmônicos. Em função de uma análise de sensibilidade, que será detalhada adiante, dos coeficientes de correlação entre consumos observados e calculados pela série de Fourier, pede-se escolher o número de harmônicos a utilizar.

Além dessa análise, deve-se discutir a necessidade do ajus-

te "perfeito" entre séries calculada e observada. A utilização de um modelo com ajuste perfeito, para um ciclo de 7 dias, significa admitir que o consumo de um dia da semana que está sendo previsto será exatamente igual àquele realizado uma semana antes. Ora, embora haja uma periodicidade definida, outros fatores, como temperatura, eventos especiais no dia, o fato do dia ser feriado ou não e outros, farão com que haja diferenças no perfil de consumo de um dia da semana em relação à semana anterior. Portanto, a escolha de um número de harmônicos relativamente pequena, fará com que o modelo seja um previsor dos consumos do próximo período de 24 horas, para condições médias de um dado dia da semana. Essa característica é importante para qualificar esse tipo de modelo para previsão com intervalos de antecedência maiores que os adotados no modelo com base em ajuste de polinômio. Embora, como se verá nos casos estudados, os erros de previsão para grandes intervalos de previsão sejam grandes, os valores previstos servem para dar um balizamento de operação do reservatório nas 24 horas seguintes à hora da previsão.

Para ajustar a forma da função periódica de consumo a uma série de Fourier pode-se apresentá-la na forma:

$$f(x_j) = a_0 + \sum_{k=1}^{np} \left(a_k \cdot \cos \frac{k \cdot \pi \cdot j}{N} + b_k \cdot \sin \frac{k \cdot \pi \cdot j}{N} \right) \quad np < N$$

Eq. 11.10

onde:

2 N é o número de pontos equidistantes equivalente ao

período 2π

j é o número de ordem de $f(x)$

$$x_j = (\pi/N) \times j$$

Utilizando o método dos mínimos quadrados, pode-se obter os coeficientes (Humes et al, 1984):

$$a_0 = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^{2N} f(x_j) \quad \text{Eq. 11.11}$$

$$a_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{2N} f(x_j) \cdot \cos k \frac{\pi}{N} j \quad 1 \leq k < N \quad \text{Eq. 11.12}$$

$$b_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{2N} f(x_j) \cdot \sin k \frac{\pi}{N} j \quad 1 \leq k < N \quad \text{Eq. 11.13}$$

e, se $n_p = N$, então

$$a_N = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^{2N} f(x_j) \cdot \cos \pi j \quad \text{Eq. 11.14}$$

b_N não é calculado por falta de informações

Para o caso estudado, em que o ciclo é admitido semanal e a discretização dos consumos é feita a nível horário, $2N = 24 \times 7 = 168$. Portanto, para cada grau de harmônico, são necessárias duas somatórias para definir os coeficientes a_k e b_k , contendo 168 elementos cada. Esse fato confirma o que foi escrito anteriormente sobre a demanda de processamento do modelo com atua-

lização horária dos coeficientes. (Para cada dia de previsão seriam feitas $m \times 24$ somatórias com 168 elementos cada, onde m é o número de harmônicos).

A idéia básica do modelo proposto consiste em ajustar uma série de Fourier a uma sequência de 7 dias de consumos observados e extrapolar essa série para um dia de previsão. Entretanto, essa idéia foi enriquecida com duas considerações fundamentais. A primeira é concernente à necessidade de se incorporar à previsão as informações intrínsecas nos dados de consumo mais recentes ao período da previsão. Isso foi conseguido através de uma correção dos harmônicos ajustados em função da ocorrência de vazões de consumo de algumas horas anteriores à hora de previsão. Define-se no modelo um conjunto de horas de base a partir do qual é definido um coeficiente de correção denominado por " alfa ". Assim, se o número de horas de base (que é um parâmetro do modelo) for n horas, ajusta-se os harmônicos aos dados observados de uma semana, ou seja, aos 168 (7×24) valores de consumo da semana. A relação média entre os valores reais e os valores obtidos pelos harmônicos para as últimas n horas do conjunto de 168 valores corresponde ao coeficiente alfa.

A segunda consideração do modelo diz respeito à atualização da equação da série de Fourier. Para que fosse viabilizada a atualização horária, construiu-se um algoritmo que opera da seguinte maneira: para cada dia de previsão, é ajustada uma série de Fourier aos dados de 7 dias imediatamente anteriores. Esses harmônicos assim obtidos serão utilizados, após correção pelo coeficiente alfa, para a previsão do consumo das horas 1,2,3...

até o horizonte de previsão. A seguir, após a realização do consumo da hora 1, atualiza-se o conjunto de horas de base, eliminando-se o mais antigo e incorporando-se o valor da hora 1 e se obtém um novo valor de alfa. Retira-se o primeiro termo correspondente à primeira hora do período de sete dias anteriores das somatórias indicadas nas expressões 11.1 a 11.3 e substitui-se com o valor do consumo observado na hora 1 do dia atual da previsão.

No primeiro modelo pesquisado, os valores de a_k e b_k eram recalculados a cada hora, fazendo-se coincidir o período de 168 horas ao intervalo 0 a 2π . Nesse novo modelo, mantém-se a origem de escala dos tempos fixa e acrescenta-se um novo intervalo de tempo à série igual a π/N e elimina-se o primeiro intervalo π/N . Desta maneira o período máximo fica inalterado e igual a 2π e os produtos internos das somatórias não se alteram pois os intervalos de tempo representados por $k.\pi.j/N$, ficam inalterados. Ao se substituir o novo elemento da hora 1 na posição do primeiro elemento da série é transparente no resultado final de obtenção dos coeficientes a_k e b_k pois os termos em seno e cosseno são defasado em 2π , o que não altera o seu valor.

Desta forma, a atualização horária dos coeficientes da série de Fourier nesse modelo, exige a eliminação de um elemento e a inclusão de outro em k somatórias. Portanto, para cada dia de previsão seriam feitas $n_p \times 2 \times 24$ somatórias com dois elementos cada, onde n_p é o número de harmônicos. Se se comparar com o primeiro modelo, há uma redução de 84 vezes nas operações de multiplicação dos termos em seno e cosseno das somatórias, o

que resulta em uma grande economia de tempo de processamento.

A estrutura básica do modelo pode ser dividida em três blocos. No primeiro bloco são definidos o arquivo de dados e os parâmetros (como horizonte de previsão, número de harmônicos da série, número de horas de base, período da série histórica a utilizar) e inicializadas as somatórias.

No segundo bloco, em que se faz propriamente as previsões, o período de dados é separado em dias. Para cada dia, ajusta-se a série de Fourier. O conjunto de horas de base é definido de forma que seu final coincida com o zero do dia da previsão. Faz-se as previsões a partir da hora 1 até o horizonte de previsão (número de horas máximas de antecedência) definido na entrada do modelo. Desloca-se o conjunto de horas de base de uma hora para incorporar o valor da hora 1 observado e faz-se as previsões dos consumos da hora 2 até o horizonte de previsão. Repete-se esse procedimento para as demais horas do dia e para todos os dias do período escolhido.

No terceiro bloco são efetuadas as estatísticas dos resultados e impressas as tabelas-resumo. As duas tabelas apresentadas são idênticas àquelas do modelo baseado em série de Taylor. A primeira apresenta os valores das médias e desvios-padrão das diferenças entre consumos acumulados calculados e observados para cada hora do dia e em função do número de horas de antecedência com que foram previstos os consumos. Na tabela seguinte, as diferenças de consumos acumulados previstos e observados são classificados de acordo com o número de horas de antecedência

de previsão, em faixas proporcionais ao volume do reservatório, permitindo elaborar as curvas de permanência dos desvios.

12 - APLICAÇÕES

Para a aplicação dos dois modelos de previsão descritos, utilizou-se os dados de consumo dos setores da Alça Leste do SAM, que já foram descritos no capítulo 9.

Os modelos desenvolvidos procuram simular a previsão em condições de operação em tempo real, isto é, o conhecimento prévio das vazões de consumo posteriores a um intervalo de previsão são utilizados apenas para comparação com os dados calculados.

Anteriormente à aplicação dos modelos, foram efetuados dois tipos de ajustes aos dados de consumo. O primeiro, em que se tomou uma sequência variável de horas de consumo e se ajustou polinômios de diversos graus aos dados observados. Desta forma, pode-se antecipar o número do grau do polinômio que consegue representar as variações horárias dos consumos. O segundo, em que se ajustou harmônicos com ordens diversas a dados de consumo de uma semana, pois este será o período utilizado na definição do harmônico para a previsão. A escolha do período semanal é justificado no fato de se conhecer que há uma variação no perfil de consumo em função do dia da semana. Como o modelo se utiliza de informações referentes aos últimos 7 dias, e sendo este período atualizado a cada hora, o efeito do dia da semana é eliminado da análise.

Para exemplificar as análises de sensibilidade efetuadas, utilizou-se o setor Jaçanã. Os resultados referentes aos demais setores são semelhantes, o que leva a apresentar apenas os resultados mais significativos desses setores.

12.1 -Ajustes de Harmônicos a uma Série Temporal

Para se determinar o número de harmônicos que proporciona um ajuste aos dados consumos horários relativos ao período de uma semana, utilizou-se o programa HARMONIA.

A escolha do período semanal se justifica pelo fato de os perfis de consumo variarem significativamente ao longo dos dias da semana. Desta forma, este efeito é eliminado no modelo de previsão, uma vez que os harmônicos são ajustados a séries semanais móveis, renovadas a cada hora da previsão.

O programa HARMONIA faz o ajuste de um certo número de harmônicos a uma série de dados de consumo e calcula os valores de consumo a partir da equação harmônica.

Como dados de entrada do modelo, são fornecidos o nome de arquivo de dados, (arquivo randômico, contendo na primeira linha o número de registros em um campo de 8 bytes e nas demais linhas, a data, em campo de 8 bytes e os 24 valores de consumo horário em campos de 4 bytes), o número do primeiro registro da série que será ajustada, as ordens mínima e máxima de harmônicos a serem ajustados, o passo de acréscimo da ordem dos harmônicos e o ciclo dos harmônicos, em dias.

O programa ajusta os coeficientes dos harmônicos através do

método dos mínimos quadrados (Equações 11.11 a 11.14) e gera uma sequência calculada para o mesmo período dos dados observados. A seguir são efetuados os cálculos estatísticos, que são impressos como saída do programa e que consiste nos coeficientes de regressão e de correlação (quadrado) entre as séries calculada e observada, o intercepto da equação de regressão e o desvio máximo entre os valores calculados e observado, expresso em porcentagem do observado.

A figura 12.1 mostra um resultado da aplicação do programa aos dados de consumo do setor Jaçanã, utilizando-se os registros 300 a 306. Adotou-se o ciclo semanal. Pela figura, nota-se que o coeficiente de correlação sofre incrementos significativos quando se utiliza um número de harmônicos múltiplo do ciclo de 7 dias adotado.

A figura 12.2 apresenta a variação do coeficiente de correlação em função do número de harmônicos, indicando apenas os resultados correspondentes aos harmônicos múltiplos de 7 dias. Quando se aumenta o número de harmônicos de 7 para 14, o coeficiente de correlação se eleva em 19,8%. Utilizando-se 21 harmônicos, o crescimento é de 3,5%, e utilizando-se 28 harmônicos o acréscimo no coeficiente de correlação é de 1,3%. Uma vez que no modelo de previsão, o tempo de processamento é função do número de harmônicos utilizados, considera-se que deva ser utilizado no máximo 21 harmônicos, pois a partir deste ponto, o ganho nos resultados não é significativo.

Na figura 12.3 são indicados os desvios máximos entre os

AJUSTE POR HARMONICOS JACANA 25-10-88 a 01-11-88

FIGURA 12.1

AJUSTE POR HARMONICOS JACANA 25-10-88 a 01-11-88

FIGURA 12.2

AJUSTE POR HARMONICOS JACANA 26-10-88 a 01-11-88

FIGURA 12.3

AJUSTE POR HARMONICOS JACANA 26-10-88 a 01-11-88

FIGURA 12.4

valores calculados e observados em função do número de harmônicos adotado. Para um número de harmônicos igual a 21, o desvio máximo observado foi de 17% para o período analisado.

Na figura 12.4 está indicada a variação do intercepto da reta de regressão entre valores calculados e observados em função do número de harmônicos. Para harmônicos de ordem 21, o intercepto encontrado foi de 80 l/s, que corresponde a 3,55% da vazão do período analisado.

12.2 - Aplicação do Modelo de Previsão de Consumo Baseado em Série de Fourier

O modelo de previsão baseado no ajuste de harmônicos foi aplicado aos dados de consumo dos setores da Alça Leste do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo.

Para efetuar a análise de sensibilidade do modelo foi escolhido o período de 25-10-1988 a 15-11-1988, que compõe uma série de 528 horas.

Foram avaliados os resultados obtidos em função dos parâmetros: número de harmônicos, número de horas de base e horizonte de previsão.

As tabelas 12.1 a 12.10 apresentam os coeficientes de correlação (ao quadrado) obtidos na regressão linear entre os valores calculados e observados, para diversos horizontes de previsão (número de horas de antecedência de previsão).

Embora o objetivo do modelo de previsão não ser a otimização da redução das diferenças entre valores calculado e observado de uma dada hora, mas sim de um período acumulado, o coeficiente de correlação entre valores calculados e observados individuais mostra a qualidade do ajuste em função dos parâme-

Tabela 12.1 - Coeficientes de correlacao obtidos pelo modelo previsional harmonico
JACANA - 25-10-88 a 15-11-88

Num. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0.8812	0.7279	0.5724	0.4144	0.2712	0.1946
	3	0.7795	0.6263	0.4780	0.3548	0.2785	0.2387
	5	0.6853	0.5689	0.4609	0.3836	0.3353	0.3354
14	1	0.8999	0.8041	0.7280	0.6527	0.5789	0.5696
	3	0.8633	0.7929	0.7366	0.7023	0.6981	0.6787
	5	0.8478	0.8088	0.7908	0.7738	0.7473	0.7125
21	1	0.9066	0.8470	0.8234	0.7965	0.7396	0.7026
	3	0.9017	0.8787	0.8453	0.8166	0.7849	0.7395
	5	0.9050	0.8782	0.8581	0.8279	0.7877	0.7431

TABELA 12.2 - Coeficientes de Correlacao obtidos pelo Modelo Previsional Harmonico
EDU-CHAVES - 25-10-1988 a 15-11-1988

Num. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,8420	0,6352	0,4150	0,2491	0,1349	0,0781
	3	0,6856	0,4793	0,3040	0,1849	0,1158	0,0656
	5	0,5542	0,3894	0,2639	0,1834	0,1376	0,1218
14	1	0,8641	0,7190	0,5581	0,4374	0,3451	0,2881
	3	0,7757	0,6419	0,5287	0,4364	0,3816	0,3372
	5	0,7210	0,6181	0,5312	0,4671	0,4130	0,3682
21	1	0,8759	0,7629	0,6399	0,5510	0,4690	0,3926
	3	0,8303	0,7274	0,6205	0,5372	0,4676	0,3937
	5	0,8068	0,7061	0,6015	0,5196	0,4521	0,3884

TABELA 12.3 - Coeficientes de Correlacao obtidos pelo Modelo Previsional Harmonico
VILA NOBRES - 25-10-1988 a 15-11-1988

Mun. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,7953	0,6398	0,5177	0,3752	0,2449	0,1392
	3	0,7264	0,5873	0,4513	0,3239	0,2225	0,1523
	5	0,6422	0,5166	0,4093	0,3215	0,2633	0,2281
14	1	0,7952	0,6937	0,5994	0,4979	0,3987	0,2922
	3	0,7715	0,6885	0,6085	0,5287	0,4584	0,3935
	5	0,7385	0,6697	0,6140	0,5643	0,5269	0,4839
21	1	0,7889	0,7033	0,6344	0,5560	0,4639	0,3686
	3	0,7929	0,7331	0,6752	0,6069	0,5338	0,4477
	5	0,7886	0,7387	0,6786	0,6251	0,5751	0,5099

Tabela 12.4 - Coeficientes de correlacao obtidos pelo modelo previsional harmonico
VILA MARIA - 25-10-88 a 15-11-88

Mun. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,8978	0,7493	0,5988	0,4558	0,3503	0,2967
	3	0,7976	0,6570	0,5325	0,4387	0,3848	0,3668
	5	0,7232	0,6214	0,5468	0,4992	0,4791	0,4836
14	1	0,9064	0,7948	0,6965	0,6068	0,5470	0,5165
	3	0,8437	0,7566	0,6933	0,6598	0,6531	0,6413
	5	0,8187	0,7692	0,7459	0,7370	0,7280	0,6986
21	1	0,9188	0,8260	0,7593	0,6858	0,6184	0,5534
	3	0,8668	0,8067	0,7604	0,7195	0,6812	0,6384
	5	0,8549	0,8124	0,7830	0,7544	0,7215	0,6762

Tabela 12.5 - Coeficientes de correlacao obtidos pelo modelo previsional harmonico
PENHA - 25-10-88 a 15-11-88

Num. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0.8872	0.7769	0.6381	0.4989	0.3850	0.3055
	3	0.8215	0.7080	0.5780	0.4742	0.4010	0.3676
	5	0.7538	0.6584	0.5759	0.5184	0.4890	0.4983
14	1	0.9817	0.8431	0.7797	0.7285	0.6887	0.6478
	3	0.8880	0.8391	0.7978	0.7783	0.7538	0.7386
	5	0.8766	0.8471	0.8245	0.8089	0.7896	0.7522
21	1	0.9827	0.8632	0.8281	0.7908	0.7538	0.6976
	3	0.9872	0.8883	0.8542	0.8258	0.7877	0.7373
	5	0.9857	0.8827	0.8577	0.8316	0.7972	0.7487

TABELA 12.6 - Coeficientes de Correlacao obtidos pelo modelo Previsional Harmonico
CANGAIBA - 25-10-1988 a 15-11-1988

Num. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,8841	0,6710	0,5069	0,3391	0,1981	0,1004
	3	0,7298	0,5743	0,4166	0,2775	0,1811	0,1284
	5	0,6382	0,4958	0,3797	0,2897	0,2417	0,2404
14	1	0,8137	0,7376	0,6483	0,5370	0,4650	0,4206
	3	0,8117	0,7416	0,6779	0,6308	0,6110	0,5937
	5	0,7953	0,7543	0,7268	0,7061	0,6895	0,6529
21	1	0,8872	0,7585	0,7005	0,6381	0,5818	0,5045
	3	0,8375	0,8007	0,7632	0,7236	0,6817	0,6177
	5	0,8435	0,8138	0,7829	0,7476	0,7112	0,6614

Tabela 12.7 - Coeficientes de correlacao obtidos pelo modelo provisional harmonico
JARDIM POPULAR - 25-10-88 a 15-11-88

Nun. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0.6149	0.6653	0.4629	0.3631	0.2100	0.1145
	3	0.6891	0.6184	0.4653	0.3459	0.2408	0.1769
	5	0.6299	0.5483	0.4382	0.3590	0.2976	0.2839
14	1	0.6018	0.6913	0.5143	0.4499	0.3280	0.2436
	3	0.7383	0.7473	0.6685	0.6083	0.5669	0.5342
	5	0.7436	0.7437	0.7009	0.6839	0.6515	0.6189
21	1	0.5881	0.7039	0.5806	0.5543	0.4608	0.3572
	3	0.7571	0.8052	0.7552	0.7258	0.6757	0.6870
	5	0.7854	0.8130	0.7740	0.7494	0.7045	0.6568

Tabela 12.8 - Coeficientes de Correlacao Obtidos pelo modelo provisional harmonico
Erwelino Matarazzo - 25/10/1988 a 15/11/1988

Nun. de Harm.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,6107	0,3731	0,2547	0,1470	0,0633	0,0166
	3	0,4806	0,3086	0,1812	0,0849	0,0292	0,0054
	5	0,3681	0,2155	0,1134	0,0484	0,0126	0,0009
14	1	0,5940	0,3244	0,1881	0,0897	0,0303	0,0040
	3	0,4670	0,2648	0,1277	0,0435	0,0081	0,0000
	5	0,3737	0,1851	0,0722	0,0173	0,0006	0,0020
21	1	0,5803	0,2843	0,1448	0,0700	0,0281	0,0047
	3	0,4763	0,2467	0,1025	0,0318	0,0065	0,0000
	5	0,4165	0,1776	0,0506	0,0081	0,0001	0,0020

**Tabela 12.9 - Coeficientes de Correlacao Obtidos pelo modelo previsional
Harmonico - Sao Miguel - 25/10/1988 a 15/11/1988**

Num. de Harv.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0,9198	0,8885	0,6684	0,5432	0,4362	0,3689
	3	0,8355	0,7157	0,5974	0,4986	0,4249	0,3820
	5	0,7593	0,6598	0,5724	0,5053	0,4577	0,4311
14	1	0,9373	0,8724	0,7987	0,7248	0,6684	0,6219
	3	0,9838	0,8473	0,7989	0,7447	0,7858	0,6616
	5	0,8876	0,8482	0,8874	0,7683	0,7227	0,6627
21	1	0,9429	0,8955	0,8363	0,7928	0,7457	0,6844
	3	0,9281	0,8874	0,8376 *	0,7984	0,7422	0,6839
	5	0,9219	0,8881	0,8274	0,7782	0,7388	0,6738

**Tabela 12.10 - Coeficientes de correlacao obtidos pelo modelo previsional harmonico
GOPOBUA - 25-10-88 a 15-11-88**

Num. de Harv.	Horas Base	HORIZONTE DE PREVISAO					
		1	2	3	4	5	6
7	1	0.9139	0.8852	0.6873	0.5789	0.4788	0.4088
	3	0.8437	0.7353	0.6337	0.5493	0.4888	0.4553
	5	0.7851	0.7012	0.6338	0.5833	0.5512	0.5449
14	1	0.9237	0.8528	0.7897	0.7328	0.6838	0.6544
	3	0.8929	0.8384	0.7998	0.7767	0.7623	0.7428
	5	0.8812	0.8586	0.8363	0.8272	0.8129	0.7846
21	1	0.9298	0.8855	0.8583	0.8317	0.7919	0.7485
	3	0.9223	0.8956	0.8774	0.8588	0.8389	0.7875
	5	0.9249	0.9036	0.8885	0.8687	0.8394	0.8082

tros escolhidos. Nos casos de estudo, os maiores coeficientes de correlação foram obtidos, quando se utilizou harmônicos de ordem 21. A única exceção foi o setor Ermelino Matarazzo onde os resultados indicaram coeficientes de correlação muito baixos. Uma análise dos dados do período analisado (25-10-88 a 15-11-88) mostra que há inconsistência nos dados observados, como por exemplo, vazões mínimas de consumo por volta das 12h, que não corresponde a uma realidade conhecida. A figura 12.5 apresenta o coeficiente de correlação em função do número de harmônicos utilizados para a previsão dos consumos com horizontes de previsão variando de 1 a 6 horas do setor Jaçaná no período de 25-10-88 a 15-11-88. Foi fixado o número de horas de base igual a 5. Nota-se que o ganho no coeficiente de correlação é expressivo quando se passa de 7 para 21 harmônicos.

No modelo de previsão por harmônicos, utilizou-se uma correção do valor previsto pela equação periódica. Essa correção é efetuada com base no comportamento dos consumos reais das últimas horas em relação aos valores ajustados pela série de harmônicos. A relação média entre os últimos valores calculados e ajustados, anteriores à hora da previsão, é utilizada para corrigir os valores futuros da previsão. A esse conjunto das últimas horas, denominou-se de horas de base. Foi analisada, através do modelo de previsão, a influência do número de horas desse período adotado como base sobre os resultados da previsão. As figuras 12.6 a 12.8 mostram a variação do coeficiente de correção entre valores calculados e observados, em função do número de horas de base. Para a série de harmônicos de ordem 7, há uma redução da correlação quando se passa de um número de

horas de base de 1 para 5 horas, quando se faz previsões com até 3 horas de antecedência. Para horizontes de previsão maiores, ocorre uma melhoria na correlação, quando se aumenta o número de horas de base. Quando se utilizam harmônicos de ordem 14 ou 21, a tendência é a de haver uma pequena melhora na correlação quando se aumenta o número de base. A influência dessa correção é tanto menor quanto maior é o número de harmônicos utilizado.

A figura 12.9 mostra a variação do coeficiente de correlação entre valores calculados e observados em função do horizonte de previsão, para as diversas alternativas de número de harmônicos e de horas de base, utilizando-se os resultados do setor Jaçanã. Nota-se que os melhores resultados são obtidos para 21 harmônicos e 5 horas de base. A figura 12.10 mostra os resultados específicos para essa solução, para horizontes de previsão variando de 1 a 15 horas. Há uma redução sensível do coeficiente de correlação para horizontes até 8 horas. Além desse limite os valores da correlação tendem a decrescer muito pouco com o aumento do horizonte da previsão.

A figura 12.11 apresenta os resultados da correlação para os outros setores da Alça Leste, utilizando-se 21 harmônicos e 5 horas de base.

Na figura 12.12 estão representados os dados obtidos da primeira tabela da saída do modelo de previsão por harmônicos referente ao setor Jaçanã (período 25-10-88 a 15-11-88), utilizando 21 harmônicos e 5 horas de base. Na tabela são apresenta-

PREVISAO POR HARMONICOS JACANA 26-10-88 a 16-11-88

HORAS DE BASE - 5

FIGURA 12.5

PREVISAO POR HARMONICOS ANALISE DE SENSIBILIDADE DAS HORAS DE BASE JACANA 26-10-88 a 16-11-88

7 HARMONICOS

FIGURA 12.6

PREVISAO POR HARMONICOS
ANALISE DE SENSIBILIDADE DAS HORAS
DE BASE - JACANA 26-10-88 A 16-11-88

14 HARMONICOS

FIGURA 12.7

PREVISAO POR HARMONICOS
ANALISE DE SENSIBILIDADE DAS HORAS
DE BASE - JACANA 26-10-88 A 16-11-88

21 HARMONICOS

FIGURA 12.8

**PREVISAO HARMONICA- RESULTADOS
PARA DIVERSOS HARMONICOS E HORAS
DE BASE -JACANA 25-10-88 a 15-11-88**

FIGURA 12.9

**Correlacao Consumos Calc e Observ.
Jacana- 25-10-88 a 15-11-88**

FIGURA 12.10

PREVISAO HARMONICA RESULTADOS PARA OS SETORES DA ALCA LESTE

21 Harmônicos 5 Horas de Base
FIGURA 12.11

AJUSTE POR HARMONICOS
JACANA 26-10-88 a 16-11-88
(21 Harmônicos 5 Horas de Base)

Desvios de Consumos Obs x Calc
 (para varios horizontes de previsao)

FIGURA 12.12

dos as médias e os desvios-padrão das diferenças entre os consumos acumulados calculados e observados em função do horizonte de previsão e da hora referente ao valor previsto (em porcentagem do volume do reservatório). Assim, por exemplo, o elemento da 5ª linha (hora 5) e 3ª coluna (3 horas de antecedência) representa o desvio médio das vazões calculadas acumuladas das horas 3, 4 e 5 obtidas a partir da hora 2. Na figura apresentada, as horas, a partir das quais se fez a previsão, estão indicadas na abscissa. Na ordenada estão indicadas as somas dos desvios médios acrescidos de um desvio-padrão. Cada curva refere-se aos horizontes de previsão indicados. Pode-se observar que as previsões efetuadas no período da manhã entre 7 e 11 horas são as que apresentam maiores desvios. Isto indica que, na operação em tempo real, o ciclo de correção das previsões deve ser abreviado no período da manhã, podendo ser ampliado à tarde e à noite.

A segunda tabela emitida pelo programa de previsão por harmônicos são curvas de frequências acumuladas (curvas de permanência). As classes de frequência foram discretizadas de 0,5% em 0,5% do volume do reservatório. A variável classificada são os desvios de consumo, tomados em módulo, para diversos horizontes de previsão. A classificação dos desvios não considera a hora em que foi efetuada a correção. Desvios positivos ou negativos de consumos proporcionam desvios dos armazenamentos reais dos reservatórios em relação aos acumulados. Quando o consumo for superior ao estimado, haverá um esvaziamento maior do reservatório do que o previsto. Quando o consumo for inferior ao estimado, haverá um enchimento do reservatório maior que o pre-

visto. Em ambos os casos, os erros de previsão podem estar causando violações dos limites operacionais. Por este motivo, os desvios foram considerados em módulo, para a elaboração das planilhas de frequência e desvios. Quando se estiver analisando a capacidade das adutoras em atender as necessidade de consumo, apenas os consumos previstos a menor irão implicar em restrições operacionais nos intervalos futuros de cálculo. Para recompor o volume armazenado previsto, será necessário nesses casos, sobrecarregar as adutoras.

A figura 12.13 representa as curvas obtidas para um ajuste com 21 harmônicos e 5 horas de base, aos dados do setor Jaçanã (25-10-88 a 15-11-88). A partir dessas curvas, pode-se definir, para cada setor o horizonte máximo de previsão e o ciclo de previsão, isto é, o intervalo em que se fazem as correções de previsão e de regras operacionais. Essas definições estarão associadas ao risco assumido por falhas na previsão (variável de um para outro sistema), à capacidade das adutoras em suprir vazões superiores à vazão média de consumo e a um desvio máximo tolerado na previsão do último período do horizonte de previsão.

O risco assumido por falhas de previsão é função de diversos fatores variáveis para cada sistema e para cada operador. Por exemplo, determinados reservatórios podem ser estrategicamente mais importantes que outros do mesmo sistema, tolerando portanto erros menores. Por outro lado, a qualidade da previsão está intimamente ligada à qualidade dos dados coletados. Assim, erros cometidos nos cálculos de consumos anteriores, irão com-

FREQUENCIAS DOS DESVIOS ENTRE CONSUMOS PREV. E OBS. - PREVISAO HARMONICA JACANA 26-10-88 a 16-11-88

21 Harmônicos 5 Horas de Base
FIGURA 12.13

prometer a qualidade das previsões futuras. Não se pode querer assumir pois riscos muito inferiores às probabilidade de erros de aquisição de dados. No sistema da R.M.S.P. é muito comum a ocorrência de dados anômalos, causados por erros de medição de nível de reservatório, descalibração dos medidores de vazões afluentes aos reservatórios, falhas no sistema de transmissão de dados e mesmo falhas do computador central.

Os desvios de consumos, que causam um esvaziamento maior que o previsto, exigem que as adutoras tenham capacidade de corrigir esse erro através de uma suplementação adicional. Para o caso de uma operação de um reservatório isolado e supondo-se que os desvios de armazenamento possam ser corrigidos a cada hora, pode-se estimar os erros máximos tolerados por hora, em função do volume do reservatório e da capacidade da adutora

Seja V o volume do reservatório para regularizar a vazão média de consumo Q_m . Pode-se expressar o volume do reservatório como uma fração do consumo médio diário pela expressão:

$$v = V / (Q_m * 24 * 3600) \quad \text{Eq 12.1}$$

O erro de consumo previsto a cada hora vai exigir um acréscimo de vazão de adução na hora seguinte que pode ser representado por.

$$\text{Var}(Q) = \text{Var}(V) / 3600 \quad \text{Eq 12.2}$$

onde $\text{Var}(Q)$ é o acréscimo de vazão na adutora

$\text{Var}(V)$ é o erro do consumo previsto a cada hora (m^3)

O erro do consumo previsto no modelo desenvolvido é expresso como fração do volume do reservatório, isto é:

$$\text{Var}(V) = e \cdot V \quad \text{Eq 12.3}$$

Em função das cotas do reservatório e da estação de tratamento e das perdas de carga na adutora, pode-se definir a capacidade da adutora. Essa capacidade pode ser expressa em função da vazão média de consumo:

$$Q_{\text{max}} = K_1 \cdot Q_m \quad \text{Eq 12.4}$$

O valor de K_1 representa, a nível de projeto da adutora, o coeficiente de majoração da vazão média de consumo para o dia de maior consumo médio do ano e oscila em torno de 1.2.

No caso da operação horária, essa vazão máxima deve ser igualada à vazão média acrescida da correção de vazão necessária para recompor o volume armazenado no reservatório.

$$Q_{\text{max}} = Q_m + \text{Var}(Q) \quad \text{Eq 12.5}$$

Substituindo-se as equações 12.1 a 12.4 na equação 12.5 tem se:

$$K1*Q_m = Q_m + \text{Var}(V)/3600$$

$$K1*Q_m = Q_m + e*V/3600$$

$$K1*Q_m = Q_m + e*v*Q_m*24*3600/3600$$

$$e = (K1-1) / 24 v$$

Eq 12.6

Portanto, esse valor de v é o limite do erro admitido no consumo a cada hora de previsão, função da capacidade da adutora e do reservatório.

O desvio tolerado no último período do horizonte de previsão deve ser tal que valores previstos dentro de uma faixa não causem alterações sensíveis nas regras de operação. No caso de se utilizar modelos de otimização para definição das regras, a maior ou menor tolerância desses erros no final do horizonte de previsão poderá causar desvios nas regras operacionais reais em relação à ótima, com consequente redução do valor da função objetivo imposta.

Para exemplificar, o setor Jaçanã possui um reservatório de 10.000 m³ e um consumo médio para o período estudado de 521 l/s. Assim, o parâmetro " v " da fórmula 12.1 vale 0.222.

Para se avaliar a capacidade da adutora, considerou-se um caso crítico, em que todos os demais setores da Alça Leste estivessem necessitando uma correção de vazão da mesma proporção que o setor Jaçanã (mesmo K1 para todos os setores). Essa situação é extremamente conservadora, uma vez que se pode criar estratégias de adução que evitem essa superposição inconveniente.

A figura 9.2 representa a rede de adutora e subadutoras da Alça Leste. Calculou-se, para cada valor de K1 imposto, a cota máxima necessária na ETA Guaraú para atender a todas as demandas.

Os consumos médios do período analisado para os setores da Alça Leste encontram-se na tabela 12.11. Por processo iterativo, obteve-se um valor de K1 máximo de 1.12. Este valor, inferior ao valor de 1.2 utilizado em projetos, enfatiza o estado de saturação da adutora existente. Pela expressão 12.6, obtém-se que o valor do erro máximo da previsão do consumo não deve ultrapassar a 2,25% do volume do reservatório, a cada hora. Caso se considere a operação isolada do reservatório Jaçanã, com um valor de K1 igual a 1.2, o erro máximo admissível por hora passa para 3,75% do volume do reservatório. Pela figura 12.14, obtém-se para o primeiro caso uma frequência acumulada de cerca de 82%, isto é em 18% dos casos haveria erros superiores a 2.25% por hora. No segundo caso, a frequência se eleva para cerca de 92%. (8% de erros superiores aos admissíveis). Nas duas alternativas não há grande variação do risco em função do crescimen-

prometer a qualidade das previsões futuras. Não se pode querer assumir pois riscos muito inferiores às probabilidade de erros de aquisição de dados. No sistema da R.M.S.P. é muito comum a ocorrência de dados anômalos, causados por erros de medição de nível de reservatório, descalibração dos medidores de vazões afluentes aos reservatórios, falhas no sistema de transmissão de dados e mesmo falhas do computador central.

Os desvios de consumos, que causam um esvaziamento maior que o previsto, exigem que as adutoras tenham capacidade de corrigir esse erro através de uma suplementação adicional. Para o caso de uma operação de um reservatório isolado e supondo-se que os desvios de armazenamento possam ser corrigidos a cada hora, pode-se estimar os erros máximos tolerados por hora, em função do volume do reservatório e da capacidade da adutora

Seja V o volume do reservatório para regularizar a vazão média de consumo Q_m . Pode-se expressar o volume do reservatório como uma fração do consumo médio diário pela expressão:

$$v = V / (Q_m * 24 * 3600) \quad \text{Eq 12.1}$$

O erro de consumo previsto a cada hora vai exigir um acréscimo de vazão de adução na hora seguinte que pode ser representado por.

$$\text{Var}(Q) = \text{Var}(V) / 3600 \quad \text{Eq 12.2}$$

onde $\text{Var}(Q)$ é o acréscimo de vazão na adutora

$\text{Var}(V)$ é o erro do consumo previsto a cada hora (m^3)

O erro do consumo previsto no modelo desenvolvido é expresso como fração do volume do reservatório, isto é:

$$\text{Var}(V) = e \cdot V \quad \text{Eq 12.3}$$

Em função das cotas do reservatório e da estação de tratamento e das perdas de carga na adutora, pode-se definir a capacidade da adutora. Essa capacidade pode ser expressa em função da vazão média de consumo:

$$Q_{\text{max}} = K_1 \cdot Q_m \quad \text{Eq 12.4}$$

O valor de K_1 representa, a nível de projeto da adutora, o coeficiente de majoração da vazão média de consumo para o dia de maior consumo médio do ano e oscila em torno de 1.2.

No caso da operação horária, essa vazão máxima deve ser igualada à vazão média acrescida da correção de vazão necessária para recompor o volume armazenado no reservatório.

$$Q_{\text{max}} = Q_m + \text{Var}(Q) \quad \text{Eq 12.5}$$

Substituindo-se as equações 12.1 a 12.4 na equação 12.5 tem se:

$$K1*Q_m = Q_m + \text{Var}(V)/3600$$

$$K1*Q_m = Q_m + e*V/3600$$

$$K1*Q_m = Q_m + e*v*Q_m*24*3600/3600$$

$$e = (K1-1) / 24 v$$

Eq 12.6

Portanto, esse valor de v é o limite do erro admitido no consumo a cada hora de previsão, função da capacidade da adutora e do reservatório.

O desvio tolerado no último período do horizonte de previsão deve ser tal que valores previstos dentro de uma faixa não causem alterações sensíveis nas regras de operação. No caso de se utilizar modelos de otimização para definição das regras, a maior ou menor tolerância desses erros no final do horizonte de previsão poderá causar desvios nas regras operacionais reais em relação à ótima, com consequente redução do valor da função objetivo imposta.

Para exemplificar, o setor Jaçanã possui um reservatório de 10.000 m³ e um consumo médio para o período estudado de 521 l/s. Assim, o parâmetro " v " da fórmula 12.1 vale 0.222.

Para se avaliar a capacidade da adutora, considerou-se um caso crítico, em que todos os demais setores da Alça Leste estivessem necessitando uma correção de vazão da mesma proporção que o setor Jaçanã (mesmo K1 para todos os setores). Essa situação é extremamente conservadora, uma vez que se pode criar estratégias de adução que evitem essa superposição inconveniente.

A figura 9.2 representa a rede de adutora e subadutoras da Alça Leste. Calculou-se, para cada valor de K1 imposto, a cota máxima necessária na ETA Guaraú para atender a todas as demandas.

Os consumos médios do período analisado para os setores da Alça Leste encontram-se na tabela 12.11. Por processo iterativo, obteve-se um valor de K1 máximo de 1.12. Este valor, inferior ao valor de 1.2 utilizado em projetos, enfatiza o estado de saturação da adutora existente. Pela expressão 12.6, obtém-se que o valor do erro máximo da previsão do consumo não deve ultrapassar a 2,25% do volume do reservatório, a cada hora. Caso se considere a operação isolada do reservatório Jaçanã, com um valor de K1 igual a 1.2, o erro máximo admissível por hora passa para 3,75% do volume do reservatório. Pela figura 12.14, obtém-se para o primeiro caso uma frequência acumulada de cerca de 82%, isto é em 18% dos casos haveria erros superiores a 2.25% por hora. No segundo caso, a frequência se eleva para cerca de 92%. (8% de erros superiores aos admissíveis). Nas duas alternativas não há grande variação do risco em função do crescimen-

**Tabela 12.11 - Consumos Medios dos Setores da Alca Leste do SAM e
Relacao com Volumes dos Reservatorios
(Periodo 25-10-88 a 15-11-88)**

SETOR	Consumos Medios(l/s)	Volume do Re- servatorio(m3)	v=Volume/ Consumo
Jacana	521	10.000	0.222
Edu Chaves	654	30.000	0.531
Vila Medeiros	473	7.200	0.176
Vila Maria	488	12.000	0.341
Penha	736	16.000	0.252
Cangaiba	372	10.000	0.311
Jardim Popular	198	10.000	0.585
Ernelino Matarazzo	475	30.000	0.731
Sao Miguel	312	10.000	0.371
Gopouva	1682	50.000	0.361

ERROS MEDIOS HORARIOS **DESVIOS CONSUMOS ACUM. CALC-OBS** **PREV. HARM. JACANA 25-10-88 a 15-11-88**

21 Harmônicos 5 Horas de Base
FIGURA 12.14

to do horizonte de previsão. A figura 12.14 mostra a variação dos erros médios por hora, para diversas frequências, em função dos horizontes de previsão. Para uma frequência de 80%, o K1 necessário é 1.11; para 85%, o K1 passa a 1.14; para 90%, K1 vale 1,17; para 95%, K1 vale 1,23 e para 100%, K1 vale 1,45. Na verdade, os riscos reais são bem menores que os indicados, pois os erros foram considerados em módulo para a construção da curva de frequência acumulada. Caso se considerasse os valores relativos, os riscos devem diminuir.

A outra restrição é o erro máximo acumulado no último período de previsão. Se se adotar o risco de 8% do caso anterior vê-se pela figura 12.13 que caso se admita um erro máximo de 5% do volume do reservatório, o horizonte não pode ultrapassar 1 hora. Caso se eleve o limite para 10%, o horizonte pode ser estendido para 3 horas, se se elevar para 15%, o horizonte se estende até 4 horas; se o limite for 20%, o horizonte passa a 6 horas e assim sucessivamente.

A figura 12.14 mostra a variação dos erros médios por hora, para diversas frequências, em função dos horizontes de previsão. Para uma frequência de 80%, o K1 necessário é 1.11; para 85%, o K1 passa a 1.14; para 90%, K1 vale 1,17; para 95%, K1 vale 1,23 e para 100%, K1 vale 1,45.

12.3 - Ajuste de Polinômios a Uma Série Temporal

Para se fazer uma avaliação prévia do grau máximo do polinômio a ser pesquisado no modelo previsional baseado em série de Taylor, utilizou-se um programa que ajusta um polinômio a uma série temporal.

O processo de ajuste está baseado no método dos mínimos quadrados.

Os dados de entrada do programa são: o arquivo contendo a série de dados (arquivo randômico, contendo o número de registros na primeira linha em um campo de 8 bytes e nas demais linhas, contendo a data, em campo de 8 bytes e os consumos horários, em campos de 4 bytes), o grau máximo de polinômio a ser pesquisado, o dia inicial e final da análise e as horas inicial e final de cada dia que serão utilizadas na análise.

O programa efetua uma análise de regressão polinomial dos dados de consumo em função da hora, para cada dia de análise. Dentro desses dias pode-se utilizar uma sequência de consumos com duração menor ou igual a 24 horas e iniciando em qualquer hora.

A saída do programa consiste no cálculo dos coeficientes de determinação, correlação e estimativas de erro padrão, além dos

coeficientes do polinômio. Esses coeficientes são impressos para cada grau de polinômio ajustado e para cada dia da série determinada. Cada vez que é incrementado o grau do polinômio, o programa compara o coeficiente de correlação obtido com o valor máximo dos coeficientes de correlação dos polinômios de grau inferior. Caso o último coeficiente de correlação seja superior a todos os anteriores é impresso a mensagem "Houve melhora no ajuste". Utilizou-se, para a análise, os dados do setor Jaçanã, no período compreendido entre 26-10-88 e 01-11-88.

Para esse período foram escolhidas diversas subsequências de extensões variáveis de 4 a 24 horas e iniciando-se em horas também variáveis. O objetivo dessa análise foi o de procurar determinar o grau do polinômio que melhor consegue se ajustar aos diversos segmentos de um hidrograma de consumo. A variação da hora inicial e da extensão da sequência visou avaliar o comportamento do modelo previsional, quando aplicado o partir das diversas horas do dia e com horizontes de previsão variáveis.

Para se ajustar um período diário, é suficiente um polinômio de grau 12. Para se ajustar períodos de 12 horas, é suficiente um polinômio de grau 7. Períodos menores, da ordem de 8 horas, necessitam um polinômio de grau 5. Períodos curtos, de cerca de 4 horas exigem polinômios de grau 2 a 3.

A listagem do programa de ajuste de polinômio a séries temporais encontra-se em anexo.

12.4 -Aplicação do Modelo de Previsão de Consumo Base- ado em Série de Taylor

A aplicação do modelo previsional polinomial foi aplicado também aos setores da Alça Leste do SAM. Para demonstrar a análise de sensibilidade efetuada e os resultados obtidos, são apresentados, a seguir, o estudo efetuado com os dados de consumos horários do setor Jaçanã, referentes ao período de 26-10-88 a 16-11-88.

O modelo polinomial contém alguns parâmetros que devem ser analisados. O primeiro é o grau do polinômio que proporciona bom ajuste aos dados observados. Pela análise anteriormente efetuada, escolheu-se polinômios com graus variando de 1 a 10. O segundo parâmetro refere-se ao número de intervalos de tempo que são agrupados em uma média móvel. Esse agrupamento visa eliminar flutuações de medidas ocasionadas por falhas de medição de consumo, bem como eliminar certas periodicidades de oscilação dos consumos. O terceiro parâmetro, denominado aqui por "faixa de tolerância", estabelece uma diferença máxima admissível entre o consumo calculado e a média referente à mesma hora e mesmo dia da semana dos consumos de quatro semanas imediatamente anteriores.

As figuras 12.15 a 12.18 mostram a variação do coeficiente de correlação (ao quadrado ou de determinação) entre consumos

ANALISE DA FAIXA DE TOLERANCIA **PREVISAO POLINOMIAL** **JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

GRAU 1 MEDIA MOVEL 1 h

FIGURA 12.15

ANALISE DA FAIXA DE TOLERANCIA **PREVISAO POLINOMIAL** **JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

GRAU 1 MEDIA MOVEL 22 h

FIGURA 12.16

ANALISE DA FAIXA DE TOLERANCIA PREVISAO POLINOMIAL JACANA 26-10-88 a 16-11-88

GRAU 7 MEDIA MOVEL 1 h

FIGURA 12.17

ANALISE DA FAIXA DE TOLERANCIA PREVISAO POLINOMIAL JACANA 26-10-88 a 16-11-88

GRAU 7 MEDIA MOVEL 22 h

FIGURA 12.18

calculados e observados em função do horizonte de previsão. Foram dispostas as curvas referentes a faixas de tolerância de 0%, 10%, 20% e 30%. Os quatro gráficos procuram mostrar que para graus de polinômio variando de 1 a 7 e com médias móveis de 1 a 23 horas, o comportamento dos coeficientes de correlação em relação à faixa de tolerância são análogos. As curvas relativas a faixas de 0% ou 10% são muito próximas entre si e relativamente diferenciadas das correspondentes às faixas de 20 e 30%. A faixa de 0% corresponde a se adotar um modelo em que o valor previsto é a média do consumo das quatro semanas anteriores referentes ao mesmo dia da semana e à mesma hora, corrigido em função dos consumos imediatamente anteriores. A proximidade da curva de 10% indica que os erros de previsão da ordem de 10% estão compatíveis com as variações de consumo de um dia em relação ao consumo de quatro semanas anteriores. Portanto, valores de desvios superiores a 10% podem ser considerados, em geral, como discrepâncias causadas pelo modelo previsional. Esta afirmativa é de caráter geral, não podendo ser imposta como inflexível, uma vez que o consumo de água apresenta uma componente aleatória muito significativa. Para confirmar a análise, a figura 12.19 mostra a curva de frequência acumulada dos erros de consumos acumulados em relação aos observados, para horizontes de previsão de 1 hora e de 6 horas. Vê-se que, também nestas curvas, valores de faixas superiores a 10% implicam em desvios significativos dos consumos calculados acumulados em relação aos observados.

Para se avaliar o efeito do grau do polinômio sobre a qualidade da previsão, fixou-se a faixa de tolerância em 0%. Nas

figuras 12.20 e 12.21, estão indicados os coeficientes de correlação (ao quadrado ou de determinação) em função do horizonte de previsão, para diversos graus do polinômio. Na figura 12.20, onde se utiliza uma média móvel de 1 hora, o efeito do grau do polinômio é mais significativo. Para horizontes de previsão de até 2 horas, os melhores resultados referem-se ao polinômio de grau 1. Para durações superiores a 2 horas, os melhores resultados são obtidos com o polinômio de grau 7. Quando se utiliza média móvel de 22 horas, obtém-se os melhores resultados para polinômios de grau 1, para horizontes de previsão de até 4 horas. Para horizontes maiores, os resultados variam muito pouco com a escolha do grau do polinômio. Em todos os casos, a variação do coeficiente de correlação é pequena, quando se amplia o horizonte de previsão (utilizando-se 22 horas de média móvel).

As figuras 12.22 e 12.23 parametrizam as curvas de coeficientes de correlação em função do horizonte de previsão para diversas médias móveis. O primeiro gráfico refere-se a um polinômio de grau 1 e faixa de tolerância de 0%. O segundo gráfico refere-se a um polinômio de grau 7 e faixa de tolerância de 0%. Em ambos, os melhores resultados, para horizontes de previsão de 1 ou 2 horas, são obtidos com médias móveis de 1 hora. Para horizontes de previsão superiores a 2 horas, o melhor resultado recai na média móvel de 22 horas.

A figura 12.24 apresenta os resultados do modelo previsio-
nal polinomial relativos às quatro combinações entre graus 1 e 7 e média móvel 1 e 23, com faixa de tolerância 0%. Para horizontes de previsão inferior ou igual a 2 horas, a melhor combi-

ANALISE DA FAIXA DE TOLERANCIA **PREVISAO POLINOMIAL** **JACANA -26-10-88 a 16-11-88**

FIGURA 12.19
 GRAU 1 MEDIA MOVEL 1 h

**ANALISE DE SENSIBILIDADE DO GRAU
PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

Faixa O% Media Movel 1 h

FIGURA 12.20

**ANALISE DE SENSIBILIDADE DO GRAU
PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

Faixa O% Media Movel 22 h

FIGURA 12.21

ANALISE DE SENSIBILIDADE DA MEDIA MOVEL
PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88

Grau 1 Faixa 0%

FIGURA 12.22

ANALISE DE SENSIBILIDADE DA MEDIA MOVEL
PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88

FIGURA 12.23

Grau 7 Faixa 0%

RESULTADOS DA PREVISAO POLINOMIAL JACANA 26-10-88 a 16-11-88

Faixa de Tolerancia 0%
FIGURA 12.24

PREVISAO POLINOMIAL **RESULTADOS PARA OS SETORES** **DA ALCA LESTE**

Grau 7 Media Movel 5 Faixa 0
FIGURA 12.25

PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 25/10/88 a 15/11/88
Polinomio Grau 7 Med Mov 23 Faixa 0

Desvios de Consumos Obs x Calc
 (para varios horizontes de previsao)
 FIGURA 12.26

nação é polinômio de grau 1 e média móvel 1. Para horizontes maiores, a melhor solução é grau 7 e média móvel 23. Esse tipo de resultado pode ser justificado pela hipótese de que os consumos de um horizonte futuro próximo ao da hora da previsão é muito influenciado pelas condições da hora atual (temperatura, umidade, etc), tendo pouca influência do comportamento do perfil de consumo de muitas horas anteriores. Por outro lado, para horizontes de previsão maiores, a influência do perfil de horas anteriores é maior, pois indica a tendência de um dia da semana ou de um dia especial de consumo, ao passo que o valor do consumo atual é apenas mais um elemento que vai alterar gradualmente um perfil de consumo que evolui hora a hora.

Para efeito de comparação de resultados, a figura 12.25 apresenta os coeficientes de correlação em função do horizonte de previsão, para os setores da Alça Leste, referentes ao período de 26-10-88 a 16-11-88.

A figura 12.26 mostra a variação dos erros entre consumos previstos e calculados, através do parâmetro que representa a soma do erro médio e de um desvio-padrão, em função das horas do dia. As diversas curvas são parametrizadas em termos de horizonte de previsão. Novamente, a exemplo do ajuste feito pelo modelo previsional harmônico, nota-se que o período da manhã, especialmente por volta das 9 horas, os erros de previsão são maiores, o que obriga a correções da previsão de consumo em intervalos menores.

As figuras 12.27 e 12.28 apresentam as curvas de frequên-

cias acumuladas dos desvios, em módulo, entre consumos acumulados previstos e observados, para diversos horizontes de previsão. A primeira figura corresponde ao polinômio de grau 1, média móvel 1 e faixa 0. A segunda corresponde ao polinômio de grau 7, média móvel 23 e faixa 0. Por estas figuras, pode-se definir, em função do risco aceito e do horizonte de previsão, qual é o desvio máximo esperado. (em módulo).

Em função da capacidade de adução e do volume de regularização do reservatório, pode-se admitir erros no período que venham a ser corrigidos na hora posterior a que o consumo real seja realizado. A equação 12.6 define o erro máximo admissível, função do volume do reservatório (expresso como fração do consumo médio diário) e do coeficiente de majoração da vazão média (K_1) que a adutora é capaz de conduzir.

As figuras 12.29 e 12.30 mostram os erros médios que devem ser corrigidos por hora, em função do horizonte de previsão e do risco aceitável. Nas mesmas figuras estão indicados os valores de K_1 que a adutora deve suportar para corrigir esses desvios. Assim, admitindo-se um risco de 10%, para horizontes de previsão de 1 ou 2 horas (modelo polinomial de grau 1), é necessário que a adutora permita um K_1 de 1,17. Para horizontes maiores de previsões (modelo polinomial de grau 7), a tendência é de que as correções decresçam ao longo do tempo (vide figura 12.30).

**FREQUENCIAS DOS DESVIOS ENTRE CONSUMOS
PREV. E OBS. - PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

Grau 1 Média Móvel 1 Faixa 0
FIGURA 12.27

**FREQUENCIAS DOS DESVIOS ENTRE CONSUMOS
PREV. E OBS. - PREVISAO POLINOMIAL
JACANA 26-10-88 a 16-11-88**

Grau 7 Média Móvel 23 Faixa 0
FIGURA 12.28

ERROS MEDIOS HORARIOS
DESVIOS CONSUMOS ACUM. CALC-OBS
 PREV. POLIN. JACANA 25-10-88 a 15-11-88

Grau 7 Media Movel 23 Falxa 0
 FIGURA 12.30

ERROS MEDIOS HORARIOS
DESVIOS CONSUMOS ACUM. CALC-OBS
 PREV. POLIN. JACANA 25-10-88 a 15-11-88

Grau 1 Media Movel 1 Falxa 0
 FIGURA 12.29

12.5 - Avaliação do Efeito da Previsão de Consumos na Operação de um Reserva- tório em Tempo Real

Além do confronto entre vazões de consumo calculadas e observadas, um outro modo alternativo de se avaliar a qualidade ou o benefício originado com o uso do modelo previsional consiste em aplicar a metodologia em uma simulação de operação de reservatórios em tempo real. Pode-se comparar os resultados da operação efetuada com o auxílio de um modelo previsional de consumos e com outra operação efetuada "sem previsão".

Na realidade, a situação "sem previsão" pressupõe a existência de um modelo intuitivo elementar, que estabelece uma referência de comparação com outros modelo mais bem elaborados.

Foi estabelecido, subjetivamente, que o modelo "sem previsão" consiste em admitir que as vazões de consumo dos intervalos futuros repitam os valores registrados no intervalo atual em que é efetuada a previsão.

Quando se opera um sistema de reservatórios interligados, a operação ótima deve procurar maximizar uma função objetivo pré-estabelecida para o sistema. Eventualmente, as operações ótimas dos reservatórios isolados não coincidem com a operação global ótima.

No trabalho de Ribeiro (1985) é proposto um algoritmo de otimização da operação de sistemas com múltiplos reservatórios. O escopo do presente trabalho é propiciar um algoritmo de previsão que possa ser utilizado em um modelo otimizador análogo ao que foi desenvolvido por Ribeiro (1985). Para avaliar o uso do modelo de previsão, procurou-se simplificar a simulação da operação em tempo real. Em primeiro lugar, analisa-se apenas a operação de um reservatório isolado. A função objetivo imposta foi a de que o reservatório utilize todo o volume útil disponível para regularização, minimizando-se pois as variações de vazão de adução ao reservatório. Essa uniformidade de adução procurada beneficia o controle do sistema, pois minimiza as variações de abertura das válvulas de controle aos reservatórios, reduz os efeitos de escoamentos transitórios na adutora, causados por variações de vazão, além de garantir melhor qualidade de tratamento da água na estação de tratamento.

Admitiu-se, por hipótese, que o volume útil do reservatório tenha capacidade de regularizar a vazão média de consumo do setor. Desta forma, a regra operacional a ser imposta consiste em fixar a vazão de adução como sendo a vazão média de consumo. Como os consumos variam ao longo dos dias, a vazão média de consumo foi fixada em função de um período móvel de 24 horas. Esse período é composto de duas partes. A primeira corresponde ao número de intervalos futuros em que se efetua a previsão (horizonte de previsão). A segunda parcela considera os consumos dos intervalos anteriores da hora atual de previsão, de forma a completar o período de 24 horas.

O modelo de simulação simplificado da operação de um reservatório único que foi desenvolvido impõe inicialmente como vazão de adução, a vazão média descrita anteriormente. A operação é efetuada em ciclos que podem ter durações de uma ou mais horas. O ciclo da operação impõe que as previsões e os ajustes de vazão de adução sejam feitos periodicamente nos intervalos múltiplos do ciclo. A cada ciclo de operação é efetuada a previsão de consumos, imposta a vazão de adução (média móvel das 24 horas de consumo) e calculado o volume armazenado no reservatório ao final do ciclo. Caso o volume final calculado seja maior que o volume máximo operacional ou menor que o volume mínimo operacional, então a vazão de adução é corrigida para que no final do ciclo o volume armazenado coincida com um dos valores limites.

Quando a vazão de adução é igual à média das 24 horas, definiu-se um "caso" de operação 0. Quando a vazão de adução é restringida, para que o armazenamento final não ultrapasse o nível máximo operacional, o "caso" foi definido como 1. Quando a vazão de adução é majorada para evitar o esvaziamento abaixo do nível mínimo operacional, o "caso" foi definido como 2.

O modelo avalia ainda o sucesso da operação ao final de cada ciclo de operação. A situação simulada é aquela em que se compara o volume final real com os limites operacionais. Caso o volume final real seja superior ao limite máximo operacional, atribui-se um valor 3 ao "caso", significando que o reservatório teria extravasado, caso não houvesse uma interferência na

vazão de adução durante o ciclo de operação. Caso o volume final real seja inferior ao limite mínimo operacional, o "caso" atribuído é 4.

Para exemplificar a análise, utilizou-se os dados de consumo do setor Jaçanã do período de 29-10-88 a 05-11-88. Utilizou-se um modelo previsional polinomial de grau 1, com média móvel de 1 hora e faixa de tolerância de desvio de 0%. Para comparação de resultados, utilizou-se o modelo de previsão que repete o consumo do intervalo atual para o intervalo seguinte.

No exemplo apresentado, o horizonte de previsão foi fixado em 12 horas e o ciclo de operação e previsão em 3 horas.

Os hidrogramas de consumo previsto e observados estão apresentados nas figuras 12.31 e 12.32, referente à situação "sem previsão" e com previsão polinomial, respectivamente. No primeiro caso, o hidrograma calculado resulta em uma defasagem em relação ao observado igual ao ciclo de operação (3 horas).

Nas figuras 12.33 e 12.34, apresentam-se os desvios entre cada um dos consumos previstos e observados referente a cada ciclo de operação. Os desvios estão expressos em porcentagem do volume do reservatório. No modelo sem previsão, os desvios seguem o comportamento do hidrograma de consumo e oscilam entre os valores de -20% a +57% do volume do reservatório, sendo que o segundo maior desvio é +40%. No modelo de previsão polinomial a variação dos desvios está na faixa -15% e +27%. A menos dos dois valores etremos, a oscilação se reduz para uma faixa entre

CONSUMOS OBSERVADOS E PREVISTOS **'SEM' MODELO PREVISIONAL** **JACANA 29-10-88 a 06-11-88**

FIGURA 12.31

CONSUMOS OBSERVADOS E PREVISTOS **PREVISAO POLINOMIAL** **JACANA 29-10-88 a 06-11-88**

— Consumo Real + Consumo Previsto

Grau 1 Media Movel 1 Faixa 0
 FIGURA 12.32

DIFERENCAS ENTRE CONSUMOS PREVISTOS E OBSERVADOS - "SEM" PREVISAO JACANA 29-10-88 a 06-11-88

FIGURA 12.33

DIFERENCAS ENTRE CONSUMOS PREVISTOS E OBSERVADOS -PREVISAO POLINOMIAL

JACANA 29-10-88 a 06-11-88

Grau 1 Media Movel 1 Faixa 0
FIGURA 12.34

VOLUMES ARMAZENADOS REAIS E PREVISTOS **"SEM" MODELO PREVISIONAL** **JACANA 29-10-88 a 06-11-88**

FIGURA 12.35

VOLUMES ARMAZENADOS REAIS E PREVISTOS

PREVISAO POLINOMIAL

JACANA 29-10-88 a 06-11-88

— Volume Previsto + Volume Real

Grau 1 Media Movel 1 Faixa 0
FIGURA 12.36

DIFERENCAS ENTRE VOLUMES PREVISTOS E OBSERVADOS - "SEM" PREVISAO JACANA 29-10-88 a 06-11-88

DIFERENCAS ENTRE VOLUMES PREVISTOS E OBSERVADOS - "SEM" PREVISAO JACANA 29-10-88 a 06-11-88

Volume Util = 8100 m³
FIGURA 12.37

DIFERENCAS ENTRE VOLUMES PREVISTOS E OBSERVADOS -PREVISAO POLINOMIAL JACANA 29-10-88 a 06-11-88

Tempo (horas)
Grau 1 Media Movel 1 Faixa 0
Volume Util = 8100 m3
FIGURA 12.38

VAZÕES DE ADUÇÃO - 'SEM' PREVISÃO **JACANA 29-10-88 a 06-11-88**

FIGURA 12.39

VAZÕES DE ADUÇÃO - PREVISÃO POLINOMIAL **JACANA 29-10-88 a 06-11-88**

— Vazão de Adução

Grau 1 Média Móvel 1 Faixa 0
 FIGURA 12.40

-11 e +11%.

As figuras 12.35 e 12.36 mostram a variação dos volumes armazenados ao longo do período da simulação, nos casos sem previsão e com previsão polinomial, respectivamente. Os desvios entre os volumes previstos ao final de cada ciclo de operação e os efetivamente realizados estão expressos em porcentagem do volume útil do reservatório, nas figuras 12.37 e 12.38. Com o uso do modelo previsional polinomial, os desvios situaram-se entre -10% e +10% do volume útil, e não apresentam tendência de afastamentos positivos ou negativos.

As vazões de adução ao reservatório foram muito mais uniformes quando se utilizou o modelo previsional, como pode ser visto nas figuras 12.39 e 12.40. O comportamento da variação das vazões de adução poderia ser mais uniforme, caso o modelo de simulação utilizasse regras mais refinadas. Entretanto, como o objetivo é comparar os resultados obtidos com e sem modelo previsional, esse aperfeiçoamento não se torna necessário.

13 - CONCLUSÕES

A breve discussão da estrutura necessária para a operação de um sistema de reservatórios de distribuição visou apresentar o grau de complexidade necessária em termos de recursos humanos, de tecnologia e de equipamentos para uma atividade que à primeira vista parece ser uma simples sequência de comandos.

O desenvolvimento de um trabalho na área de reservatórios de distribuição que procurasse contribuir para uma futura operação otimizada e até automatizada objetivou desencadear uma extensão de outros trabalhos que possam fazer com que os serviços de abastecimento de água de nosso país venham se equiparar tecnologicamente com países mais desenvolvidos.

Muitas vezes se subestima a importância de um refinamento na operação de sistemas de reservatórios de distribuição, face às pequenas dimensões dos reservatórios e das vazões aduzidas, quando comparadas com reservatórios de regularização ou de controle de cheias. Entretanto, se por um lado as dimensões individuais são menores, por outro o número de elementos do sistema é muito grande e suas interligações são muito complexas. Além disso, os tempos envolvidos em todo processo de operação são muito pequenos, da ordem de minutos ou de horas, exigindo uma operação com pequena inércia e atualização muito dinâmica.

Há algum tempo atrás, o valor da água para abastecimento

era de valor extremamente reduzido, quando comparado com seu uso para outros fins, como a geração de energia elétrica, por exemplo. Entretanto, nos grandes aglomerados urbanos, como na região metropolitana de São Paulo, onde o recurso é muito escasso, o valor da água está se tornando cada vez maior. Os crescentes custos de captação e adução da água bruta de mananciais nem sempre próximos aos centros de consumo, os custos de tratamento e adução da água tratada (através de adutoras de grande porte, que atrevessem região densamente construída), que envolvem gastos de energia consideráveis impõem a necessidade de uma operação eficiente e de custo reduzido. A confiabilidade do atendimento do abastecimento gera um custo indireto, representado pelas deficiências, que ocasionam redução das atividades produtivas (industriais, comerciais e de serviços) além do comprometimento do conforto individual e da não garantia da qualidade da saúde pública.

Uma operação otimizada busca reduzir esses custos, garantir a confiabilidade de atendimento exigida pela população, ao mesmo tempo que proporciona uma possibilidade de utilização máxima dos recursos disponíveis, com consequente adiamento de investimentos em novas estruturas.

O desenvolvimento da operação do sistema adutor metropolitano de São Paulo é uma tarefa contínua e que vem sendo conseguido gradualmente no tempo. A passagem de uma operação isolada para outra centralizada exigiu grandes recursos de investimento e de treinamento de pessoal. A operação centralizada atual já conta uma década e vem sendo desenvolvida, através de modifica-

ções de equipamentos e software do centro de controle, de instalação de medidores ao longo do sistema e através do desenvolvimento de equipes altamente especializadas na própria operação e nos serviços de apoio, planejamento e manutenção do sistema.

A próxima etapa consiste em alcançar uma operação otimizada, ao mesmo tempo em que se constrói novas estruturas de produção, adução e reservação para suprir o déficit atual. A contribuição do trabalho consiste em preparar as condições para a utilização de um modelo de otimização. Sabe-se, desde já, que esta tarefa demandará muito trabalho, no sentido de se conseguir um bom resultado, ao mesmo tempo em que se terá que implantar uma nova concepção de controle de operação entre a própria equipe responsável.

A operação automática programada é um estágio mais avançado, que poderá ser alcançada em um prazo maior, definido pela própria evolução de metodologias de controle e de equipamentos mais sofisticados e confiáveis.

A procura da otimização da operação em tempo real de um sistema de reservatórios exigirá, além do desenvolvimento do modelo otimizador, que se construa toda uma infra estrutura de apoio, de informação, de equipamento e de algoritmos de cálculo.

A fase de coleta de dados demonstrou a necessidade de um maior investimento na formação de um banco de dados confiável. O primeiro passo já foi dado, com a implantação, ora em desen-

volvimento no centro de controle operacional da SABESP, de um novo equipamento de hardware, associado a um novo software. Por outro lado, as medidas efetuadas nos reservatórios ainda precisam ser melhoradas, para se evitar valores espúrios que surgem nos registros. Da mesma forma, deve ser aumentada a garantia da transmissão correta dos dados entre os reservatórios e o computador do centro de controle. Atualmente, estas transmissões são efetuadas por linhas telefônicas. Quando ocorre uma ruptura dessa ligação, os dados são perdidos. É necessário que junto às estações remotas de telemetria, sejam implantados bancos de dados temporários, que possam armazenar as informações nos períodos de interrupção de ligação com o centro de controle, para então despachá-las quanto a ligação for refeita.

O conhecimento do sistema é condição indispensável para o sucesso de uma operação eficiente. Além da necessidade do conhecimento da morfologia da rede de adutoras e reservatórios, é necessário que se avalie periodicamente a evolução das condições de rugosidade das adutoras. Isso exige recursos humanos e financeiros de monta que devem ser considerados na busca da otimização da operação.

A definição da política de operação é algo peculiar de cada sistema. Na situação atual do sistema adutor metropolitano de São Paulo, em que há insuficiência de produção, adução e reservação, o objetivo a ser procurado é a minimização da falta d'água aos usuários, isto é, minimizar o número de esvaziamentos totais dos reservatórios. O objetivo é mutável com o tempo. Caso as insuficiências do sistema venham a ser superadas, muito

provavelmente, o novo objetivo passará a ser a redução do custo operacional, primordialmente ligado ao gasto de energia elétrica. O uso de modelos otimizadores, desenvolvidos para outros sistemas, devem ser avaliados do ponto de vista da oportunidade de sua aplicação para cada sistema analisado.

A evolução do perfil do consumo de cada setor no que diz respeito a magnitude das vazões e a sua variação no tempo tem sido muito rápida. A verticalização das construções e a implantação de grandes conjuntos habitacionais geram crescimento de consumo impossíveis de serem previstos por modelos clássicos de previsão estatística. Além disso, tem-se observado em alguns setores de abastecimento, uma mudança no perfil dos consumidores, em função do estabelecimento de centros comerciais em áreas antes residenciais. Os próprios limites do setor de abastecimento são dinâmicos. Em função do crescimento de moradias ou de insuficiência de redes de distribuição, muitas vezes, partes de um setor de abastecimento são transferidos para outro que possua melhor condição de atendimento. Toda vez que se implanta uma obra que beneficie um setor com consumo reprimido, há também um crescimento da demanda concentrado. Por esses motivos, a utilização de modelos previsionais baseados em estatística da série histórica de consumos de longo período (Figueiredo Ferraz, 1986) tendem a não ter sucesso na aplicação em tempo real. Seria exigido que se fizessem análises contínuas dos dados de todos os setores para se avaliar tendências de mudanças de comportamento dos hidrogramas de consumo.

A forma de controle operacional centralizada não automática

(SCADA) utilizada no sistema adutor metropolitano de São Paulo é a mais indicada em função do estado do conhecimento do sistema e dos equipamentos disponíveis. A passagem para uma operação automática programada (loop fechado, sem operador) deverá exigir ainda muito esforço de desenvolvimento. A implantação de um modelo previsional de consumo é uma pequena contribuição para essa evolução. Serão necessárias ainda a implantação de controladores lógicos programáveis, que possam efetuar operações locais com regras simplificadas, nas ocasiões de falta de contato entre o reservatório (ERT) e o centro de controle. A implantação do modelo de otimização será uma fase bastante árdua, na medida em que se deverá avaliar sua confiabilidade ao mesmo tempo em que sua função objetivo será questionada e alterada. A escolha entre um modelo de otimização clássico e um modelo baseado nos sistemas especialistas ("expert systems") será função da evolução desses últimos nos próximos anos. Por ora, apenas há conhecimento de um centro de pesquisa da empresa Lyonnaise des Eaux (Paris) que está investigando algo a ser aplicado a sistemas de distribuição de água.

A necessidade de uma maior automatização da operação do sistema adutor metropolitano se faz sentir à medida que o sistema está se tornando cada vez mais complexo e exigindo decisões de operação rápidas, pois sua capacidade está sendo utilizada no limite. Além disso, a automatização permitirá incorporar grande conhecimento armazenado pelos operadores experientes e transferi-los para os mais novos em menor prazo, permitindo um nível de confiabilidade da operação mais estável. Os custos das falhas operacionais estão se tornando ponderáveis, a ponto

de viabilizar investimentos no desenvolvimento de novas técnicas operacionais.

O porte dos equipamentos de controle e de transmissão de dados existentes no Centro de Controle Operacional da SABESP, muitas vezes, impressiona os responsáveis por sistemas menores e desencoraja a tentativa de automatização. Entretanto, para sistemas menores, há diversos exemplos citados na bibliografia, de cidades de diversos países, e também aqui no Brasil, em que se utilizaram processos mais simplificados, com grande eficiência.

A utilização de modelos de simulação do escoamento em redes de condutos forçados é essencial para a operação de um sistema de reservatórios de distribuição. A nível de planejamento da operação, são necessários para se avaliar o impacto de alterações de manobras isoladas sobre o restante do sistema. Na operação em tempo real, os modelos que analisam o escoamento em regime permanente serão ferramentas indispensáveis no processo de otimização das regras operacionais. Os modelos de simulação de regimes transitórios deverão ser incorporados na operação automática para garantir a segurança do sistema adutor contra efeitos de manobras bruscas no sistema.

A previsão de demanda na operação em tempo real de um sistema de abastecimento de água pode ser efetuada com horizontes de previsão variáveis, em função do propósito almejado. A nível de sistemas produtores de água, é necessário o conhecimento do consumo mensal, para o gerenciamento das reservas existentes

nos reservatórios. A previsão pode ser feita em escala semanal, quando se necessita avaliar medidas de racionamento da produção. Para as estações de tratamento, as previsões devem indicar o volume diário e a variação esperada ao longo do dia, para alterações programadas do processo de tratamento. Na operação do sistema de adução, a previsão deve ser feita em escala horária (ou menor) e com horizonte de previsão de algumas horas para avaliação do nível de armazenamento nos reservatórios de distribuição.

Davies (1945) desenvolveu um trabalho de previsão de demanda de energia, buscando um ajuste polinomial aos valores observados e uma correlação com fatores meteorológicos. Farmer e Potton (1968) desenvolveram um processo alternativo, decompondo a série em suas componentes de tendência de periodicidade e residual, através da decomposição espectral. O argumento contrário ao método de Davies (1945) era o de que para estimar a carga, analisando sua dependência com parâmetros meteorológicos, exigiria o desenvolvimento também de um modelo de previsão meteorológica. Entretanto, o consumo de água apresenta relações muito diversas com parâmetros meteorológicos, especialmente com a temperatura. Sua variação não é contínua com a temperatura, depende muitas vezes de valores extremos e outras vezes médios de temperatura, além de possuírem defasagens de crescimento em relação às variações de temperatura. A dependência do consumo comercial e industrial com a temperatura é bastante reduzida, o que implica em avaliar para cada setor o tipo de sua ocupação. A consideração da associação da temperatura com os consumos não deve, entretanto, ser totalmente evitada. No presente trabalho,

tal relação não foi abordada, mas incluiu-se os dados de temperatura de um setor representativo da área de estudo para trabalhos futuros de outros pesquisadores.

No trabalho de Perry (1981), a série de consumos foi dividida em uma componente periódica, ajustada por uma série de harmônicos e uma componente residual expressa por um modelo AR-MA. No estudo aqui desenvolvido procurou-se elaborar um modelo simples de atualização dinâmica das informações e que fornecesse resultados com precisões compatíveis com as exigências de uma operação em tempo real. Uma inovação imposta nos modelos previsionais aqui descritos foi a de substituir a obtenção dos coeficientes dos polinômios ou dos harmônicos através de análises de regressão dos dados de uma série histórica longa por um processo de auto-ajuste em função dos últimos valores observados. Assim, no modelo polinomial, que consiste basicamente em uma formulação do tipo ARIMA, com a vazão no instante de previsão sendo resultado de uma correlação linear múltipla com valores anteriores, substituiu-se a regressão, que exigiria uma série longa para a definição dos coeficientes, pela admissão da hipótese de um ajuste polinomial aos dados. Desta forma, os coeficientes foram obtidos através de um processo de diferenças finitas retardada ($f'(x) = (f(x) - f(x-Dx))/Dx$), onde os coeficientes são função apenas do grau do polinômio ajustado. No modelo previsional harmônico, os coeficientes são obtidos a cada intervalo de previsão, ajustando-se uma série de harmônicos à série composta pelos dados de uma semana móvel anterior à hora da previsão.

A componente residual da previsão do consumo não foi considerada, admitindo-se que os desvios operacionais causados por erros na previsão de consumo possam ser corrigidos à cada intervalo de operação.

Os dois modelos alternativos desenvolvidos no presente estudo são viáveis para aplicação em tempo real. O modelo polinomial, de forma geral, resultou em menores erros de previsão que o modelo harmônico. O modelo polinomial exige a disponibilidade do registro dos dados de consumo de quatro semanas anteriores à hora da previsão. Caso haja alguma falha no registro, o valor pode ser substituído pelo respectivo valor da semana anterior. O modelo harmônico exige o conhecimento dos dados referentes a uma semana anterior à hora da previsão.

O ajuste do modelo polinomial indicou que um polinômio de grau 7 consegue representar razoavelmente os segmentos dos hidrogramas de consumo.

O ajuste do modelo harmônico aos dados de consumo de um período semanal foi obtido com um número de 21 harmônicos. Este limite permite uma concordância aceitável entre valores observados e calculados. O ganho de precisão do ajuste a partir de 21 harmônicos é bastante reduzido.

Para previsões de 1 ou 2 horas, o melhor ajuste do modelo polinomial foi obtido para grau 1 com média móvel 1. Para horizontes de previsão maiores, a melhor solução foi obtida com grau 7 e média móvel de 23 horas. No modelo harmônico, a me-

lhor solução foi obtida com 21 harmônicos e 5 horas de base.

A análise de sensibilidade da faixa de tolerância dos desvios do modelo previsional indicou que as diferenças de um valor de consumo de uma dada hora (corrigido em função da relação entre os consumos dos intervalos anteriores e da média do mês anterior), e o valor médio das quatro semanas anteriores oscila em uma faixa de 10% do volume do reservatório, para o caso do setor Jaçanã. Portanto, desvios inferiores a 10% não podem ser atribuídos ao modelo previsional e sim a diferenças aleatórias de consumo. A adoção de uma faixa de tolerância de 0% significa abandonar o valor previsto pelo modelo polinomial e substituí-lo pela média dos quatro valores de semanas anteriores correspondentes ao mesmo dia da semana e à mesma hora, corrigida em função do parâmetro alfa. Esse modelo é bastante simples e, no caso do setor Jaçanã, apresentou os melhores resultados.

Os coeficientes de correlação obtidos na regressão entre valores previstos e observados sofrem uma variação em função do horizonte de previsão, que é pequena no modelo previsional e que é significativa no modelo harmônico. Neste segundo, para horizontes superiores a 6 horas, o valor tende a se estabilizar em um patamar inferior aos valores obtidos para 1 hora.

Em relação aos valores dos desvios dos consumos acumulados calculados e observados, o modelo harmônico apresentou qualidade muito próxima do modelo polinomial, embora esse apresente sempre um resultado ligeiramente melhor.

O ciclo de previsão deve ser variável ao longo do dia, pois no período da manhã, principalmente por volta das 8 ou 9 horas, os erros de previsão são maiores. Isto pode ser explicado por duas razões. Primeiro, porque neste horário, há uma mudança brusca no perfil do consumo, pois o consumo da madrugada é bastante estável, enquanto o consumo do período da manhã é fortemente crescente, com taxas de crescimento muito variáveis. Em segundo lugar, porque previsões superiores a 3 horas indicam a previsão em horas que ultrapassam o pico de consumo que ocorre por volta das 12 ou 13 horas. Como os modelos previsionais têm uma certa inércia para identificar essa mudança do perfil de consumo, que passa então a decrescer, os erros nestes períodos tendem a ser maiores.

Em função da capacidade da adutora e do volume de regularização disponível no reservatório, podem ser tolerados erros variáveis dos desvios de previsão, com mesmos riscos de falhas operacionais. No caso do setor Jaçanã, caso a adutora suportasse uma vazão 20% superior à média (valor de projeto), as previsões iriam resultar em desvios possíveis de serem corrigidos em cerca de 95% dos casos. Esse valor, como já foi mencionado no capítulo anterior, é conservativo, pois os erros de previsão foram considerados em módulo, o que implicam em uma situação mais desfavorável em termos de vazão de adução.

A utilização do modelo previsional em uma simulação de um reservatório isolado em tempo real mostrou o benefício resultante no que diz respeito à confiabilidade da operação e melhoria das condições de adução. As diferenças obtidas entre os ar-

mazenamentos previstos e os realizados ao final de um ciclo de operação (no exemplo, adotado de 3 horas) no caso estudado ficaram contidas em uma faixa de 10% do volume útil do reservatório. Esse valor proporciona um indicador para o operador, de que oscilações no armazenamento real em relação ao previsto superiores a esse valor, representam alguma anormalidade, quer seja do modelo previsional, quer seja da condição de adução do sistema. As flutuações das vazões de adução em relação à média de consumo não ultrapassa 20%, na grande maioria do período simulado. Isso representa um menor número de manobras da válvula de controle, portanto uma operação mais simples e segura, além de aumentar a vida útil da válvula. Além disso, variações menores de vazão de adução proporcionam efeitos menos desfavoráveis de escoamentos transitórios na adutora. Em sistemas aduzidos através de estações elevatórias, a uniformidade da vazão de adução permite uma operação da elevatória próxima de seu ponto de trabalho ótimo, com a consequente redução dos gastos de energia.

Os resultados dos modelos previsionais apresentados indicam que representam uma ferramenta importante no auxílio de uma operação em tempo real. Entretanto os valores previstos não serão jamais a igualdade do fenômeno real. Tornou-se evidente, das análises efetuadas, que os desvios entre valores calculados e reais, fazem parte do processo de correção dinâmica de operação em tempo real. Das curvas de frequência de desvios apresentadas, depreende-se que sempre haverá o risco de uma falha de operação, mesmo com a existência do modelo previsor. Esses casos críticos não significam, todavia, que haverá consequência

grave em função desses desvios anormais. Na maior parte dos casos, significará a necessidade de atuação do operador no decorrer de um ciclo de operação a intervalos menores que o habitual.

A necessidade de incorporar novas considerações no modelo previsional será fruto de sua aplicação experimental a parte do sistema adutor metropolitano de São Paulo. Somente após a sua consolidação e o crédito por parte dos operadores nos valores previstos, é que se poderá expandir sua aplicação para todo o sistema de reservatórios.

Na fase inicial de implantação do modelo, o ciclo de operação deve ser reduzido o máximo possível, para que eventuais discrepâncias nos resultados das previsões não venham a comprometer o sucesso da operação. O modelo previsional poderá ser composto de algoritmos que utilizem polinômios de graus e médias móveis diferentes em função dos horizontes de previsão desejados.

O modelo previsional harmônico, embora tenha produzido resultados de precisão inferior ao modelo polinomial, deve ter sua utilização considerada baseada em três razões. Em primeiro lugar, pode servir de modelo alternativo, quando por falhas de medição ou de arquivo, não se disponha dos valores de consumos de um mês anterior, uma vez que necessita apenas dos dados de uma semana. Uma segunda utilidade do modelo previsional harmônico consiste em servir de censor do modelo polinomial. Como foi visto anteriormente, os resultados obtidos pelos dois mode-

los não são muito discrepantes. Uma terceira alegação baseia-se na possibilidade de desenvolvimento de um modelo híbrido, em que se utilize o ajuste por harmônicos para representar a característica cíclica dos consumos e o ajuste polinomial servindo de complemento para representar os valores residuais (diferenças entre a série observada e o harmônico).

O objetivo do presente trabalho em aproveitar uma experiência do autor na área de operação e contribuir com um resultado prático foi atingido. Os modelos previsionais proporcionarão aos operadores uma orientação valiosa para a garantia de uma operação mais segura e eficiente.

O trabalho desenvolvido teve um caráter de inovação, e por este fato deverá ser evoluído e refinado.

A possibilidade de aplicação prática dos métodos aqui desenvolvidos permitirá aprimoramentos futuros por parte do autor e certamente por contribuições de outros pesquisadores.

14 - BIBLIOGRAFIA

- [01] Alonso, L.R., Controle e Desenvolvimento Operacional - Ações da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, Revista DAE, vol. 46, nº 146, Setembro, 1986, pp. 271-280.
- [02] Baumann, D.D. and Crews, J.E., Forecasting Demand for Urban Water, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 917-925.
- [03] Bevington, P.R., Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, 1969, Mc Graw Hill, 336 p.
- [04] Bhawe, P.R., Calibrating Water Distribution Network Models, Journal of Environmental Engineering, ASCE, vol 114., nº 1, February, 1988, pp. 120-136.
- [05] Bhawe, P.R., Extended Period Simulation of Water Systems - Direct Solution, Journal of Environmental Engineering, ASCE, vol. 114, nº 5, october, 1988 pp. 1146-1159.
- [06] Boland, J.J., Forecasting Water Use: A Tutorial, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 907-916.
- [07] Can, E.K. and Houck, M.H., Problems With Modelling Real-Time Reservoir Operations, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 111, nº 4, october, 1985, pp. 367-381.
- [08] Caves, J.L. and Earl, T.C., Computer Applications: A Tool for Water Distribution Engineering, Journal of the American Water Works Association, May, 1979, pp. 230-235.
- [09] Chiplunkar, A.V. Mehndiratta, S.L. and Khanna, P., Looped Water Distribution System Optimization for Single Loading, Journal of the Environmental Engineering, ASCE, vol. 112, nº 2, April, 1986, pp. 264-279.
- [10] Cosgriff, G.O. et al. Interactive Computer Modelling, Monitoring and Control of Melbourne's Water Supply System, Water Resources Research, vol. 21, nº 2, February, 1985, pp. 123-129.
- [11] Cronauer, J.A. and Gidley, J.S., Time Series Analysis of Hourly Domestic Water Demand, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y.,

1985, pp. 391-400.

- [12] Darr, P., Forecasting Models for Determining Peak Water Consumption, Proceedings of the International Water Works Association Congress, Rio de Janeiro, 1988, pp. 551-9 a 551-10.
- [13] Davies, M., The Relationship Between Weather and Electricity Demand, The Institution of Electrical Engineers Monograph, n° 314 5, October, 1958, pp. 27-37.
- [14] Davis, A.L. and Jeppson, R.W., Developing a Computer Program for Distribution System Analysis, Journal of the American Water Works Association, May, 1979, pp. 236-241.
- [15] Farmer, E.D. and Potton. M.J., Development of Online Load-Production Techniques With Results From Trials in The South-West Region of the CEGB, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. 115, n° 10, October, 1968, pp. 1549-1558.
- [16] Fenves, S.J. - What is an Expert System - Proceedings of a Symposium Sponsored by the Technical Council on Computer Practices of the American Society of Civil Engineers. Seattle, Washington, 1986, 6 p.
- [17] Firth, L.G. and Bird, D.B., Operating Experience With a Computer Based Control System. pp. 137-142.
- [18] Gessler, J., Pipe Network Optimization by Enumeration, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 572-581.
- [19] Hall, G.C. and Ortolano, L. Modelling Water Distribution in Santa Clara County, California, Journal of the American Water Works Association, May, 1970, pp. 242-247.
- [20] Hamberg, D. and Shamir, U., Schematic Models for Distribution System Design. I: Combination Concept, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol 114, n° 2, March, 1988, pp. 129-140.
- [21] Hamberg, D. and Shamir, U. Schematic Models for Distribution Systems Design. II: Continuum Approach, Journal of the Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 114, n° 2, March, 1988, pp. 141-162.

- [22] Hills, B., Water/Wastewater Facilities Get Better With Electronics, Water/Engineering & Management, June, 1988, pp. 34, 40, 41.
- [23] Hu, M.S., Statistics and Water Demand Forecasts in Hong-Kong, Proceedings of the International Water Works Association Congress, Rio de Janeiro, 1988, pp. 551-7 a 551-9.
- [24] Jeppson, R.W., Practical Optimization of Looped Water Systems, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 723-731.
- [25] Jugend, D. Controle de Processos - vol. 1, editado pela Associação Brasileira de Administração e Conservação de Energia.
- [26] Kaplan, W., Cálculo Avançado, Volumes I e II, 1972, Edgard Blucher.
- [27] Kostem, C.N. and Maher, M.L. - Expert Systems in Civil Engineering - ASCE, 1986, 248p.
- [28] Lansey K. and Mays, L., A Methodology for Optimal Network Design, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 732-738.
- [29] Lyonnaise des Eaux - Catálogo - 1988
- [30] Mathewman, B.A. and Nicholson, H., Techniques for Load Prediction in the Electricity Supply Industry, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. 115, n° 10, October, 1968, pp. 1451-1457.
- [31] Merlo, G., Statistics for Water Demand Forecasts, Proceedings of the IWWA Congress, Rio de Janeiro, 1988, pp. 551-1 a 551-7.
- [32] Morgan, D.R. and Goulter, I.C., Optimal Urban Water Distribution Design, Water Resources Research, vol. 21, n° 5, May, 1985, pp. 642-652.
- [33] Nvule, D.N. and Maidment, D.R., Water Use Forecasting and Evaluating the Effects of Conservation Measures, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C.

Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 401-411.

- [34] Onizuka, K., Systems Dynamics Approach to Pipe Network Analysis, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, vol. 112, n° 8, August, 1986, pp. 728-749.
- [35] Ormsbee, L. E., OPNET: A Nonlinear Desing Algorithm for Hydraulic Networks, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y. 1985, pp. 739-748.
- [36] Ormsbee, L.E. and Wood, D.J., Explicit Pipe Network Calibration, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 112, n° 2, April, 1986, pp 166-182.
- [37] Perry, P.F. - Demand Forecasting in Water Supply Networks, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 107, n° HY9, September, 1981, pp. 1077-1087.
- [38] Porto, R.L.L., Previsão Hidrológica de Curto Prazo, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 1984, 122p.
- [39] Quindry, G.E., Brill, E.D. and Liebman, J.C. Optimization of Looped Water Distribution Systems, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, vol. 107, n° EE4, August, 1981, pp. 665-679.
- [40] Ribeiro, C.R. Controle de Escoamentos em Instalações de Conduitos Forçados, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 1985.
- [41] SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda. Modelo Previsional da Otimização do SCOA, vol. I- Introdução, 1986, 15p.
- [42] Salvetti, D.D., Tópicos de Cálculo Numérico, S.B.C., FLA, 1982, 409 p.
- [43] ---, SCADA System Manages City's Water and Wastewater Facilities, Water/ Engineering and Management, May, 1987, pp. 25-26.
- [44] Shamir, U. - Computer Applications for Real-Time Operation of Water Distribution Systems - Computer Applications in Water Resources, edited by Harry C. Torno. Proceedings of the Specialty Conference, sponsored by ASCE,

Water Resources Planning and Management Division, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 379-390.

- [45] Shawcross, J.F., Modelling Complex Water Distribution Systems, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 438-447.
- [46] Takagi, T., Shinomiya, F. and Miyaoka, S., Distribution Network Control for Water Supply System. Hitachi Review, vol. 32, n° 5, 1983, pp. 259-264.
- [47] Tanner, T.L., Adapting a Pipe Network Analysis Computer Program. Computer Application in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., pp. 430-437.
- [48] Tardelli, J.F., Aspectos Gerais Relativos a um Centro de Controle Operacional de um Sistema de Abastecimento de Água. Relatório apresentado à organização Pan-Americana de Saúde (OPS) e ao Serviço Nacional de Abastecimento de Água Potável do Peru (SENAPA), 1987, 38P.
- [49] Young, G.K., Kilgore, R.T. and Saunders, K.G., Practical Water Demand Forecasting - Computer Application in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 927-933.
- [50] Walsky, T.M., Technique for Calibrating Network Models, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 109, n° 4, October, 1983, pp 360-372.
- [51] Walski, T.M., State of the Art of Pipe Network Optimization, Computer Applications in Water Resources, edited by H.C. Torno, Buffalo, N.Y., 1985, pp. 559-571.
- [52] Walsky, T.M., Case Study: Pipe Network Model Calibration Issues, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 112, n° 2, April, 1986, pp. 238-249.
- [53] Walsky, T.M., et al., Battle of the Network Models: Epilogue, Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE, vol. 113, n° 2, March, 1987, pp. 191-203.
- [54] Williams, M.F. and Coulbeck, B. - Dynamic Modelling and Control Optimization in the Development of the Wolverhampton Water Supply and Distribution System, Water Pollution Control, vol. 85, 1987, n° 2, pp. 272-291.

- A N E X O S -

48 p.

tua correlação entre valores calculados e observados.

[12] AJUSTE.BAS - Efetua ajuste do polinômios de graus variáveis a uma série de dados, através do método dos mínimos quadrados. Analisa a eficiência do crescimento do grau em função da correlação entre valores calculados e observados.

[13] PREVIS10.BAS - Modelo de previsão polinomial. Avalia os desvios entre consumos previstos e observados e efetua curva de frequência dos desvios dos consumos acumulados.

[14] PREVIS11.BAS - Modelo de previsão harmônica. Avalia os desvios entre consumos previstos e observados e efetua curva de frequência dos desvios dos consumos acumulados.

05-29-89 03:53:34 \ROBERTO\DIGITA.BAT
Fri 09-14-90 14:02:49

Pg 1
of 1
1-23

```
1      ECHO OFF
2      CLS
3      CD\PORTELA
4      CLS
5      ECHO .
6      ECHO .
7      ECHO .
8      ECHO .
9      ECHO *****
10     ECHO *
11     ECHO *   INSIRA O DISCO NO DRIVE A   *
12     ECHO *
13     ECHO * QUANDO PRONTO TECLE ENTER    *
14     ECHO *
15     ECHO *****
16     PAUSE
17     PREV
18     COPY C:*.DBF A:
19     CLS
20     ECHO .
21     ECHO .
22     ECHO .
23     ECHO ****  RETIRE O SEU DISQUETE  ****
```

```
1      SET BELL OFF
2      SET DATE BRIT
3      SET TALK OFF
4      SET SAFETY OFF
5      * DECLARE Y[24]
6      EST=0
7      CLEAR
8      DO MENU1
9      FLAG=0
10     1  DO WHILE FLAG=0
11         1  FLAG=1
12         2  DO CASE
13             2  CASE EST =7
14                 2  ARQ= "JACANA"
15             2  CASE EST=8
16                 2  ARQ = "EDU"
17             2  CASE EST=10
18                 2  ARQ = "MEDEIROS"
19             2  CASE EST =11
20                 2  ARQ = "MARIA"
21             2  CASE EST =14
22                 2  ARQ = "PENHA"
23             2  CASE EST=17
24                 2  ARQ = "CANGA"
25             2  CASE EST=19
26                 2  ARQ = "POPULAR"
27             2  CASE EST =21
28                 2  ARQ = "ERMELINDO"
29             2  CASE EST=23
30                 2  ARQ = "MIGUEL"
31             2  CASE EST=30
32                 2  ARQ = "ARACA"
33             2  CASE EST=98
34                 2  ARQ = "GOPOUVA"
35             2  OTHERWISE
36                 2  FLAG=0
37         1  ENDCASE
38     ENDDO
39     USE &ARQ
40     * DETERMINACAO DO DIA INICIAL
41     CLEAR
42     @ 0,0 TO 23,79 DOUBLE
43     @ 18,1 TO 22,78 DOUBLE
44     OPT=" "
45     1  DO WHILE OPT = " "
46         1  @ 19,2 CLEAR TO 21,77
47         1  @ 20,3 SAY " [C]riar arquivo [A]
48             1  crescentar dados " GET OPT
49             1  READ
50             1  OPT=UPPER(OPT)
51             2  IF OPT # "A" .AND. OPT # "C"
52                 2  OPT=" "
53             1  ENDIF
54     ENDDO
54     INITDAT =CTOD(" / / ")
```

```
55 1      IF OPT = "C"
56 1          @ 19,2 CLEAR TO 21,77
57 1          @ 20,3 SAY "Entre com a data inicial(dd/mm/aa)"
           GET initdat
58 1      READ
59 1      ENDIF
60 1      IF OPT= "A"
61 1          GO BOTTOM
62 1          STORE DIA TO INITDAT
63 1          INITDAT=INITDAT+1
64 1      ENDIF
65 1      *
66 1      * LEITURA E GRAVACAO DOS CONSUMOS
67 1      *
68 1      *
69 1      OPCA0= "P"
70 1      DO WHILE OPCA0 ="P"
71 1          J=1
72 2          DO WHILE J <= 24
73 2              YY='Y'+LTRIM(STR(J))
74 2              &YY=0
75 2              J=J+1
76 1          ENDDO
77 1          DO VAZAO
78 1          APPE BLANK
79 1          REPLA DIA WITH INITDAT
80 1          I=1
81 2          DO WHILE I <= 24
82 2              YY="Y"+LTRIM(STR(I))
83 2              CONS='Q'+LTRIM(STR(I))
84 2              REPLACE &CONS WITH &YY
85 2              I=I+1
86 1          ENDDO
87 1          INITDAT=INITDAT+1
88 1          * IF DAY(INITDAT) =01
89 1          * @ 22,1 SAY REPLICATE(" ",75)
90 1          * @ 22,1 SAY "Aguarde. Estou gravando dados"
91 1          * X=ARQ +'.DBF'
92 1          * !COPY &X A:
93 1          * @ 22,1 say replicate (" ",75)
94 1          * ENDIF
95 1      ENDDO
96 1      USE
```

```
1      @ 1,0 TO 19,79 DOUBLE
2      @ 20,0 TO 23,79 DOUBLE
3      @ 5,1 SAY "          ( 7) JACANA
      (19) JARDIM POPULAR"
4      @ 7,1 SAY "          ( 8) EDU CHAVES
      (21) ERMELINO MATARAZZO"
5      @ 9,1 SAY "          (10) VILA MEDEIROS
      (23) SAO MIGUEL"
6      @ 11,1 SAY "         (11) VILA MARIA
      (30) ARACA"
7      @ 13,1 SAY "         (14) PENHA
      (98) GOPOUVA"
8      @ 15,1 SAY "         (17) CANGAIBA"
9      EST1= " "
10     @ 21,3 SAY "      Entre com a estacao desejada : "
      GET EST1
11     READ
12     EST=VAL(EST1)
```


Seguem no anexo, as listagens dos programas desenvolvidos. Os programas com extensão ".BAS" estão escritos em BASIC e aqueles com extensão ".PRG" estão escritos em DBASE.

O disquete anexo contém os programas e os arquivos de dados de consumo e temperatura. Para restaurar os arquivos do disquete, basta inseri-lo em um microcomputador com espaço disponível de 600 Kbytes em disco rígido e digitar RESTAURA C. Será criado automaticamente um subdiretório no drive C denominado C:\TESE e os arquivos do disquete serão descompactados e copiados para esse diretório.

A seguir estão descritos os programas contidos no anexo e no disquete e sua aplicação:

- [1] DIGITA.BAT - Programa de acesso para digitação dos dados
- [2] DIGITA.PRG - Programa utilizado para digitar os dados de consumo e temperatura da Alça Leste.
- [3] MENU1.PRG - Subrotina do programa DIGITA que apresenta na tela os setores da Alça Leste.
- [4] VAZÃO.PRG - Subrotina do programa DIGITA que monta a tela para a introdução dos dados de consumo.
- [5] CONSISTE.PRG - Efetiva consistência dos dados de consumo.

Marca com um "*" os valores fora da faixa de 0,3 a 1,7 vezes a vazão média da hora.

- [6] DEPURA.PRG - Efetua depuração dos dados após sua consistência. Valores fora da faixa de dois desvios-padrão em relação à média de hora são interpolados linearmente entre valores adjacentes. Caso estes sejam inválidos ou inexistentes, o valor é substituído por -1.
- [7] COPIA.PRG - Transforma um arquivo criado em DBASE para um arquivo texto.
- [8] CONVERTE.BAS - Converte um arquivo de dados "texto" para um arquivo randômico. A primeira linha contém o número de registros. As demais contém a data (8 bytes) e os 24 valores horários (4 bytes).
- [9] READ.BAS - Programa para ler o conteúdo dos arquivos randômicos.
- [10] COMPLETA.BAS - Programa que substitui os dados de um dia com falhas por outro correspondente de semanas anteriores (a primeira com dados completos).
- [11] HARMONIA.BAS - Ajuste de harmônicos a uma série temporal. Obtém os coeficientes dos harmônicos e efe-

```
1      CLEAR
2      @ 0,0 TO 20,79 DOUBLE
3      @ 21,0 TO 23,79 DOUBLE
4      @ 3,8 SAY "Estacao : "
5      @ 3,19 SAY EST PICT "##"
6      @ 3,22 SAY ARQ
7      @ 3,45 SAY "Dia: "
8      @ 3,50 SAY initdat
9      @ 5,1 SAY "          HORA      CONSUMO
          HORA      CONSUMO"
10     @ 7,1 SAY "          01"
11     @ 7,44 SAY "13"
12     @ 8,1 SAY "          02"
13     @ 8,44 SAY "14"
14     @ 9,1 SAY "          03"
15     @ 9,44 SAY "15"
16     @ 10,1 SAY "          04"
17     @ 10,44 SAY "16"
18     @ 11,1 SAY "          05"
19     @ 11,44 SAY "17"
20     @ 12,1 SAY "          06"
21     @ 12,44 SAY "18"
22     @ 13,1 SAY "          07"
23     @ 13,44 SAY "19"
24     @ 14,1 SAY "          08"
25     @ 14,44 SAY "20"
26     @ 15,1 SAY "          09"
27     @ 15,44 SAY "21"
28     @ 16,1 SAY "          10"
29     @ 16,44 SAY "22"
30     @ 17,1 SAY "          11"
31     @ 17,44 SAY "23"
32     @ 18,1 SAY "          12"
33     @ 18,44 SAY "00"
34     @ 7,18 GET Y1 PICT "99999"
35     @ 8,18 GET Y2 PICT "99999"
36     @ 9,18 GET Y3 PICT "99999"
37     @ 10,18 GET Y4 PICT "99999"
38     @ 11,18 GET Y5 PICT "99999"
39     @ 12,18 GET Y6 PICT "99999"
40     @ 13,18 GET Y7 PICT "99999"
41     @ 14,18 GET Y8 PICT "99999"
42     @ 15,18 GET Y9 PICT "99999"
43     @ 16,18 GET Y10 PICT "99999"
44     @ 17,18 GET Y11 PICT "99999"
45     @ 18,18 GET Y12 PICT "99999"
46     @ 7,52 GET Y13 PICT "99999"
47     @ 8,52 GET Y14 PICT "99999"
48     @ 9,52 GET Y15 PICT "99999"
49     @ 10,52 GET Y16 PICT "99999"
50     @ 11,52 GET Y17 PICT "99999"
51     @ 12,52 GET Y18 PICT "99999"
52     @ 13,52 GET Y19 PICT "99999"
53     @ 14,52 GET Y20 PICT "99999"
54     @ 15,52 GET Y21 PICT "99999"
```

```
55      @ 16,52 GET Y22 PICT "99999"
56      @ 17,52 GET Y23 PICT "99999"
57      @ 18,52 GET Y24 PICT "99999"
58      READ
59      FLAG1=' '
60      OPCA0 = " "
61  1      DO WHILE FLAG1=' '
62  1          @ 22,1 SAY "                [F]inalizar
              [C]orrigir      [P]rosseguir " GET OPCA0
63  1          READ
64  1          FLAG1='1'
65  2          IF UPPER(OPCA0) # "F".AND. UPPER(OPCA0) #
              'C'.AND.UPPER(OPCA0)# "P"
66  2              FLAG1=' '
67  2              OPCAO=' '
68  1          ENDIF
69  2          IF UPPER(OPCA0)= "C"
70  2              HOR=" "
71  2              @ 22,1 SAY REPLICATE (" ",78)
72  2              @ 22,3 SAY " Hora a Corrigir ? : " GET HOR
73  2              READ
74  2              @ 22,1 SAY REPLICATE (" ",78)
75  2              HORA = VAL (HOR)
76  3              IF HORA <= 12
77  3                  LINHA = HORA + 6
78  3                  COLUN= 18
79  2              ENDIF
80  3              IF HORA > 12
81  3                  LINHA = HORA -12 +6
82  3                  COLUN = 52
83  2              ENDIF
84  2              YY ="Y"+LTRIM(HOR)
85  2              @ LINHA,COLUN GET &YY PICT "99999"
86  2              READ
87  2              FLAG1=" "
88  2              OPCA0 =" "
89  1          ENDIF
90      ENDDO
```

```
1      SET DATE BRIT
2      SET BELL OFF
3      SET SAFETY OFF
4      SET TALK OFF
5      SET DEVICE TO SCREEN
6      CLEAR
7      ARQ = "      "
8      @ 18,0 TO 23,79 DOUBLE
9      @ 20,1 SAY "Entre com nome do arquivo :" GET ARQ
10     READ
11     USE &ARQ
12     I=1
13     1 DO WHILE I <=24
14     1     ALFAQ= "Q"+LTRIM(STR(I))
15     1     ALFAM= "M"+LTRIM(STR(I))
16     1     AVERA(&ALFAQ) FOR &ALFAQ >0    TO &ALFAM
17     1     I =I + 1
18     1     @ 10,5 SAY I
19     ENDDO
20     TIT="REG      DIA      Q1      Q2      Q3      Q4      Q5
      Q6      Q7      Q8      Q9      Q10     Q11     Q12     Q13
      Q14     Q15     Q16     Q17     Q18     Q19     Q20     Q21
      Q22     Q23     Q24  "
21     LIN=1
22     GO TOP
23     SET DEVICE TO PRINT
24     SET PRINT ON
25     ? CHR(15)
26     SET PRINT OFF
27     1 DO WHILE .NOT. EOF()
28     2     IF LIN = 1
29     2         EJECT
30     2         @ LIN,20 SAY "SETOR :"
31     2         @ LIN,27 SAY ARQ
32     2         @ LIN+2,1 SAY TIT
33     2         LIN = LIN +4
34     1     ENDIF
35     1     I=1
36     2     DO WHILE I <=24
37     2         ALFAQ = "Q"+LTRIM(STR(I))
38     2         ALFAM = "M"+LTRIM(STR(I))
39     2         ALFAE = "A"+LTRIM(STR(I))
40     2         &ALFAE = " "
41     3         IF &ALFAQ < 0.3* &ALFAM .OR. &ALFAQ > 1.7*
42     3             &ALFAM
43     3             &ALFAE = "*"
44     2         ENDIF
45     2         I= I+1
46     1     ENDDO
47     1     @ LIN,1 SAY RECNO() PICTURE "###"
48     1     @ LIN,5 SAY DIA
49     1     J=1
50     1     ALFM=" "
51     1     ALFT=" "
51     2     DO WHILE J <=24
```

```
52 2      ALFAQ= "Q"+LTRIM(STR(J))
53 2      ALFAE = "A"+LTRIM(STR(J))
54 2      ALFAM="M"+LTRIM(STR(J))
55 2      ALFM=ALFM+STR(&ALFAM,4)+" "
56 2      ALFT =ALFT + STR(&ALFAQ,4) + &ALFAE +" "
57 2      J=J+1
58 1      ENDDO
59 1      @ LIN,14 SAY ALFT
60 1      LIN = LIN +1
61 2      IF LIN = 50
62 2      LIN =1
63 1      ENDIF
64 1      SKIP
65 1      ENDDO
66 1      @ LIN,1 SAY "MEDIAS"
67 1      @ LIN,14 SAY ALFM
68 1      EJECT
69 1      SET DEVICE TO SCREEN
70 1      USE
71
72
73
74
75
76
```

```

111 3      X2 < M2
112 3      @ 19,1 CLEAR TO 22,78
113 3      @ 20,1 SAY "DIA="
114 3      @ 20,6 SAY DIA
115 3      @ 20,17 SAY "HORA="
116 3      @ 20,23 SAY I PICT "##"
117 3      @ 20,26 SAY "CONS. ="
118 3      @ 20,34 SAY &QALFA PICT "####"
119 3      @ 20,39 SAY "NOVO CONS. ="
120 3      X=(X1+X2)/2
121 3      @ 20,51 SAY X PICT "####"
122 3      @ 21,1 SAY "CONS. ANT ="
123 3      @ 21,13 SAY X1 PICT "####"
124 3      @ 21,18 SAY "CONS. POST="
125 3      @ 21,30 SAY X2 PICT "####"
126 3      RESP='S'
127 3      * @ 22,1 SAY 'DESEJA SUBSTITUIR ? (S/N) ' GET RESP
128 3      * READ
129 4      IF UPPER(RESPI) = 'S'
130 4      REPIACE &QALFA WITH X
131 3      ENDIF
132 3      @ 19,1 CLEAR TO 22,78
133 3      * @ 20,1 SAY "HORA"
134 3      ELSE
135 3      @ 20,1 SAY "DIA="
136 3      @ 20,6 SAY DIA
137 3      @ 20,15 SAY "HORA="
138 3      @ 20,21 SAY I PICT "##"
139 3      @ 20,24 SAY "CONS. ="
140 3      @ 20,31 SAY &QALFA PICT "####"
141 3      @ 20,36 SAY "CONSUMO NAO SUBSTITUIDO"
142 3      * INKEY(2)
143 3      @ 19,1 CLEAR TO 22,78
144 3      * @ 20,1 SAY "HORA"
145 2      ENDIF
146 2      CONTINUE
147 1      ENDDO
148 1      I=I+1
149 1      ENDDO
150
151
```

```
1      SET BELL OFF
2      SET DATE BRIT
3      SET TALK OFF
4      SET SAFETY OFF
5      EST=0
6      CLEAR
7      DO MENU1
8      FLAG=0
9      1  DO WHILE FLAG=0
10     1  FLAG=1
11     2  DO CASE
12     2  CASE EST =7
13     2  ARQ= "JACANA"
14     2  CASE EST=8
15     2  ARQ = "EDU"
16     2  CASE EST=10
17     2  ARQ = "MEDEIROS"
18     2  CASE EST =11
19     2  ARQ = "MARIA"
20     2  CASE EST =14
21     2  ARQ = "PENHA"
22     2  CASE EST=17
23     2  ARQ = "CANGA"
24     2  CASE EST=19
25     2  ARQ = "POPULAR"
26     2  CASE EST =21
27     2  ARQ = "ERMELINO"
28     2  CASE EST=23
29     2  ARQ = "MIGUEL"
30     2  CASE EST=30
31     2  ARQ = "ARACA"
32     2  CASE EST=98
33     2  ARQ = "GOPOUVA"
34     2  OTHERWISE
35     2  FLAG=0
36     1  ENDCASE
37     ENDDO
38     USE &ARQ
39     @ 21,1 CLEAR TO 22,78
40     @ 21,1 SAY 'Estou indexando o arquivo. Aguarde...'
41     INDEX ON DOW(DIA) TO LIXO
42     I=1
43     1  DO WHILE I <=7
44     1  ARQTO =TRIM(SUBSTR(ARQ,1,7))+LTRIM(STR(I))+'.DAT'
45     1  SEEK I
46     1  @ 21,1 CLEAR TO 22,78
47     1  @ 21,1 SAY 'Estou copiando para o arquivo : '
48     1  @ 21,35 SAY ARQTO
49     1  COPY TO &ARQTO DELIMITED WITH BLANK WHILE
50     1  DOW(DIA)=I
51     1  I =I+1
51     ENDDO
```



```
1      SET BELL OFF
2      SET DATE BRIT
3      SET SAFETY OFF
4      SET TALK OFF
5      * EXPURGO DE DADOS REPETIDOS
6      J=1
7      FLAG=1
8      ARQ='
9      CLEAR
10     @ 18,0 TO 23,79 DOUBLE
11     @ 20,1 SAY "Nome do Arquivo " GET ARQ
12     READ
13     @ 19,1 CLEAR TO 22,78
14     USE &ARQ
15 1    DO WHILE FLAG#1
16 1      STORE Q1 TO X2
17 1      STORE Q2 TO X3
18 1      STORE DIA TO DIA2
19 1      STORE DIA TO DIA3
20 1      I=3
21 1      @ 22,1 SAY "DIA="
22 2      DO WHILE .NOT. EOF()
23 3      DO WHILE I <= 22
24 3        QALFA='Q'+LTRIM(STR(I))
25 3        X1=X2
26 3        DIA1=DIA2
27 3        X2=X3
28 3        DIA2=DIA3
29 3        STORE &QALFA TO X3
30 3        STORE DIA TO DIA3
31 3        @ 22,5 SAY DIA3
32 4        IF X1=X2 .AND. X2=X3 .AND. X1 # -1
33 4          HORA1=I-2
34 4          HORA2=I-1
35 4          HORA3=I
36 5          IF HORA1 < 0
37 5            HORA1=HORA1+24
38 4          ENDIF
39 5          IF HORA2 < 0
40 5            HORA2=HORA2+24
41 4          ENDIF
42 4          SET DEVICE TO PRINT
43 4          @ J,1 SAY "DIA1="
44 4          @ J,7 SAY DIA1
45 4          @ J,16 SAY "HORA1="
46 4          @ J,23 SAY HORA1 PICT "##"
47 4          @ J,26 SAY "DIA2="
48 4          @ J,32 SAY DIA2
49 4          @ J,41 SAY "HORA2="
50 4          @ J,48 SAY HORA2 PICT "##"
51 4          @ J,52 SAY "DIA3="
52 4          @ J,58 SAY DIA3
53 4          @ J,67 SAY "CONSUMO="
54 4          @ J,76 SAY X1 PICT "####"
55 4          J=J+1
```

```
36 4      SET DEVICE TO SCREEN
57 3      _ENDIF
58 3      I=I+1
59 2      _ENDDO
60 2      I=1
61 2      SKIP
62 1      _ENDDO
63 1      EJECT
64 1      _ENDDO
65      * INTERPOLACAO DE VALORES
66      I=1
67      CLEAR
68      @ 18,0 TO 23,79 DOUBLE
69 1      DO WHILE I <=24
70 1          @ 20,1 SAY "HORA"
71 1          @ 20,6 SAY I PICT "##"
72 1          QALFA="Q"+LTRIM(STR(I))
73 1          SUM(&QALFA) FOR &QALFA ) 0 TO SOMA
74 1          SUM(&QALFA*&QALFA) FOR &QALFA ) 0 TO SOMA2
75 1          COUNT FOR &QALFA ) 0 TO N
76 1          MEDIA=SOMA/N
77 1          DESVIO=SQRT((SOMA2/N-MEDIA*MEDIA)*N/(N-1))
78 1          M2=MEDIA+2*DESVIO
79 1          M1=MEDIA-2*DESVIO
80 1          @ 20,9 SAY "MEDIA="
81 1          @ 20,16 SAY MEDIA PICT "####"
82 1          @ 20,21 SAY "DESVIO="
83 1          @ 20,29 SAY DESVIO PICT "####"
84 1          *ZZ=
85 1          *@ 21,10 SAY "TECLE ENTER P. CONTINUAR " GET ZZ
86 1          *READ
87 1          @ 19,1 CLEAR TO 22,78
88 1          LOCATE FOR &QALFA < M1 .OR. &QALFA > M2
89 2          DO WHILE .NOT. EOF()
90 2              IANT=I-1
91 2              IPOS=I+1
92 3              IF IANT <= 0
93 3                  IANT=IANT+24
94 3                  QANT="Q"+LTRIM(STR(IANT))
95 3                  SKIP-1
96 3                  X1=&QANT
97 3                  SKIP+1
98 2              _ENDIF
99 2              QANT="Q"+LTRIM(STR(IANT))
100 2              X1=&QANT
101 3              IF IPOS > 24
102 3                  IPOS=IPOS-24
103 3                  QPOS="Q"+LTRIM(STR(IPOS))
104 3                  SKIP+1
105 3                  X2=&QPOS
106 3                  SKIP-1
107 2              _ENDIF
108 2              QPOS="Q"+LTRIM(STR(IPOS))
109 2              X2=&QPOS
110 3              IF X1 > M1 .AND. X1 < M2 .AND. X2 > M1 .AND.
```

```
1      '--CONVERTE.BAS--
2      '----- PROGRAMA PARA CONVERTER OS
3      '----- ARQUIVOS SEQUENCIAIS EM RANDOMICOS
4      '----- VERSAO
5      11-07-89
6      DIM RQ$(24), Q(24)
7      CLS : LOCATE 21, 1: INPUT "Nome do arquivo
8      sequencial :", ARQ$
9      LOCATE 22, 1: INPUT "Nome do arquivo
10     randomico :", ARQR$
11     OPEN ARQ$ FOR INPUT AS #1
12     OPEN ARQR$ FOR RANDOM AS #2 LEN = 104
13     FIELD #2, 8 AS RDIA$
14     RECL% = 8
15     FOR HORA = 1 TO 24
16         FIELD #2, RECL% AS OFFSET$, 4 AS RQ$(HORA)
17         RECL% = RECL% + 4
18     NEXT HORA
19     INPUT #1, NDIAS
20     CLS : LOCATE 22, 1: PRINT "DIA="
21     RSET RDIA$ = MKD$(NDIAS)
22     PUT #2, 1
23     FOR I = 1 TO NDIAS
24         INPUT #1, DIA#
25         LOCATE 22, 5: PRINT DIA#
26         RSET RDIA$ = MKD$(DIA#)
27         FOR J = 1 TO 24
28             INPUT #1, Q(J)
29             RSET RQ$(J) = MKS$(Q(J))
30         NEXT J
31         PUT #2, I + 1
32     NEXT I
33     CLOSE #1
34     CLOSE #2
35     END
```

```
1      '--READ.BAS--
2      '----- PROGRAMA PARA LER O CONTEUDO DOS
3      '----- ARQUIVOS RANDOMICOS
4      '----- VERSAO
5      11-07-89
6      DIM RQ$(24), Q(24)
7      CLS : LOCATE 22, 1: INPUT "Nome do arquivo
8      randomico :", ARQR$
9      OPEN ARQR$ FOR RANDOM AS #2 LEN = 104
10     FIELD #2, 8 AS RDIA$
11     RECLX = 8
12     FOR HORA = 1 TO 24
13         FIELD #2, RECLX AS OFFSET$, 4 AS RQ$(HORA)
14         RECLX = RECLX + 4
15     NEXT HORA
16     CLS : LOCATE 22, 1: PRINT "DIA="
17     GET #2, 1
18     NDIAS = CVD(RDIA$)
19     FOR I = 1 TO NDIAS
20         GET #2, I + 1
21         DIA# = CVD(RDIA$)
22         LOCATE 22, 5: PRINT DIA#
23         FOR J = 1 TO 24
24             Q(J) = CVS(RQ$(J))
25             LOCATE 10, 1: PRINT "HORA="; J;
26             "CONSUMO="; Q(J): INPUT ZM$
27         NEXT J
28     NEXT I
29     CLOSE #2
30     END
```

```
1      '---COMPLETA.BAS---
2      DIM Q(486, 24), DIA#(486)
3      CLS
4      LOCATE 5, 5: PRINT "*****PROGRAMA PARA
      COMPLETAR DIAS SEM DADOS -VERSAO
      02/10/89***"
5      LOCATE 10, 10: INPUT "ARQUIVO DE ENTRADA :
      ", ARQ$
6      LOCATE 12, 10: INPUT "ARQUIVO DE SAIDA :
      ", ARQ1$
7      CLS
8      OPEN ARQ$ FOR INPUT AS #1
9      OPEN ARQ1$ FOR OUTPUT AS #2
10     1      FOR I = 1 TO 486
11     1          INPUT #1, DIA#(I)
12     1          LOCATE 10, 10: PRINT "ESTOU LENDO DIA :
      "; DIA#(I)
13     2          FOR J = 1 TO 24
14     2              INPUT #1, Q(I, J)
15     1          NEXT J
16     1      NEXT I
17     1      CLS
18     1      FOR I = 8 TO 486
19     1          LOCATE 10, 10: PRINT "DIA= "; DIA#(I)
20     1          J = 1
21     2          WHILE J < 25
22     3              IF (Q(I, J) = -1) THEN
23     3                  FLAG = 0
24     3                  IAUX = I
25     3                  J = 25
26     4                  WHILE FLAG = 0! AND (IAUX - 7) > 0
27     4                      FLAG = 1
28     4                      IAUX = IAUX - 7
29     4                      K = 1
30     5                      WHILE K < 25
31     6                          IF (Q(IAUX, K) = -1) THEN
32     6                              FLAG = 0!
33     6                              K = 25
34     6                          ELSE
35     6                              K = K + 1
36     5                          END IF
37     4                      WEND
38     3                  WEND
39     4                  IF (IAUX - 7) > 0 THEN
40     4                      LOCATE 12, 10: PRINT "DIA UTILIZADO
      : "; DIA#(IAUX)
41     5                      FOR K = 1 TO 24
42     5                          Q(I, K) = Q(IAUX, K)
43     4                      NEXT K
44     4                  ELSE
45     4                      LOCATE 12, 10: PRINT "NAO FOI
      POSSIVEL SUBSTITUIR"
46     3                  END IF
47     3              ELSE
48     3                  J = J + 1
```

```
49 2      END IF
50 1      WEND
51      NEXT I
52      CLS
53 1      FOR I = 1 TO 486
54 1          PRINT #2, DIA#(I),
55 1          LOCATE 10, 10: PRINT "GRAVANDO DIA :
              ", DIA#(I)
56 2          FOR J = 1 TO 24
57 2              PRINT #2, Q(I, J),
58 1              NEXT J
59 1              PRINT #2, " "
60      NEXT I
61      CLOSE
62      END
63
```

```
1      '--HARMONIA.BAS--
2      '-----VERSÃO 28-12-89-----
3
4      CLS
5      DIM B(100), A(100), G(300), Y(300),
6          RQ$(24), DELTAMAX(100)
7      DIM COR(100), REG(100), INTERC(100)
8      PI = 3.141596
9      FLAG = 0
10     CLS : SCREEN 2: LINE (0, 0)-(600, 20), , B:
11         LINE (0, 22)-(600, 100), , B
12     LINE (0, 102)-(600, 160), , B: LINE (0,
13         164)-(600, 190), , B
14     LOCATE 2, 2: PRINT "AJUSTE DE HARMONICOS A
15         UMA SERIE TEMPORAL --- VERSÃO 28-12-89"
16     LOCATE 4, 2: INPUT "ENTRE COM NOME DO
17         ARQUIVO..... : ", ARQ$
18     IF FLAG = 1 THEN 71
19     CLOSE : OPEN ARQ$ FOR RANDOM AS #1 LEN =
20         104
21     FIELD #1, 8 AS RDIA$
22     RECL% = 8
23     FOR HORA = 1 TO 24
24         FIELD #1, RECL% AS OFFSET$, 4 AS RQ$(HORA)
25         RECL% = RECL% + 4
26     NEXT HORA
27     OPEN "LIXO14.DAT" FOR OUTPUT AS #3
28     OPEN "LIXO13.DAT" FOR OUTPUT AS #2
29     '-----DEFINICAO DO PERIODO E ORDENS DOS
30         HARMONICOS-----
31     FLAG1$ = "S"
32     WHILE FLAG1$ = "S"
33         LOCATE 6, 47: PRINT STRING$(10, " ")
34         LOCATE 8, 47: PRINT STRING$(10, " ")
35         LOCATE 10, 47: PRINT STRING$(10, " ")
36         LOCATE 12, 47: PRINT STRING$(10, " ")
37         LOCATE 15, 2: PRINT STRING$(70, " ")
38         LOCATE 17, 2: PRINT STRING$(70, " ")
39         LOCATE 19, 2: PRINT STRING$(70, " ")
40         LOCATE 6, 2: INPUT "Entre com o n. do 1º
41             registro a utilizar... : ", REGIN
42         SOMAX = 0: SOMAX2X = 0
43         LOCATE 8, 2: INPUT "Ordem minima do
44             harmonico..... : ", MMIN
45         LOCATE 10, 2: INPUT "Ordem maxima do
46             harmonico..... : ", MMAX
47         LOCATE 12, 2: INPUT "Ciclo do harmonico
48             em dias ..... : ", PER
49         LL = 0
50         FOR RE = REGIN + 1 TO REGIN + PER
51             GET #1, RE
52             FOR HORA = 1 TO 24
53                 Y(LL) = CVS(RQ$(HORA))
54                 SOMAX = SOMAX + Y(LL)
```

```
44 3      SOMA2X = SOMA2X + Y(LL) ^ 2
45 3      LL = LL + 1
46 2      NEXT HORA
47 1      NEXT RE
48 1      N = PER * 12
49 1      FLAG = 1
50 1      'CLS : LOCATE 20, 1: PRINT "DIA="; DIA(I)
51 1      'LOCATE 22, 1: PRINT "DET. DE A E DE B J="
52 1      LOCATE 22, 2: PRINT "Nº do harmonico ="
53 2      FOR M = MMIN TO MMAX STEP 1
54 2          LOCATE 22, 21: PRINT USING " ###"; M
55 2          LOCATE 22, 30: PRINT "K = ";
56 3          FOR K = 1 TO M
57 3              LOCATE 22, 35: PRINT USING "####"; K
58 3              A(K) = 0: B(K) = 0
59 4              FOR J = 0 TO (2 * N) - 1
60 4                  A(K) = A(K) + Y(J) * COS(K * PI * J
                      / N)
61 4                  B(K) = B(K) + Y(J) * SIN(K * PI * J
                      / N)
62 3              NEXT J
63 3              A(K) = A(K) / N
64 3              B(K) = B(K) / N
65 2          NEXT K
66 2          A0 = SOMAX / (2! * N)
67 2          SOMAY = 0
68 2          SOMA2Y = 0
69 2          SOMAXY = 0
70 2          DELTAMAX(M) = 0
71 2          LOCATE 23, 2: PRINT "Gerando hora = ";
72 3          FOR I = 1 TO PER
73 4              FOR L = 0 TO 23
74 4                  J = (I - 1) * 24 + L
75 4                  LOCATE 23, 18: PRINT J
76 4                  G(J) = A0
77 5                  FOR K = 1 TO M
78 5                      G(J) = G(J) + A(K) * COS(K * PI *
                          J / N) + B(K) * SIN(K * PI *
                          J / N)
79 4                  NEXT K
80 4                  DELTA = (Y(J) - G(J)) * 100 / Y(J)
81 4                  IF DELTA > DELTAMAX(M) THEN
82 4                      DELTAMAX(M) = DELTA
83 4                      SOMAY = SOMAY + G(J)
84 4                      SOMA2Y = SOMA2Y + G(J) ^ 2
85 4                      SOMAXY = SOMAXY + G(J) * Y(J)
86 4                      PRINT #3, J, Y(J), G(J), SOMAX,
                          SOMAY, SOMA2X, SOMA2Y, SOMAXY
86 3              NEXT L
87 2          NEXT I
88 2          LOCATE 23, 2: PRINT STRING$(50, " ")
89 2          MEDIAG = SOMAY / (2 * N)
90 2          SXX = SOMA2X - SOMAX ^ 2 / (2 * N)
91 2          SYY = SOMA2Y - SOMAY ^ 2 / (2 * N)
92 2          SXY = SOMAXY - SOMAX * SOMAY / (2 * N)
```



```
93 2      REG(M) = SXY / SXX
94 2      INTERC(M) = MEDIAG - REG(M) * AO
95 2      COR(M) = (SXY ^ 2) / (SXX * SYY)
96 2      LOCATE 15, 2: PRINT USING "MEDIA
          OBSERVADA = ##### MEDIA
          CALCULADA = #####"; AO; MEDIAG
97 2      LOCATE 17, 2: PRINT USING "REGRESSAO....
          .. = ##.#### CORRELACAO.....
          = #.#### "; REG(M); COR(M)
98 2      LOCATE 19, 2: PRINT USING "INTERCEPTO...
          .. = ##### DESVIO MAXIMO..
          = ### %"; INTERC(M); DELTAMAX(M)

99 2
100 2      LOCATE 22, 2: PRINT STRING$(50, " ")
101 2      LOCATE 22, 2: INPUT "TECLE ENTER PARA
          CONTINUAR ", ZZ$
102 2      LOCATE 22, 2: PRINT STRING$(50, " ")
103 2      LOCATE 22, 2: PRINT "Nè do harmonico ="
104 1
105 1      NEXT M
106 1
107 1      PRINT #2, ARQ$, REGIN, AO
108 1      LOCATE 22, 2: PRINT STRING$(70, " ")
109 1      LOCATE 22, 2: INPUT "Prepare a impressora
          e tecle <ENTER> quando pronto :", ZZ$
110 1      WIDTH LPRINT 180: LPRINT CHR$(15); :
          LPRINT CHR$(12)
111 1      LPRINT CHR$(14); USING "ARQUIVO = \
          \ "; ARQ$
112 1      LPRINT CHR$(14); USING "REGISTRO INICIAL
          = ##### "; REGIN
113 1      LPRINT CHR$(14); USING "MEDIA = #####"; AO
114 1      LPRINT CHR$(14); USING "CICLO DO
          HARMONICO = ### DIAS "; PER
115 1      LPRINT : LPRINT : LPRINT
          LPRINT CHR$(15); " M REGRESSAO
          INTERCEPTO CORRELACAO DESVIO MAX "
116 1      LPRINT : LPRINT
117 2      FOR M = MMIN TO MMAX STEP 1
118 2          PRINT #2, USING "### ##.#### ##.##
          #.#### ##.## "; M; REG(M);
          INTERC(M); COR(M); DELTAMAX(M)
119 2          LPRINT USING "## ##.#### #####
          #.#### ##### "; M; REG(M);
          INTERC(M); COR(M); DELTAMAX(M)
120 2          LPRINT
121 1      NEXT M
122 1      LOCATE 22, 2: PRINT STRING$(70, " ")
123 1      LOCATE 22, 2: INPUT "DESEJA CONTINUAR
          ?(S/N) : ", FLAG1$
124 1      LOCATE 22, 2: PRINT STRING$(50, " ")
125 1      WEND
126 1      CLOSE
127 1      END
128
```

```
1      '-----AJUSTE DE POLINOMIO -----
2      '-----VERSÃO 28/08/90-----
3
4      5      CLS : SCREEN 2
5      DIM A(61), R(31, 32), T(100), XVET(100),
6      YVET(100), RQ$(24)
7      LOCATE 8, 10: INPUT "Arquivo de Consumos.....
8      .....:", ARQ$
9      LOCATE 10, 10: INPUT "Grau maximo desejado
10     (ate 30).....:", DMAX
11     OPEN "LIXAO" FOR OUTPUT AS #3
12     OPEN ARQ$ FOR RANDOM AS #1 LEN = 104
13     FIELD #1, 8 AS RDIA$
14     RECL% = 8
15     FOR HORA = 1 TO 24
16     FIELD #1, RECL% AS OFFSET$, 4 AS RQ$(HORA)
17     RECL% = RECL% + 4
18     NEXT HORA
19     GET #1, 1
20     NDIAS# = CVD(RDIA$)
21     LOCATE 12, 10: INPUT "N. de ordem do 1º dia a
22     utilizar.....:", REGIN
23     LOCATE 14, 10: INPUT "N. de ordem do ULTIMO
24     dia a utilizar.....:", REGFI
25     LOCATE 16, 10: INPUT "Hora inicial do ajuste
26     (1 a 23).....:", HORAIN
27     LOCATE 18, 10: INPUT "Hora final do ajuste( )
28     Hora inicial).....:", HORAFI
29     GET #1, REGIN + 1
30     DIAIN# = CVD(RDIA$)
31     GET #1, REGFI + 1
32     DIAFI# = CVD(RDIA$)
33     TOTDIAS = REGFI - REGIN + 1
34     PRINT #3, USING "\
35     #####          #####          ##          ##";
36     ARQ$, DIAIN#, DIAFI#, HORAIN, HORAFI
37     'N = 24
38     N = HORAFI - HORAIN + 1
39     LOCATE 22, 2: INPUT "Ligue a impressora e
40     tecle (ENTER) para continuar : ", ZZ$:
41     WIDTH LPRINT 180: LPRINT CHR$(15)
42
43     FOR II = 1 TO TOTDIAS
44     JMAX = 0
45     GET #1, REGIN + II
46     DIA# = CVD(RDIA$)
47     FOR J = 1 TO 24
48     FOR J = HORAIN TO HORAFI
49     YVET(J) = CVS(RQ$(J))
50     YVET(J - HORAIN + 1) = CVS(RQ$(J))
```

```
41 2      'XVET(J) = J
42 2      XVET(J - HORAIN + 1) = J
43 1      NEXT J
44 1
45 1      'LOOP DE GRAUS DO POLINOMIO
46 1
47 1      GOSUB CABEC
48 1
49 2      FOR D = 1 TO DMAX
50 2
51 2      'AQUI BRANQUEAMOS AS AREAS AUXILIARES
52 2
53 3          FOR I = 1 TO 32
54 3              T(I) = 0
55 4              FOR J = 1 TO 31
56 4                  R(J, I) = 0
57 3              NEXT J
58 2          NEXT I
59 3          FOR I = 2 TO 61
60 3              A(I) = 0
61 2          NEXT I
62 2          A(1) = N
63 2
64 2      'OS LIMITES SUPERIORES DOS LOOPS DEVEM SER OS
        MESMOS DO DIMENSION
65 2
66 2      IF LINHA > 55 THEN GOSUB CABEC
67 2      LPRINT ' '
68 2      LINHA = LINHA + 1
69 2      IF LINHA > 55 THEN GOSUB CABEC
70 2      LPRINT USING "Ajuste para polinomio de
        grau ## "; D
71 2      LPRINT ' '
72 2      LINHA = LINHA + 2
73 3      FOR I = 1 TO N
74 3          X = XVET(I)
75 3          Y = YVET(I)
76 4          FOR J = 2 TO 2 * D + 1
77 4              A(J) = A(J) + X ^ (J - 1)
78 3          NEXT J
79 4          FOR K = 1 TO D + 1
80 4              R(K, D + 2) = T(K) + Y * X ^ (K - 1)
81 4              T(K) = T(K) + Y * X ^ (K - 1)
82 3          NEXT K
83 3          T(D + 2) = T(D + 2) + Y ^ 2
84 2      NEXT I
85 3      FOR J = 1 TO D + 1
86 4          FOR K = 1 TO D + 1
87 4              R(J, K) = A(J + K - 1)
88 3          NEXT K
89 2      NEXT J
```

```

90 3      FOR J = 1 TO D + 1
91 4      FOR K = J TO D + 1
92 5          IF (R(K, J) <> 0) THEN
93 5              GOTO 320
94 4          END IF
95 3      NEXT K
96 3      PRINT "A solucao nao e unica !!"
97 3      GOTO 10
98 3      320
99 4      FOR I = 1 TO D + 2
100 4          S = R(J, I)
101 4          R(J, I) = R(K, I)
102 4          R(K, I) = S
103 3      NEXT I
104 3      Z = 1 / R(J, J)
105 4      FOR I = 1 TO D + 2
106 4          R(J, I) = Z * R(J, I)
107 3      NEXT I
108 4      FOR K = 1 TO D + 1
109 5          IF (K <> J) THEN
110 5              Z = -R(K, J)
111 6              FOR I = 1 TO D + 2
112 6                  R(K, I) = R(K, I) + Z * R(J, I)
113 5              NEXT I
114 4          END IF
115 3      NEXT K
116 3      NEXT J
117 3      FOR J = 0 TO D
118 3          IF LINHA > 55 THEN GOSUB CABEC
119 3          LOCATE 20, 10: LPRINT USING "Coeficiente ##";
          J; : LOCATE 20, 27: LPRINT USING "=
          #####.###"; R(J + 1, D + 2)
          LINHA = LINHA + 1
120 3      NEXT J
121 3      P = 0
122 3      FOR J = 2 TO D + 1
123 3          P = P + R(J, D + 2) * (T(J) - A(J) *
124 3          T(1) / N)
125 3      NEXT J
126 3
127 3      INICIO
128 3      OPEN "LIXAO" FOR OUTPUT AS #3
129 3      FOR J = HORAIN TO HORAFI
130 3          XCAL = 0
131 4          FOR L = 1 TO DMAX
132 4              XCAL = XCAL + R(L, D + 2) * XJET(J -
              HORAIN + 1) ^ (L - 1)
133 3          NEXT L
134 3          PRINT XJET(J - HORAIN + 1), YJET(J -
              HORAIN + 1), XCAL
135 3          PRINT #3, XJET(J-HORAIN+1), YJET(J-HORAIN+

```

```

136 2      1), XCAL
137 2      NEXT J
138 2      'CLOSE #3
139 2      ' FIM
140 2
141 2
142 2      Q = T(D + 2) - T(1) ^ 2 / N
143 2      Z = Q - P
144 2      I = N - D - 1
145 2      J = P / Q
146 2      IF LINHA > 55 THEN GOSUB CABEC
147 2      LPRINT USING "Coeficiente de determinacao
      (R2) = #.###"; J
148 2      LPRINT USING "Coeficiente de correlacao
      = ##.###"; SQR(ABS(J))
149 2      'LPRINT USING "Estimativa de erro padrao
      = ###.##"; SQR(ABS(Z / I))
150 2      LINHA = LINHA + 4
151 3      IF ((J > JMAX AND J <= 1)) THEN
152 3          JMAX = J
153 4          IF (D < 1) THEN
154 4              LPRINT "Houve melhora no ajuste "
155 3          END IF
156 3      ELSE
157 3          LPRINT "Nao houve melhora no ajuste"
158 2      END IF
159 2      PRINT #3, USING "      #####          ##
      #.### "; DIA#, D, J
160 1      NEXT D
161 1      'INPUT ZZ$
162      NEXT II
163      CLOSE #1
164      CLOSE #3
165      10      GOTO 5
166      END
167
168      CABEC:
169      LPRINT CHR$(12)
170      LPRINT " Arquivo : "; ARQ$
171      LPRINT USING " Dia Inicial : ##### Dia
      Final : #####"; DIAIN#, DIAFI#
172      LPRINT USING " Hora Inicial de Ajuste :
      ## Hora Final de Ajuste : ## "; HORAIN;
      HORAFI
173      LPRINT USING " Dia : #####"; DIA#
174      LPRINT " ": LPRINT " ": LPRINT " "
175      LINHA = 6
176      RETURN
177
178

```

```
1      '--PREVIS10.BAS--
2      '-----Programa para verificacao da
3          correlacao entre consumos-----'
4      '-----observados e gerados por Taylor com
5          antecedencias variaveis-----'
6      '-----de 1 a 24 horas com correcao .VERSAO
7          12-03-90-----'
8      DIM Q(100), Y(24, 24), SOMAY(24, 24),
9          SOMA2Y(24, 24), SOMAXY(24, 24)
10     DIM COR(25, 24)
11     DIM QANT(30), QBASE(50), C(30), FAT(30),
12         ERRO(201, 16), RQ$(24), ALF(30)
13     DIM ALT(30), TTOT(30), NNN(24, 23), SOMAX(24,
14         23), SOMA2X(24, 23)
15     DIM WW(30), SERR(24), DESV(24, 24), DESV2(24,
16         24)
17     CLS : FLAG = 1: SCREEN 2: LINE (0, 0)-(600,
18         24), , B: LINE (0, 26)-(600, 160), , B
19     LINE (0, 164)-(600, 190), , B
20     LOCATE 2, 2: PRINT "PREVISAO DE CONSUMOS POR
21         AJUSTE DE SERIE DE TAYLOR 12-03-90"
22     LOCATE 5, 2: INPUT "Nome do arquivo de
23         consumos : ", ARQ$
24     LOCATE 7, 2: INPUT "Volume do reservatorio
25         : ", VOLRES
26     WHILE FLAG = 1
27         OPEN ARQ$ FOR RANDOM AS #1 LEN = 104
28         FIELD #1, 8 AS RDIA$
29         RECL% = 8
30         FOR HORA = 1 TO 24
31             FIELD #1, RECL% AS OFFSET$, 4 AS RQ$(HORA)
32             RECL% = RECL% + 4
33         NEXT HORA
34         WW = 1
35         LOCATE 9, 2: INPUT "Grau Maximo Do Polinomio
36             : ", GRAU
37         LOCATE 11, 2: INPUT "N. De Horas Para Media
38             Movel : ", MA
39         LOCATE 13, 2: INPUT "N. Horas Max. De
40             Antecedencia:", ANTMAX
41         TERM$ = MID$(ARQ$, 1, 2)
42         ARQ1$ = "G" + MID$(STR$(GRAU), 2, 2) + "M" +
43             MID$(STR$(MA), 2, 2) + "F" + MID$(STR$(
44             FAIXA), 2, 2) + "." + TERM$ + "1"
45         ARQ2$ = "G" + MID$(STR$(GRAU), 2, 2) + "M" +
46             MID$(STR$(MA), 2, 2) + "F" + MID$(STR$(
47             FAIXA), 2, 2) + "." + TERM$ + "2"
48         OPEN ARQ1$ FOR OUTPUT AS #2
49         OPEN ARQ2$ FOR OUTPUT AS #3
```

```
34 1      '-----CALCULO DOS COEFICIENTES DE
          RECURSAO-----
35 1      FAT(0) = 1
36 2      FOR L = 1 TO GRAU
37 2          FAT(L) = FAT(L - 1) * (1 / L)
38 1      NEXT L
39 1      C(GRAU) = FAT(GRAU) * FAT(0) * ((-1) ^ GRAU)
40 2      FOR L = GRAU - 1 TO 0 STEP -1
41 2          C(L) = ((ABS(C(L + 1)) / FAT(L + 1)) +
                     FAT(GRAU - L)) * FAT(L) * ((-1) ^ L)
42 1      NEXT L
43 1      '-----FIM DO CALCULO DOS COEFICIENTES-----
          -----
44 1
45 1      '----- INICIALIZACAO -----
46 2      FOR I = 1 TO 24
47 2          TTOT(I) = 0
48 2          ALT(I) = 0
49 2          WW(I) = 1
50 3          FOR J = 1 TO ANTMAX
51 3              DESV(I, J) = 0
52 3              DESV2(I, J) = 0
53 3              SOMAX(I, J) = 0
54 3              SOMA2X(I, J) = 0
55 3              SOMAY(I, J) = 0
56 3              SOMA2Y(I, J) = 0
57 3              SOMAXY(I, J) = 0
58 3              COR(I, J) = 0
59 3              ERRO(I, J) = 0
60 3              NNN(I, J) = 0
61 2          NEXT J
62 1      NEXT I
63 1
64 1      GET #1, 1
65 1      NDIAS# = CVD(RDIA$)
66 1      LOCATE 15, 2: INPUT "Entre com n. de ordem
                          do 1º dia a gerar (>28): ", REGIN
67 1      IF REGIN < 29 THEN REGIN = 29
68 1      LOCATE 17, 2: INPUT "Entre com n. de ordem
                          do ultimo dia a gerar : ", NDIAS#
69 1      LOCATE 19, 2: INPUT "Entre com faixa de
                          tolerancia de desvio (%) : ", FAIXA
70 1      FAIXA = FAIXA / 100
71 1      GET #1, NDIAS# + 1
72 1      DIAFIN# = CVD(RDIA$)
73 2      FOR I = 1 TO 2
74 2          K = 24 * (I - 1)
75 2          GET #1, REGIN + I
76 2          DIA# = CVD(RDIA$)
77 2          IF I = 1 THEN DIAIN# = DIA#
78 2          LOCATE 23, 2: PRINT USING "DIA= #######"
```

```

      ", DIA#
79 3      FOR J = (1 + K) TO (24 + K)
80 3          Q(J) = CVS(RQ$(J - K))
81 2      NEXT J
82 1      NEXT I
83 1      ALFA = 0
84 2      FOR L = 1 TO GRAU + 1
85 2          ALF(GRAU - L + 1) = 0
86 2          REG = REGIN + 1
87 3          FOR RE = REG - 28 TO REG - 7 STEP 7
88 3              LAUX = 48 - (GRAU + 1) - (MA - 1) + L
89 4              FOR K = LAUX TO LAUX + (MA - 1)
90 5                  IF K <= 24 THEN
91 5                      GET #1, RE
92 5                      QAUX = CVS(RQ$(K))
93 5                  ELSE
94 5                      GET #1, RE + 1
95 5                      QAUX = CVS(RQ$(K - 24))
96 4                  END IF
97 4                  ALF(GRAU - L + 1) = ALF(GRAU - L + 1)
                      + Q(K) / (QAUX * 4 * MA)
98 3              NEXT K
99 2          NEXT RE
100 2          ALFA = ALFA + ALF(GRAU - L + 1) / (GRAU + 1)
101 2          QBASE(GRAU - L + 1) = 0
102 3          FOR K = LAUX TO LAUX + (MA - 1)
103 3              QBASE(GRAU - L + 1) = QBASE(GRAU - L +
                  1) + Q(K) / MA
104 2          NEXT K
105 1      NEXT L
106 2      FOR K = 1 TO 24
107 2          Q(K) = Q(K + 24)
108 1      NEXT K
109 1      GET #1, REGIN + 3
110 2      FOR J = 25 TO 48
111 2          DIA# = CVD(RDIA$)
112 2          Q(J) = CVS(RQ$(J - 24))
113 1      NEXT J
114 2      FOR IDIA = REGIN + 2 TO NDIAS#
115 2          GET #1, IDIA + 2
116 2          LOCATE 23, 2: PRINT USING "DIA= #####"
              ", DIA#
117 2          DIA# = CVD(RDIA$)
118 3          FOR J = 49 TO 72
119 3              Q(J) = CVS(RQ$(J - 48))
120 2          NEXT J
121 3          FOR HORA = 1 TO 24
122 3              CONOBS = 0
123 3              CONCAL = 0
124 3              LOCATE 23, 35: PRINT USING "HORA= ### "
                  HORA
```



```

125 4      FOR L = 1 TO GRAU + 1
126 4          QANT(GRAU - L + 1) = QBASE(GRAU - L + 1)
127 3      NEXT L
128 3      QATUAL = QBASE(0)
129 4      FOR J = HORA TO HORA + ANTMAX - 1
130 4          JAUX = J - HORA + 1
131 4          J1 = J
132 4          IF (J > 24) THEN J1 = J - 24
133 4      '-----CALCULO DA VAZAO DE CONSUMO DA
      | HORA J1
134 4      '-----COM JAUX HORAS DE ANTECEDENCIA-----
135 4          Y(J1, JAUX) = C(0) * QATUAL
136 5      FOR K = 1 TO GRAU
137 5          Y(J1, JAUX) = Y(J1, JAUX) + C(K) *
      QANT(K)
138 4      NEXT K
139 5      FOR L = 1 TO GRAU - 1
140 5          QANT(GRAU - L + 1) = QANT(GRAU - L)
141 4      NEXT L
142 4      QANT(1) = QATUAL
143 4      QATUAL = Y(J1, JAUX)
144 4      Y(J1, JAUX) = MA * Y(J1, JAUX)
145 5      FOR K = 1 TO (MA - 1)
146 5          J2 = J - K + 24
147 5          Y(J1, JAUX) = Y(J1, JAUX) - Q(J2)
148 4      NEXT K
149 4      '-----CORRECAO DO CONSUMO CALCULADO PARA
      | SITUAR EM TORNO DE 'FAIXA'% DA
150 4      '-----MEDIA
151 4          REG = IDIA + 1
152 4          IF (J > 24) THEN REG = IDIA + 2
153 4          QMED = 0
154 4      '-----CALCULO DO CONSUMO MEDIO DA HORA NO
      | ULTIMO MES
155 5      FOR RE = REG - 28 TO REG - 7 STEP 7
156 5          GET #1, RE
157 5          QAUX = CVS(RQ$(J1))
158 5          QMED = QMED + QAUX / 4
159 4      NEXT RE
160 4      DIFF = ABS((Y(J1, JAUX) - ALFA * QMED)
      / (ALFA * QMED))
161 5      IF ABS((Y(J1, JAUX) - ALFA * QMED) /
      (ALFA * QMED)) > FAIXA THEN
162 5          QATUAL = QATUAL + (ALFA * QMED -
      Y(J1, JAUX)) / MA
163 5          Y(J1, JAUX) = ALFA * QMED
164 5          ALT(JAUX) = ALT(JAUX) + 1
165 4      END IF
166 4      '-----FIM DA CORRECAO
167 4      '-----DESVIO DO CONSUMO CALCULADO DE UMA HORA
      | ISOLADA-----
  
```

```

168 4      NNN(J1, JAUX) = NNN(J1, JAUX) + 1
169 4      SOMAX(J1, JAUX) = SOMAX(J1, JAUX) +
          Q(J + 24)
170 4      SOMAX2X(J1, JAUX) = SOMAX2X(J1, JAUX) +
          Q(J + 24) ^ 2
171 4      SOMAY(J1, JAUX) = SOMAY(J1, JAUX) +
          Y(J1, JAUX)
172 4      SOMAX2Y(J1, JAUX) = SOMAX2Y(J1, JAUX) +
          Y(J1, JAUX) ^ 2
173 4      SOMAXY(J1, JAUX) = SOMAXY(J1, JAUX) +
          Y(J1, JAUX) * Q(J + 24)
174 4      CONOBS = CONOBS + Q(J + 24) * 3.6
175 4      CONCAL = CONCAL + Y(J1, JAUX) * 3.6
176 4      DIF = (CONOBS - CONCAL) * 100 / VOLRES
177 4      DESV(J1, JAUX) = DESV(J1, JAUX) + DIF
178 4      DESV2(J1, JAUX) = DESV2(J1, JAUX) +
          DIF ^ 2
179 4      FLAG1$ = " "
180 4      K = 1
181 5      WHILE FLAG1$ = " " AND K (<= 200
182 6      IF ABS(DIF) < .5 * K THEN
183 6          ERRO(K, JAUX) = ERRO(K, JAUX) + 1
184 6          FLAG1$ = "*"
185 6      ELSE
186 6          K = K + 1
187 5      END IF
188 4      WEND
189 5      IF K = 201 THEN
190 5          ERRO(201, JAUX) = ERRO(201, JAUX) + 1
191 4      END IF
192 4      TTOT(JAUX) = TTOT(JAUX) + 1
193 3      NEXT J
194 3      ----ATUALIZACAO DAS VAZOES DE BASE
195 3      ALFA = 0
196 4      FOR L = 1 TO GRAU
197 4          QBASE(GRAU - L + 1) = QBASE(GRAU - L)
198 4          ALF(GRAU - L + 1) = ALF(GRAU - L)
199 4          ALFA = ALFA + ALF(GRAU - L + 1) /
          (GRAU + 1)
200 3      NEXT L
201 3      QBASE(0) = 0
202 3      ALF(0) = 0
203 3      REG = IDIA + 1
204 4      FOR RE = REG - 28 TO REG - 7 STEP 7
205 5      FOR K = HORA - (MA - 1) TO HORA
206 6      IF K <= 0 THEN
207 6          GET #1, RE - 1
208 6          QAUX = CVS(RQ$(K + 24))
209 6      ELSE
210 6          GET #1, RE
211 6          QAUX = CVS(RQ$(K))
  
```

```

212 5      END IF
213 5      ALF(0) = ALF(0) + Q(K + 24) / (4 *
           QAUX * MA)
214 4      NEXT K
215 3      NEXT RE
216 4      FOR K = HORA - (MA - 1) TO HORA
217 4      QBASE(0) = QBASE(0) + Q(K + 24) / MA
218 3      NEXT K
219 3      ALFA = ALFA + ALF(0) / (GRAU + 1)
220 2      NEXT HORA
221 3      FOR K = 1 TO 24
222 3      Q(K) = Q(K + 24)
223 3      Q(K + 24) = Q(K + 48)
224 2      NEXT K
225 1      NEXT IDIA
226 1      CLOSE #1
227 1      LOCATE 23, 2: PRINT STRING$(60, " ")
228 1      LOCATE 23, 2: INPUT "Prepare a impressora.e
           tecle <ENTER> quando pronto:", ZZ$
229 1      LPRINT CHR$(15)
230 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
231 2      SX2 = 0: SX1 = 0: SY2 = 0: SY1 = 0:
           SYX = 0: NTOT = 0
232 3      FOR I = 1 TO 24
233 3      SXX = SOMA2X(I, J) - SOMAX(I, J) ^ 2 /
           NNN(I, J)
234 3      SYY = SOMA2Y(I, J) - SOMAY(I, J) ^ 2 /
           NNN(I, J)
235 3      SXY = SOMAXY(I, J) - SOMAX(I, J) *
           SOMAY(I, J) / NNN(I, J)
236 3      COR(I, J) = DESV(I, J) / NNN(I, J)
237 3      DESV(I, J) = SQR((DESV2(I, J) / NNN(I,
           J) - (DESV(I, J) / NNN(I, J)) ^ 2) *
           (NNN(I, J) / (NNN(I, J) - 1)))
238 3      SX2 = SX2 + SOMA2X(I, J): SX1 = SX1 +
           SOMAX(I, J)
239 3      SY2 = SY2 + SOMA2Y(I, J): SY1 = SY1 +
           SOMAY(I, J)
240 3      SYX = SYX + SOMAXY(I, J): NTOT = NTOT +
           NNN(I, J)
241 2      NEXT I
242 2      SXX = SX2 - SX1 ^ 2 / NTOT
243 2      SYY = SY2 - SY1 ^ 2 / NTOT
244 2      SXY = SYX - SX1 * SY1 / NTOT
245 2      COR(25, J) = SXY ^ 2 / (SXX * SYY)
246 1      NEXT J
247 1      WIDTH LPRINT 180: LPRINT CHR$(15): LOCATE 1, 1
248 1      LPRINT USING " ARQUIVO : \
           VOLUME DO RESERVATORIO : ##### M3 ";
           ARQ$; VOLRES
249 1      LPRINT USING " DATA INICIAL : #####

```

```
DATA FINAL : ##### FAIXA DE
TOLERANCIA : ##.# "; DIAIN#; DIAFIN#;
FAIXA * 100
250 1 LPRINT USING "
GRAU DO POLINOMIO ## "; GRAU
251 1 LPRINT "
N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL :"; MA
252 1 LPRINT "-----TABELA DE DESVIOS
ACUMULADOS (% VOL)-----"
253 1 LPRINT " ---- HORAS DE ANTECEDENCIA
----
254 1 LPRINT " HORA ";
255 1 PRINT #2, USING " ARQUIVO : \
\ VOLUME DO RESERVATORIO : ##### M3 ";
ARQ#; VOLRES
256 1 PRINT #2, USING " DATA INICIAL : #####
DATA FINAL : ##### FAIXA DE
TOLERANCIA : ##.# "; DIAIN#; DIAFIN#;
FAIXA * 100
257 1 PRINT #2, USING "
GRAU DO POLINOMIO ## "; GRAU
258 1 PRINT #2, "
N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL :"; MA
259 1 PRINT #2, "-----TABELA DE DESVIOS
ACUMULADOS (% VOL)-----"
260 1 PRINT #2, " ---- HORAS DE
ANTECEDENCIA ----
261 1 PRINT #2, " HORA ";
262 2 FOR J = 1 TO ANTMAX
263 2 LPRINT USING "## "; J;
264 2 PRINT #2, USING "## "; J;
265 1 NEXT J
266 1 LPRINT " "
267 1 PRINT #2, " "
268 2 FOR I = 1 TO 25
269 3 FOR IPAR = 1 TO 2
270 4 IF I = 25 THEN
271 5 IF IPAR = 1 THEN
272 5 LPRINT "COR ";
273 5 PRINT #2, "COR ";
274 4 END IF
275 4 ELSE
276 5 IF IPAR = 1 THEN
277 5 LPRINT USING " ## MED "; I;
278 5 PRINT #2, USING " ## MED "; I;
279 5 ELSE
280 5 LPRINT " DES ";
281 5 PRINT #2, " DES ";
282 4 END IF
283 3 END IF
284 4 FOR J = 1 TO ANTMAX
```

```
285 5      IF I = 25 THEN
286 6          IF IPAR = 1 THEN
287 6              LPRINT USING " #.####"; COR(I, J);
288 6              PRINT #2, USING " #.####";
                  COR(I, J);
289 6          ELSE
290 6              LPRINT " ";
291 6              PRINT #2, " ";
292 5          END IF
293 5      ELSE
294 5          X = COR(I, J)
295 5          IF IPAR = 2 THEN X = DESV(I, J)
296 5          LPRINT USING " #####"; X;
297 5          PRINT #2, USING " #####"; X;
298 4      END IF
299 3      NEXT J
300 3      LPRINT " "
301 3      PRINT #2, " "
302 2  NEXT IPAR
303 1  NEXT I
304 1  LPRINT CHR$(12)
305 1  '-----IMPRESSAO DA TABELA DE ERROS DE
          VOLUMES ACUMULADOS-----
306 1  LPRINT USING " ARQUIVO : \
          VOLUME DO RESERVATORIO : ##### M3 ";
          ARQ$; VOLRES
307 1  LPRINT USING " DATA INICIAL : #####
          DATA FINAL : ##### FAIXA DE
          TOLERANCIA : ##.# "; DIAIN#; DIAFIN#;
          FAIXA * 100
308 1  LPRINT USING "
          GRAU DO POLINOMIO  ## "; GRAU
309 1  LPRINT "
          N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL : "; MA
310 1  LPRINT " -----TABELA DE
          OCORRENCIAS DE ERROS DE VOLUMES
          ACUMULADOS -----"
311 1  LPRINT " ----- HORAS DE
          ANTECEDENCIA-----"
312 1  LPRINT " CLASSE ";
313 1  PRINT #3, USING " ARQUIVO : \
          \ VOLUME DO RESERVATORIO : ##### M3 ";
          ARQ$; VOLRES
314 1  PRINT #3, USING " DATA INICIAL : #####
          DATA FINAL : ##### FAIXA DE
          TOLERANCIA : ##.# "; DIAIN#; DIAFIN#;
          FAIXA * 100
315 1  PRINT #3, USING "
          GRAU DO POLINOMIO  ## "; GRAU
316 1  PRINT #3, "
          N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL : "; MA
```

```
317 1      PRINT #3, "          -----TABELA DE
          OCORRENCIAS DE ERROS DE VOLUMES
          ACUMULADOS -----"
318 1      PRINT #3, "          ----- HORAS DE
          ANTECEDENCIA-----"
319 1      PRINT #3, " CLASSE ";
320 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
321 2      LPRINT USING "#####"; J;
322 2      PRINT #3, USING "#####"; J;
323 1      NEXT J
324 1      LPRINT " "
325 1      PRINT #3, " "
326 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
327 2      SERR(J) = 0
328 1      NEXT J
329 1      'FOR I = 1 TO 201
330 1      I = 1
331 2      WHILE I <= 201
332 3      IF (INT(I / 50) * 50) = I THEN
333 3      LPRINT CHR$(12)
334 3      '-----IMPRESSAO DA TABELA DE ERROS DE
          VOLUMES ACUMULADOS-----
335 3      LPRINT USING " ARQUIVO : \
          \ VOLUME DO RESERVATORIO :
          ##### M3 "; ARQ$; VOLRES
336 3      LPRINT USING " DATA INICIAL : #####
          DATA FINAL : ##### FAIXA DE
          TOLERANCIA : ##.# "; DIAIN#;
          DIAFIN#; FAIXA * 100
337 3      LPRINT USING "
          GRAU DO POLINOMIO ## ";
          GRAU
338 3      LPRINT "
          N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL :"; MA
339 3      LPRINT "          -----TABELA DE
          OCORRENCIAS DE ERROS DE VOLUMES
          ACUMULADOS -----"
340 3      LPRINT "          ----- HORAS
          DE ANTECEDENCIA-----"
341 3      LPRINT " CLASSE ";
342 3      PRINT #3, USING " ARQUIVO : \
          \ VOLUME DO RESERVATORIO :
          ##### M3 "; ARQ$; VOLRES
343 3      PRINT #3, USING " DATA INICIAL :
          ##### DATA FINAL : #####
          FAIXA DE TOLERANCIA : ##.# ";
          DIAIN#; DIAFIN#; FAIXA * 100
344 3      PRINT #3, USING "
          GRAU DO POLINOMIO ## ";
          GRAU
345 3      PRINT #3, "
```

```

                                N. DE HORAS PARA MEDIA MOVEL :
                                "; MA
346 3      PRINT #3, "          -----TABELA
                                DE OCORRENCIAS DE ERROS DE VOLUMES
                                ACUMULADOS -----"
347 3      PRINT #3, "          -----
                                HORAS DE ANTECEDENCIA-----"
348 3      PRINT #3, " CLASSE ";
349 4      FOR J = 1 TO ANTMAX
350 4          LPRINT USING "#####"; J;
351 4          PRINT #3, USING "#####"; J;
352 3      NEXT J
353 3      LPRINT " "
354 3      PRINT #3, " "
355 2      END IF
356 2      LPRINT USING " ##. #-##. #"; (I - 1) * .5;
                                (I * .5);
357 2      PRINT #3, USING " ##. #-##. #"; (I - 1) * .5;
                                (I * .5);
358 3      FOR J = 1 TO ANTMAX
359 3          SERR(J) = SERR(J) + ERRO(I, J) * 100 /
                                TTOT(J)
360 3          LPRINT USING "#####"; SERR(J);
361 3          PRINT #3, USING "#####"; SERR(J);
362 2      NEXT J
363 2      IF SERR(ANTMAX) >= 99.99 THEN I = 202
364 2      LPRINT " "
365 2      PRINT #3, " "
366 2      I = I + 1
367 1      WEND
368 1      LPRINT " TOTAL ";
369 1      PRINT #3, " TOTAL ";
370 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
371 2          LPRINT USING "#####"; TTOT(J);
372 2          PRINT #3, USING "#####"; TTOT(J);
373 1      NEXT J
374 1      LPRINT " "
375 1      PRINT #3, " "
376 1      LPRINT "CORRIGIDO";
377 1      PRINT #3, "CORRIGIDO";
378 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
379 2          LPRINT USING "#####"; ALT(J);
380 2          PRINT #3, USING "#####"; ALT(J);
381 1      NEXT J
382 1      LPRINT " "
383 1      PRINT #3, " "
384 1      LPRINT CHR$(12)
385 1      CLS : LOCATE 23, 1: INPUT "DESEJA CONTINUAR
                                (S/N) ?"; RESP$
386 2      IF RESP$ = "S" OR RESP$ = "s" THEN
387 2          FLAG = 1
```

```
388 2      CLS : FLAG = 1: SCREEN 2: LINE (0,  
           0)-(600, 24), , B: LINE (0, 26)-(600,  
           160), , B  
389 2      LINE (0, 164)-(600, 190), , B  
390 2      LOCATE 2, 2: PRINT "PREVISAO DE CONSUMOS  
           POR AJUSTE DE SERIE DE TAYLOR 7-12-89"  
391 2      ELSE  
392 2      FLAG = 0  
393 1      END IF  
394      WEND  
395      END  
396
```



```
1      'PREVIS11.BAS
2      '-----Programa para verificacao da
3          correlacao entre consumos-----'
4      '-----observados e gerados por serie de
5          Fourier com antecedencias variaveis-----'
6      '-----de 1 a 24 horas com correcao de
7          alfa e atualizacao horaria do
8          harmonico. .VERSAO 13-12-89-----'
9
10     DIM Q(150), Y(30, 30), SOMA(30, 30),
11         SOMA2(30, 30), SOMAXY(30, 30)
12     DIM S11(30, 30), S12(30), S13(30), S21(30,
13         30), S22(30), S23(30), COR(30, 30)
14     DIM QANT(30), QBASE(30), C(30), FAT(30),
15         ERRO(230, 30), RQ$(30), ALF(30)
16     DIM ALT(30), TTOT(30), QQ(200), A(50),
17         B(50), HARM(250), QR(250), NEL(30, 30)
18
19     DIM QQQ(180), SERR(24), DESV(24, 24),
20         DESV2(24, 24)
21     CLS : FLAG = 1: PI = 4 * ATN(1)
22     SCREEN 2: LINE (0, 0)-(600, 24), , B:
23         LINE (0, 26)-(600, 160), , B
24     LINE (0, 164)-(600, 190), , B
25     LOCATE 2, 2: PRINT "PROGRAMA PARA PREVISAO
26         DE CONSUMOS POR SERIE DE FOURIER
27         12-03-90"
28     'SCREEN 2: LINE (0, 0)-(560, 160), , B
29     LOCATE 5, 3: INPUT "Nome do arquivo de
30         consumos..... : ", ARQ$
31     LOCATE 7, 3: INPUT "Volume do reservatorio...
32         ..... : ", VOLRES
33
34     WHILE FLAG = 1
35         OPEN ARQ$ FOR RANDOM AS #1 LEN = 104
36         FIELD #1, 8 AS RDIA$
37         RECL% = 8
38         FOR HORA = 1 TO 24
39             FIELD #1, RECL% AS OFFSET$, 4 AS
40                 RQ$(HORA)
41             RECL% = RECL% + 4
42         NEXT HORA
43         LOCATE 9, 3: INPUT "N. de horas max. de
44             antecedencia.. : ", ANTMAX
45         LOCATE 11, 3: INPUT "N. de harmonicos.....
46             ..... : ", M
47         LOCATE 13, 3: INPUT "N. de horas de
48             base..... : ", GRAU
49         LOCATE 15, 3: INPUT "Faixa de tolerancia
50             de desvio(%).. : ", FAIXA
51         '----- INICIALIZACAO -----'
52
53         FOR I = 1 TO 24
54             S12(I) = 0
55             S13(I) = 0
56             S22(I) = 0
```

```
35 2      S23(I) = 0
36 2      TTOT(I) = 0
37 2      ALT(I) = 0
38 2
39 3      FOR J = 1 TO 24
40 3          S11(I, J) = 0
41 3          S21(I, J) = 0
42 3          SOMA(I, J) = 0
43 3          NEL(I, J) = 0
44 3          SOMA2(I, J) = 0
45 3          SOMAXY(I, J) = 0
46 3          COR(I, J) = 0
47 3          ERRO(I, J) = 0
48 3          DESV(I, J) = 0
49 3          DESV2(I, J) = 0
50 3
51 2      NEXT J
52 1      NEXT I
53 1
-----
54 1      GET #1, 1
55 1      NDIAS# = CVD(RDIA$)
56 1      REGIN = 0
57 2      WHILE REGIN = 0
58 2          LOCATE 17, 3: INPUT "N. de ordem do 1º
                    dia a gerar (>28): ", REGIN
59 2          LOCATE 19, 3: INPUT "N. de ordem do
                    ultimo dia a gerar..: ", NDIAS#
60 3          IF REGIN < 29 OR (NDIAS# - REGIN) < 3
                    THEN
61 3              REGIN = 0
62 3              LOCATE 15, 2: PRINT STRING$(70, " ")
63 3              LOCATE 17, 2: PRINT STRING$(70, " ")
64 2          END IF
65 1      WEND
66 1      'SCREEN 0
67 1      GET #1, REGIN
68 1      DIAIN# = CVD(RDIA$)
69 1      GET #1, NDIAS#
70 1      DIAFIN# = CVD(RDIA$)
71 1      '-----RASCUNHO-----
72 1      OPEN "LIX01.DAT" FOR OUTPUT AS #2
73 1      'K1 = 1
74 1      OPEN "LIX02.DAT" FOR OUTPUT AS #3
75 1      'K2 = 1
76 1      OPEN "LIX03.DAT" FOR OUTPUT AS #4
77 1      'K3 = 1
78 1      OPEN "LIX04.DAT" FOR OUTPUT AS #5
79 1      'K4 = 1
80 1      OPEN "LIX05.DAT" FOR OUTPUT AS #6
81 1      'K5 = 1
82 1      OPEN "LIX06.DAT" FOR OUTPUT AS #7
83 1      'K6 = 1
84 1      OPEN "LIX07.DAT" FOR OUTPUT AS #8
85 1      'K7 = 1
```

```
86 1      OPEN "LIX08.DAT" FOR OUTPUT AS #9
87 1      'K8 = 1
88 1      OPEN "LIX09.DAT" FOR OUTPUT AS #10
89 1      'K9 = 1
90 1      OPEN "LIX010.DAT" FOR OUTPUT AS #11
91 1      'K10 = 1
92 1      OPEN "LIX011.DAT" FOR OUTPUT AS #12
93 1
94 1      '-----FIM DO RASCUNHO -----
95 2      FOR REG = REGIN TO NDIAS#
96 2          GET #1, REG
97 2          DIA# = CVD(RDIA#)
98 2          LOCATE 23, 2: PRINT USING "DIA=
          ##### "; DIA#
99 2
100 3      IF REG = REGIN THEN
101 3          GET #1, REGIN - 1
102 4          FOR L = 24 - GRAU + 1 TO 24
103 4              QBASE(24 - L) = CVS(RQ$(L))
104 3          NEXT L
105 2      END IF
106 2
107 2      LL = 0
108 2      SOMAQQ = 0
109 2
110 3      FOR RE = REG TO REG + 1
111 3
112 3          GET #1, RE
113 3
114 4          FOR J = 1 TO 24
115 4              ICONT = 24 * (RE - REG) + J
116 4              Q(ICONT) = CVS(RQ$(J))
117 3          NEXT J
118 3
119 2      NEXT RE
120 2
121 2      '-----LEITURA DAS VAZOES DOS DIAS REG-7 A
      REG-1 -----
122 3      FOR R = REG - 7 TO REG - 1
123 3          GET #1, R
124 4          FOR L = 1 TO 24
125 4              QQ(LL) = CVS(RQ$(L))
126 4              SOMAQQ = SOMAQQ + QQ(LL)
127 4              LL = LL + 1
128 3          NEXT L
129 2      NEXT R
130 2      N = 7 * 24 / 2
131 2      A(0) = SOMAQQ / (2 * N)
132 2      '-----AJUSTE DO HARMONICO (M=N. DE
      HARMONICOS) -----
133 2      LOCATE 23, 25: PRINT STRING$(15, " ")
134 2      LOCATE 23, 25: PRINT "K = ";
135 3      FOR K = 1 TO M
136 3          LOCATE 23, 29: PRINT K
137 3
```

```
138 3      A(K) = 0: B(K) = 0
139 4      FOR J = 0 TO (2 * N - 1)
140 4          A(K) = A(K) + QQ(J) * COS(K * PI *
              J / N)
141 4          B(K) = B(K) + QQ(J) * SIN(K * PI *
              J / N)
142 3      NEXT J
143 3      A(K) = A(K) / N
144 3      B(K) = B(K) / N
145 2      NEXT K
146 2
147 2      '-----DEFINICAO DOS HARMONICOS DAS
              HORAS-BASE -----
148 2
149 3      FOR L = 168 - GRAU + 1 TO 168
150 3          ICONT = L - 1
151 3          HARM(L) = A(0)
152 4          FOR K = 1 TO M
153 4              HARM(L) = HARM(L) + A(K) * COS(K *
                  PI * ICONT / N) + B(K) * SIN(K
                  * PI * ICONT / N)
154 3          NEXT K
155 2      NEXT L
156 2
157 2      '-----DEFINICAO DOS ALFA DAS HORAS-BASE
158 2
159 2      ALFA = 0
160 3      FOR L = 0 TO GRAU - 1
161 3          ALF(L) = QBASE(L) / HARM(168 - L)
162 3          ALFA = ALFA + ALF(L) / GRAU
163 2      NEXT L
164 2
165 2      '-----DEFINICAO DOS HARMONICOS DA HORA 1
              ATE HORA 24 + ANTMAX
166 2
167 3      FOR L = 1 TO 24 + ANTMAX - 1
168 3          ICONT = L - 1
169 3          HARM(L) = A(0)
170 4          FOR K = 1 TO M
171 4              HARM(L) = HARM(L) + A(K) * COS(K *
                  PI * ICONT / N) + B(K) * SIN(K
                  * PI * ICONT / N)
172 3          NEXT K
173 2      NEXT L
174 2
175 2      '-----GERACAO DOS CONSUMOS A PARTIR DA
              HORA 1 ATE 24
176 2
177 2      'OPEN "LIX012.DAT" FOR OUTPUT AS #12
178 3      FOR HORA = 1 TO 24
179 3          '-----RASCUNHO-----
180 3          'LPRINT USING " VALORES DE A(K) E B(K)
              PARA O DIA ##### HORA ##"; DIA#,
              HORA
181 3          'FOR K = 1 TO M
```

```
182 3      'LPRINT USING " K= ##      A=
          ###.####^" B= ###.####^"; K;
          A(K); B(K)
183 3      'NEXT K
184 3      -----FIM DO RASCUNHO
185 3      LOCATE 23, 25: PRINT "HORA= "; HORA
186 3      CONOBS = 0
187 3      CONCAL = 0
188 3      -----GERACAO DOS CONSUMOS COM ANTECEDENCIAS
          VARIAVEIS
189 4      FOR L = HORA TO HORA + ANTMAX
190 4          JAUX = L - HORA + 1
191 4          LAUX = L
192 4          IF L > 24 THEN LAUX = L - 24
193 4          Y(LAUX, JAUX) = HARM(L) * ALFA
194 4      -----CORRECAO DO CONSUMO CALCULADO PARA
          | SITUAR
195 4      -----EM TORNO DE FAIXA % DA MEDIA
196 4          RE = REG
197 4          IF L > 24 THEN RE = REG + 1
198 4          QMED = 0
199 4      -----CALCULO DO CONSUMO MEDIO DO
          UKTIMO MES
200 5      FOR REGI = RE - 28 TO RE - 7 STEP 7
201 5          GET #1, REGI
202 5          QAUX = CVS(RQ$(JAUX))
203 5          QMED = QMED + QAUX / 4
204 4      NEXT REGI
205 5      IF ABS((Y(LAUX, JAUX) - ALFA *
          QMED) / (ALFA * QMED)) > FAIXA
          THEN
206 5          Y(LAUX, JAUX) = ALFA * QMED
207 5          ALT(JAUX) = ALT(JAUX) + 1
208 4      END IF
209 4
210 4      -----RASCUNHO-----
211 5      IF JAUX = 1 THEN
212 5          PRINT #2, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
          HARM(L), LAUX
213 5      'K1 = K1 + 1
214 4      END IF
215 5      IF JAUX = 2 THEN
216 5          PRINT #3, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
          HARM(L), LAUX
217 5      'K2 = K2 + 1
218 4      END IF
219 5      IF JAUX = 3 THEN
220 5          PRINT #4, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
          HARM(L), LAUX
221 5      'K3 = K3 + 1
222 4      END IF
223 5      IF JAUX = 4 THEN
224 5          PRINT #5, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
          HARM(L), LAUX
225 5      'K4 = K4 + 1
```

```

226 4      END IF
227 5      IF JAUX = 5 THEN
228 5          PRINT #6, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
              HARM(L), LAUX
229 5      'K5 = K5 + 1
230 4      END IF
231 5      IF JAUX = 6 THEN
232 5          PRINT #7, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
              HARM(L), LAUX
233 5      'K6 = K6 + 1
234 4      END IF
235 5      IF JAUX = 7 THEN
236 5          PRINT #8, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
              HARM(L), LAUX
237 5      'K7 = K7 + 1
238 4      END IF
239 5      IF JAUX = 8 THEN
240 5          PRINT #9, L, Q(L), Y(LAUX, JAUX),
              HARM(L), LAUX
241 5      'K8 = K8 + 1
242 4      END IF
243 5      IF JAUX = 9 THEN
244 5          PRINT #10, L, Q(L), Y(LAUX,
              JAUX), HARM(L), LAUX
245 5      'K9 = K9 + 1
246 4      END IF
247 5      IF HORA = 10 THEN
248 5          PRINT #11, L0, Q(L), Y(LAUX,
              JAUX), HARM(L), LAUX
249 5      'K10 = K10 + 1
250 4      END IF
251 4      -----FIM DO RASCUNHO
252 4
253 4
254 4      NEL(LAUX, JAUX) = NEL(LAUX, JAUX) + 1
255 4      S11(LAUX, JAUX) = S11(LAUX, JAUX) +
              Q(L)
256 4      S21(LAUX, JAUX) = S21(LAUX, JAUX) +
              Q(L) ^ 2
257 4      SOMA(LAUX, JAUX) = SOMA(LAUX, JAUX)
              + Y(LAUX, JAUX)
258 4      SOMA2(LAUX, JAUX) = SOMA2(LAUX,
              JAUX) + Y(LAUX, JAUX) ^ 2
259 4      SOMAXY(LAUX, JAUX) = SOMAXY(LAUX,
              JAUX) + Y(LAUX, JAUX) * Q(L)
260 4      CONOBS = CONOBS + Q(L) * 3.6
261 4      CONCAL = CONCAL + Y(LAUX, JAUX) * 3.6
262 4      DIF = (CONOBS - CONCAL) * 100 /
              VOLRES
263 4      DESV(LAUX, JAUX) = DESV(LAUX, JAUX)
              + DIF
264 4      DESV2(LAUX, JAUX) = DESV2(LAUX,
              JAUX) + DIF ^ 2
265 4      IF DIF > 30 THEN
266 4          PRINT "HORA= "; HORA; " L = ";

```

```

267 4          L: INPUT ZZ$
268 4          'END IF
269 4          IF JAUX = 7 THEN PRINT #12, DIF
270 4          FLAG1$ = " "
271 5          K = 1
272 6          WHILE FLAG1$ = " " AND K <= 200
273 6              IF ABS(DIF) < .5 * K THEN
274 6                  ERRO(K, JAUX) = ERRO(K, JAUX) + 1
275 6                  FLAG1$ = "*"
276 6              ELSE
277 5                  K = K + 1
278 4              END IF
279 5          WEND
280 5          IF K = 201 THEN
281 4              ERRO(201, JAUX) = ERRO(201, JAUX)
282 4              + 1
283 3          END IF
284 3          TTOT(JAUX) = TTOT(JAUX) + 1
285 3          NEXT L
286 4          -----ATUALIZACAO DAS VAZoes DE BASE -----
287 4          FOR J = 1 TO GRAU - 1
288 4              QBASE(GRAU - J) = QBASE(GRAU - J - 1)
289 3              ALF(GRAU - J) = ALF(GRAU - J - 1)
290 3          NEXT J
291 3          QBASE(0) = Q(HORA)
292 3          ALF(0) = Q(HORA) / HARM(HORA)
293 4          ALFA = 0
294 4          FOR J = 0 TO GRAU - 1
295 3              ALFA = ALFA + ALF(J) / GRAU
296 3          NEXT J
297 3          SOMAQQ = SOMAQQ - QQ(HORA - 1) +
298 3              Q(HORA)
299 3          'PRINT HORA, QQ(HORA - 1), Q(HORA):
300 4          INPUT ZZ$
301 4          A(0) = SOMAQQ / (2 * N)
302 4          FOR K = 1 TO M
303 3              A(K) = A(K) * N - QQ(HORA - 1) *
304 4                  COS(K * PI * (HORA - 1) / N)
305 4              B(K) = B(K) * N - QQ(HORA - 1) *
306 4                  SIN(K * PI * (HORA - 1) / N)
307 4          NEXT K
308 4          FOR K = 1 TO M
309 4              QQ(HORA - 1) = Q(HORA)
310 3              A(K) = A(K) + QQ(HORA - 1) * COS(K
311 4                  * PI * (HORA - 1) / N)
312 4              B(K) = B(K) + QQ(HORA - 1) * SIN(K
313 4                  * PI * (HORA - 1) / N)
314 4              A(K) = A(K) / N
315 4              B(K) = B(K) / N
316 3          NEXT K
317 4          FOR L = HORA + 1 TO 24 + ANTMAX
318 4              ICONT = L - 1
319 4              HARM(L) = A(0)

```

```
314 5      FOR K = 1 TO M
315 5      HARM(L) = HARM(L) + A(K) * COS(K
          * PI * ICONT / N) + B(K) *
          SIN(K * PI * ICONT / N)
316 4      NEXT K
317 4      PRINT #12, DIA#, HORA, L, HARM(L)
318 3      NEXT L
319 2      NEXT HORA
320 1      NEXT REG
321 1      CLOSE
322 1      '-----RASCUNHO-----
323 1      'CLOSE #2
324 1      '----- FIM DO RASCUNHO
325 1      LOCATE 23, 2: PRINT STRING$(60, " ")
326 1      LOCATE 23, 2: INPUT "Prepare a Impressora
          e Tecle <ENTER> Quando Pronto :", ZZ$

327 1
328 1      LPRINT CHR$(15)
329 1
330 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
331 2          SX2 = 0: SX1 = 0: SY2 = 0: SY1 = 0:
          SYX = 0: NTOT = 0

332 2          FOR I = 1 TO 24
333 3              IF J > I THEN
334 4                  DESV(I, J) = 0
335 4                  DESV2(I, J) = 0
336 4              ELSE
337 4
338 4                  SXX = S21(I, J) - S11(I, J) ^ 2 /
339 4                      NEL(I, J)
340 4                  SYY = SOMA2(I, J) - (SOMA(I, J) ^
341 4                      2) / NEL(I, J)
342 4                  SXY = SOMAXY(I, J) - S11(I, J) *
343 4                      SOMA(I, J) / NEL(I, J)
344 4                  B = SOMAXY(I, J) / S21(I, J)
345 4                  'COR(I, J) = (SXY ^ 2) / (SXX *
                      SYY)
346 4                  COR(I, J) = DESV(I, J) / NEL(I, J)
347 4                  DESV(I, J) = SQR((DESV2(I, J) /
348 4                      NEL(I, J) - (DESV(I, J) /
349 4                      NEL(I, J)) ^ 2) * (NEL(I, J) /
350 4                      (NEL(I, J) - 1)))
351 4
352 4                  SX2 = SX2 + S21(I, J)
353 4                  SX1 = SX1 + S11(I, J)
354 4                  SY2 = SY2 + SOMA2(I, J)
355 4                  SY1 = SY1 + SOMA(I, J)
356 4                  SYX = SYX + SOMAXY(I, J)
357 4                  NTOT = NTOT + NEL(I, J)
          END IF
      NEXT I

          SXX = SX2 - SX1 ^ 2 / NTOT
          SYY = SY2 - SY1 ^ 2 / NTOT
```



```
358 2      SXY = SYX - SX1 * SY1 / NTOT
359 2      COR(25, J) = SXY ^ 2 / (SXX * SYY)
360 1
361 1      NEXT J
          WIDTH LPRINT 180: LPRINT CHR$(15):
          LOCATE 1, 1
362 1      LPRINT "PREVISAO POR HARMONICOS "
363 1      LPRINT USING " ARQUIVO : \
          \ VOLUME DO RESERVATORIO :
          ##### M3 "; ARQ$, VOLRES
364 1      LPRINT USING " DATA INICIAL : #####
          DATA FINAL : ##### "; DIAIN#,
          DIAFIN#
365 1      LPRINT USING " N. DE HORAS DE BASE :
          ## "; GRAU
366 1      LPRINT USING "
          N. DE HARMONICOS : ## "; M
367 1      LPRINT "-----TABELA DE DESVIOS
          ACUMULADOS (%VOL)-----"
368 1      LPRINT "      ---- HORAS DE
          ANTECEDENCIA ----"
369 1      LPRINT " HORA ";
370 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
371 2          LPRINT USING "## "; J;
372 1      NEXT J
373 1      LPRINT " "
374 2      FOR I = 1 TO 25
375 3          FOR IPAR = 1 TO 2
376 4              IF I = 25 THEN
377 4                  IF IPAR = 1 THEN LPRINT "COR ";
378 4              ELSE
379 5                  IF IPAR = 1 THEN
380 5                      LPRINT USING " ## MED "; I;
381 5                  ELSE
382 5                      LPRINT " DES ";
383 4                  END IF
384 3              END IF
385 3
386 4              FOR J = 1 TO ANTMAX
387 5                  IF I = 25 THEN
388 6                      IF IPAR = 1 THEN
389 6                          LPRINT USING " #.####";
                          COR(I, J);
390 6                      ELSE
391 6                          LPRINT " ";
392 5                      END IF
393 5                  ELSE
394 5                      X = COR(I, J)
395 5                      IF IPAR = 2 THEN X = DESV(I, J)
396 5                      LPRINT USING " #####"; X;
397 4                  END IF
398 3              NEXT J
399 3              LPRINT " "
400 2          NEXT IPAR
401 1      NEXT I
402 1      LPRINT CHR$(12)
```

```
403 1
404 1      '-----IMPRESSAO DA TABELA DE ERROS DE
          VOLUMES ACUMULADOS-----
405 1
406 1      LPRINT "PREVISAO POR HARMONICOS "
407 1      LPRINT USING " ARQUIVO : \
          \ VOLUME DO RESERVATORIO :
          ##### M3 "; ARQ$, VOLRES
408 1      LPRINT USING " DATA INICIAL : #####
          DATA FINAL : ##### "; DIAIN#,
          DIAFIN#
409 1      LPRINT USING " N. DE HORAS DE BASE :
          ## "; GRAU
410 1      LPRINT USING "
          N. DE HARMONICOS : ## "; M
411 1
412 1      LPRINT "          -----TABELA DE
          OCORRENCIAS DE ERROS DE VOLUMES
          ACUMULADOS -----"
413 1      LPRINT "          ----- HORAS DE
          ANTECEDENCIA-----"
414 1      LPRINT " CLASSE ";
415 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
416 2          LPRINT USING "#####"; J;
417 1      NEXT J
418 1      LPRINT " "
419 2      FOR J = 1 TO ANTMAX
420 2          SERR(J) = 0
421 1      NEXT J
422 2      FOR I = 1 TO 201
423 2          LPRINT USING " ##.##-##.##"; (I - 1) * .5;
          (I * .5);
424 3          FOR J = 1 TO ANTMAX
425 3              SERR(J) = SERR(J) + ERRO(I, J) * 100
          / TTOT(J)
          LPRINT USING "#####"; SERR(J);
426 3          NEXT J
427 2          LPRINT " "
428 2          NEXT I
429 1      LPRINT " TOTAL ";
430 1      FOR J = 1 TO ANTMAX
431 2          LPRINT USING "#####"; TTOT(J);
432 2          NEXT J
433 1      LPRINT " "
434 1      LPRINT "CORRIGIDO";
435 1      FOR J = 1 TO ANTMAX
436 2          LPRINT USING "#####"; ALT(J);
437 2          NEXT J
438 1      LPRINT " "
439 1      LPRINT CHR$(12)
440 1      LOCATE 23, 2: PRINT STRING$(60, " ")
441 1      LOCATE 23, 2: INPUT "DESEJA CONTINUAR
          (S/N) ?"; RESP$
442 1
443 2      IF RESP$ = "S" OR RESP$ = "s" THEN
444 2          FLAG = 1
```

CLS : FLAG = 1: SCREEN 2: LINE (0,	445	2
0)-(600, 24), , B: LINE (0,		
26)-(600, 160), , B	446	2
LINE (0, 164)-(600, 190), , B	447	2
LOCATE 2, 2: PRINT "PROGRAMA PARA		
PREVISAO DE CONSUMOS POR SERIE DE		
FOURIER "7-12-89"	448	2
ELSE	449	2
FLAG = 0	450	1
END IF	451	
WEND	452	
END	453	
	454	
	455	
	456	