UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

ACOPLAMENTO DE UM
MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ÁGUA A UM
MODELO SIMULADOR EM TEMPO REAL –
ESTUDO DE CASO:
SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO

Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, para concorrer ao Título de
Mestre, pelo curso de Pós-Graduação
em Engenharia – Área de concentração:
Engenharia Hidráulica.

São Paulo
2.003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

**ACOPLAMENTO DE UM
MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ÁGUA A UM
MODELO SIMULADOR EM TEMPO REAL –
UM ESTUDO DE CASO:
SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO**

Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, para concorrer ao Título de
Mestre, pelo curso de Pós-Graduação
em Engenharia – Área de
concentração: Engenharia Hidráulica.

Orientador: Prof. Dr. Kamel Zahed Filho

**São Paulo
2.003**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 03 de fevereiro de 2004.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Borges, Viviana Marli Nogueira Aquino

Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real, um estudo de caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo / V.M.N.A. Borges. -- ed.rev. -- São Paulo, 2004.

206 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

**1.Distribuição de água 2.Demanda (Previsão; Modelo) 3.Ope-
ração em tempo real I.Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária
II.t.**

*A minha mãe, que permaneceu
presente, eu dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Ao amigo que orienta minha vida profissional, acadêmica, pessoal, e tanto contribui para meus êxitos, professor doutor Kamel Zahed Filho, meu profundo agradecimento.

Agradeço ao Carlos Alberto Mendes dos Santos, pessoa que muito me incentivou a iniciar este trabalho e que hoje, desejo compartilhar esse momento de alegria.

Externo minha gratidão à engenheira Rosmeiry Vanzella Vicente e o engenheiro Guilherme da Costa Silva que além de suas amizades, ajudaram-me na linguagem de programação deste trabalho.

A Sabesp, todos os meus superiores ao longo deste estudo, que permitiram minha frequência às aulas e o uso das informações para a realização deste trabalho, meu agradecimento.

Agradeço a engenheira Elizabeth Amadio, minha amiga do curso de mestrado, pelos fins de semana e pelas noites de estudo e pela reprodução deste volume.

A Jussara Lima, pela sua dedicação na produção dos mapas do sistema adutor e produtor, minha gratidão.

A minha amiga, engenheira Herenice Moreira que me acompanhou durante toda essa trilha e compartilhou dos momentos mais difíceis.

Aos meus pais e minha irmã agradeço o apoio, o incentivo, a torcida e a confiança.

Aos meus familiares e meus amigos agradeço a amizade e compreensão pelas minhas ausências.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. OBJETIVO	1
2. INTRODUÇÃO.....	3
3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS – DEMANDA DE ÁGUA	8
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1. Controle Operacional.....	18
4.2. Modelos de Previsão de Demanda.....	19
4.3. Modelos Simuladores	33
4.4. Modelos de Otimização.....	39
5. METODOLOGIA.....	47
6. MODELO DE OPERAÇÃO.....	50
6.1. Modelo de Previsão de Demanda Escolhido	53
6.2. Modelo Simulador Escolhido.....	54
7. ESTUDO DE CASO	57
7.1. Características Locais.....	57
7.1.1. SAM	57
7.1.2. Sistema de Controle	63
7.1.3. Estudos de consumo do SAM.....	78
7.2. Dados Disponíveis.....	80
7.2.1. Topologia	80
7.2.2. Dados operacionais	86

7.3. Resultados	89
7.3.1. Dados operacionais	89
7.3.2. Calibração.....	90
7.3.3. Previsão	94
7.3.4. Operação.....	103
8. CONCLUSÕES	123
ANEXO A.....	129
ANEXO B	190
ANEXO C	197
ANEXO D.....	199
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma dos tipos de técnicas utilizadas para previsão de demanda de água (Jain & Ormsbee - 2002).....	14
Figura 3.2 – Fluxograma das formas de identificação de padrões na análise de série temporal (Statsoft – 2002).....	16
Figura 3.3– Fluxograma das formas de estimativa e previsão na análise de série temporal (Statsoft – 2002)	17
Figura 6.1 – Tela de entrada da interface desenvolvida	51
Figura 6.2 –Tela de apresentação do modelo EPANET	55
Figura 7.1 – Esquema hidráulico do Sistema Adutor Metropolitano.....	59
Figura 7.2 – Sistemas produtores do região metropolitana de São Paulo	60
Figura 7.3 – Topologia do sistema Alto Tietê	62
Figura 7.4 – Sistema de transmissão dos dados de campo para o SCOA	65
Figura 7.5 – Sistema de controle operacional do SAM.....	66
Figura 7.6 – Módulos de funcionamento do SCOA	70
Figura 7.7 – Interface do módulo SDS.....	72
Figura 7.8 – Tela de inicialização do HDS	73
Figura 7.9 – Tela de inicialização do WaterCAD.....	74
Figura 7.10 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaquera.....	94
Figura 7.11 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório São Miguel	95
Figura 7.12 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaim.....	97
Figura 7.13 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Guaianazes	98
Figura 7.14 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Suzano	99
Figura 7.15 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Brás Cubas	99
Figura 7.16 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Poá	100
Figura 7.17 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Ferraz de Vasconcelos.....	101

Figura 7.18 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaquaquecetuba.....	102
Figura 7.19 – Operação real do <i>booster</i> Passagem Funda Zona Baixa (06/05/02) ..	105
Figura 7.20 – Operação real do <i>booster</i> Santa Etelvina (06/05/02)	105
Figura 7.21 – Operação real do <i>booster</i> Sam Leste (06/05/02).....	106
Figura 7.22 – Operação real do <i>booster</i> Brás Cubas (06/05/02).....	106
Figura 7.23 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaquera (06/05/02)	109
Figura 7.24 – Operação real da válvula de entrada do reservatório São Miguel (06/05/02)	109
Figura 7.25 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaim (06/05/02)	109
Figura 7.26 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Suzano (06/05/02)	109
Figura 7.27 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Brás Cubas (06/05/02)	109
Figura 7.28 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Poá (06/05/02).	109
Figura 7.29 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaquaquecetuba (06/05/02)	110
Figura 7.30 – Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Itaim (06/05/02)	113
Figura 7.31 – Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Itaquaquecetuba (06/05/02).....	113
Figura 7.32 - Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Poá (06/05/02).....	113
Figura 7.33 – Operação simulada com previsão perfeita do <i>booster</i> Sam Leste (06/05/02).....	113
Figura 7.34 – Operação simulada com modelo de previsão no Itaim (06/05/02).....	117
Figura 7.35 – Operação simulada com modelo de previsão no Itaquaquecetuba (06/05/02)	117
Figura 7.36 – Operação simulada com modelo de previsão no Poá (06/05/02)	117
Figura 7.37 – Operação simulada com previsão perfeita do <i>booster</i> Sam Leste (06/05/02)	117

Figura 7.38 – Operação com readequação e com modelo de previsão no Itaim (06/05/02)	119
Figura 7.39 – Operação com readequação e com modelo de previsão no Itaquaquecetuba (06/05/02)	119
Figura 7.40 – Operação com readequação e com modelo de previsão no Poá (06/05/02)	119
Figura 7.41 – Operação com readequação e com previsão perfeita do <i>booster</i> Sam Leste (06/05/02)	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 7.1 – Formato sintetizado da apresentação do aplicativo HDS.....	76
TABELA 7.2 – Resumo das dimensões das adutoras de parte do sistema Alto Tietê	82
TABELA 7.3 – Capacidade dos reservatórios de parte do sistema Alto Tietê.....	82
TABELA 7.4 – Pontos de demanda de água na representação do sistema Alto Tietê	83
TABELA 7.5 – Dados cadastrais das válvulas telecomandadas nas entradas dos reservatórios de parte do sistema Alto Tietê	83
TABELA 7.6 – Curvas características das bombas por <i>booster</i>	84
TABELA 7.7 – Cotas dos medidores de pressão secundários	84
TABELA 7.8 – Níveis operacionais dos reservatórios.....	87
TABELA 7.9 – Demandas médias diárias dos setores de reservação de parte do Sistema Alto Tietê.....	89
TABELA 7.10 – Pressão observada e pressão calculada à 0 hora do dia 06/05/2002	91
TABELA 7.11 – Pressão observada e pressão calculada às 11 horas do dia 06/05/2002.....	92
TABELA 7.12 – Pressão observada e pressão calculada às 18 horas do dia 06/05/2002.....	93
TABELA 7.13 – Dados observados do dia 05/05/02 e 06/05/02.....	96
TABELA 7.14 – Situação de reservação do sistema Alto Tietê	103
TABELA 7.15 – Quadro resumo da operação real dos <i>boosters</i> do sistema Alto Tietê (06/05/02).....	107
TABELA 7.16 – Tempo médio (minutos) de bomba ligada por dia	107
TABELA 7.17 – Resumo do número de manobras nas válvulas de entrada dos reservatórios	111
TABELA 7.18 – Regras operacionais com modelo de previsão perfeito.....	112
TABELA 7.19 – Resumo da operação do <i>booster</i> Sam Leste com um modelo de previsão perfeito.....	114

TABELA 7.20 – Resumo da operação de válvulas com modelo de previsão perfeito	115
TABELA 7.21 – Regras operacionais utilizando o modelo de previsão de demanda	116
TABELA 7.22 - Regras operacionais utilizando o modelo de previsão de demanda com alterações durante a operação	118
TABELA 7.23 – Resumo da operação no <i>booster</i> Sam Leste com modelo de previsão	120
TABELA 7.24 – Resumo da operação de válvulas com modelo de previsão	120
TABELA 7.25 – Comparação dos tempos de bomba ligada nas operações.....	121
TABELA 7.26 – Comparação do nº de manobras de bomba nas operações.....	121
TABELA 7.27 – Comparação dos tempos de bomba ligada no horário de ponta das operações	121
TABELA 7.28 – Comparação do nº de manobras de válvula nas operações	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AARE - *Average absolute relative error*

ADCS - Aquisição de dados e controle supervísório

AlEst - Alarme da estação SCOA

Almon - Técnica de previsão baseada em análise de série temporal

ARIMA - Auto Regressão Integrada a uma Média Móvel

BAC - *Booster* Alto Tietê / Cantareira

BL - Bloqueio acionado pelo CCO

C++ - Linguagem de programação

CADOP - Cadastro de dados operacionais

CCO - Centro de Controle Operacional

Census I - Técnica de previsão baseada em análise de série temporal

Census II - X11 - Técnica de previsão baseada em análise de série temporal

CIM - Sistema supervísório de controle operacional

CIMWater - Projeto da União Européia

CONSISTE - Aplicativo computacional (modelo de previsão)

CSC - *Cross - Switch Controler*

CSV - Extensão de aplicativo com leitura do tipo texto

Cybernet - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

DBASE - Linguagem de programação

DEPURA - Aplicativo computacional (modelo de previsão)

DIGITA - Aplicativo de edição de dados

DIHM - *Drivers* de comunicação serial com terminais

DOS - Sistema operacional e linguagem de programação

EC - Comissão Européia

ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo S.A.

Envolver - Aplicativo computacional (modelo otimização)

EPANET - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

ERT - Estação remota de telemetria

ESC - Erro de escala
Est - Número da estação SCOA
ETA - Estação de Tratamento de Água
GDAD - Gerência de dados
GENOCOP - Aplicativo computacional (modelo otimização)
GERP - Gerência de execução dos processos
GIDAP - Aplicativo computacional (modelo de previsão)
GIMPOS - Aplicativo computacional (modelo otimização)
GINAS - Aplicativo computacional (modelo de simulação)
GIPAS - Aplicativo computacional (programação de operação de bomba)
H2ONET - Aplicativo computacional (modelo de simulação)
HDS - Histórico de dados do SCOA
IHM - Interface homem máquina
IRA - Índice de Regularidade da Adução
LP - Linha privada
LP - Erro de linha privada
LT - Linha telefônica
MA - Manutenção
MDC - Técnica de previsão baseada em análise de série temporal
MICSD - Sistema de controle operacional
NBR - Norma Brasileira Regulamentada
OptQuest - Aplicativo computacional (modelo otimização)
PIPE2000 - Aplicativo computacional (modelo de simulação)
PLC - Programação Lógica Controlada
Pointer - Aplicativo computacional (modelo otimização)
QL - Qualificador do dado SCOA
R01 - Câmara 1 do reservatório
R02 - Câmara 2 do reservatório
R03 - Câmara 3 do reservatório
RD - Reservatório de distribuição
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAM - Sistema Adutor Metropolitano

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

SCOA - Sistema de Controle Operacional da Adução

SDAD - Segurança de dados

SDS - Servidor de dados do SCOA

Seg - Alarme de segurança patrimonial da estação SCOA

SQL - Linguagem de programação

Strumap - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

SynerGEE - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

TDAD - Transmissão de dados

Visual Basic - Linguagem de programação

WaterCAD - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

WaterCIME - Projeto da União Européia

Windows - Aplicativo computacional (sistema operacional)

WinPipes - Aplicativo computacional (modelo de simulação)

WSS - *Water Software Systems*

LISTA DE SÍMBOLOS

–	- valor mínimo
–	- valor máximo
α	- Coeficiente de relação entre valores previstos e observados
B	- Situação de bomba (ligada ou desligada)
B	- Bomba
C	- Coeficiente de rugosidade da fórmula de Hazen-Williams
$D_0(t)$	- Demanda observada no dia t
$D_f(t)$	- Demanda prevista no dia t
D_t	- Vetor de demanda
E	- Medição não válida
F	- Vazão de entrada do reservatório em l/s
G_j	- Custo da estação elevatória para bombear a vazão de entrega X_j , atendendo a demanda de acordo com o volume do reservatório
i	- index de reservatórios
j	- index de estações elevatórias
J	- Número da estação elevatória
K_1	- Coeficiente de vazão do dia de maior consumo
K_2	- Coeficiente de vazão da hora de menor consumo
K_3	- Coeficiente de vazão da hora de maior consumo
MinF	- Função objetivo de minimização
n	- Dimensão inicial
P	- Pressão medida a montante da válvula de controle em mH ₂ O
R	- Nível dos reservatórios
R	- Nível d' água no reservatório em metros
r^2	- Coeficiente de correlação
S	- Substituição de dado automático pela informação passada manualmente

t	- Tempo
τ	- Período de defasagem
t	- index de intervalo de tempo
T	- Intervalo de tempo
T	- Nível d' água na torre em metros
T	- Erro de telemetria
TR	- Erro de transmissão da linha telefônica
TS_x	- Limite estatístico
V	- Posição da válvula de controle em %
$V_i(t)$	- Volume do reservatório ao longo do tempo
x	- Valor limite estabelecido em porcentagem
$x(i)$	-
$x_j(t)$	- Vazão da estação elevatória ao longo do tempo
Y	- Consumo calculado pelo SCOA
Y	- Consumo calculado em l/s
$y(t)$	- Consumo observado em função do tempo
Y_x	- Número de dias no ano com erro maior que um limite estabelecido em porcentagem
Z	- Variável calculada em função de valores de outros pontos SCOA
$z(T)$	- Vetor

RESUMO

BORGES, V. M. N. A. Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real – um estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo. 2003. 205 p. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O presente trabalho propõe uma evolução metodológica na operação do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, em tempo real. Foi implantado um modelo matemático, em tempo real, de previsão de consumo de água horário para uma melhoria na performance operacional. Descrevem-se vários procedimentos de sistema de controle operacional, desde manual até totalmente automático, em sistemas de abastecimento. O sistema de abastecimento de São Paulo é classificado neste contexto. Foi analisada a possibilidade de desenvolvimento da situação atual rumo a um controle mais eficiente, através do uso de um modelo de previsão de demanda de água. O “estado da arte” em modelos de previsão de consumo de água é apresentado através de uma revisão bibliográfica específica. Foi desenvolvida uma interface entre um modelo de rede hidráulica e um modelo de previsão de demanda de água existente, ambos utilizando dados operacionais, obtidos em tempo real de um sistema de telemetria. A interface foi testada em um estudo de caso do Sistema Adutor de São Paulo. Com a utilização de um modelo de previsão, concluiu-se que é possível estabelecer regras operacionais mais eficientes. Essa eficiência é demonstrada pela redução do número de mudanças de posição de válvula e estado de bombas, bem como é observada a redução do custo de energia elétrica (reduzindo o bombeamento em horário de maior custo). Os benefícios obtidos do uso conjunto do modelo simulador hidráulico e do modelo de previsão de demanda não podem ser considerados como o ótimo global. Seria necessário dispor de um modelo de otimização (programação automática). De qualquer forma, foi concluído que o investimento na implementação desses dois modelos é extremamente atrativa.

Palavra-chave: modelo de previsão de demanda de água, operação, abastecimento de água

ABSTRACT

BORGES, V. M. N. A. Coupling a water demand prediction model to a hydraulic network model in real time operation – a case study: Sao Paulo Water Mains System. 2003. 205 p. Master of Sciences Degree Thesis – Polytechnic School, University of Sao Paulo, Sao Paulo.

This work proposes a methodological evolution of a real time water distribution system operation applied to the Water Mains System of Metropolitan Region of Sao Paulo. It was settled a mathematical model in real time, to forecast hourly water consumptions, intending to increase operational performance. Several operational control procedures of water systems were described, since manual ones until total automatic ones. Sao Paulo system is classified into this concept. The possibility of development from the present status toward a more efficient control was analyzed, through the use of a water demand prediction model. State-of-art of water demand models is presented, through a specific literature review. An interface between a hydraulic network model and an existing water demand prediction model were developed both of them using operational data, obtained in real time by a telemetric system. The interface was tested in a case study of Sao Paulo Water Mains System. One concludes that through the use of the prediction model, it was possible to make more efficient operational schedules. This efficiency is demonstrated by the reduction in number of valve positions changes and in pump status changes, as well as a decrease in energy costs could be observed (reducing pump operations in hours of more expensive costs). Benefits obtained by the conjunctive use of the hydraulic simulation model and the water demand prediction model can not be admitted as the global optimum. It would be necessary to make available an optimization model (automatic scheduler). However it was concluded that investment in these two models implementations is extremely attractive.

Key words: water demand prediction model, operation, water distribution

APRESENTAÇÃO

Com a determinação de aliar seu aprimoramento técnico a experiência prática de engenharia, a autora trabalhando na Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) desde 1997, com planos diretores e estudos de concepção de saneamento básico para a região metropolitana de São Paulo, iniciou seu estudo de mestrado na área de recursos hídricos e hidráulica concomitantemente a sua transferência para a divisão de desenvolvimento operacional de água, em 1999.

No planejamento técnico a autora tomou familiaridade com modelos matemáticos utilizados para a avaliação de implementação de sistemas adutores e assim, indicada para participar do processo de escolha do modelo matemático de simulação hidráulica mais adequado à empresa, promovido pela divisão responsável pelo desenvolvimento operacional do sistema adutor da região metropolitana.

Esse contato possibilitou o conhecimento do quanto é grande a despesa gasta com energia na operação de um sistema adutor, justificando a disponibilidade de uma equipe extremamente qualificada para a melhoria da eficiência operacional.

Zahed (1990), desenvolveu dois modelos de previsão de demanda de água e demonstrou a viabilidade de implantação dos modelos. O acesso à tese de Zahed esclareceu as etapas de evolução de um sistema de controle e apontou que, para a próxima fase do controle do sistema adutor da região metropolitana de São Paulo, a implantação de um modelo de previsão de demanda de água para definições de regras

operacionais, restava a construção de uma interface entre os dados de campo e os modelos matemáticos disponíveis.

A autora conciliou o anseio por um tema que pudesse ser posto em execução a um avanço no sistema de controle operacional da região metropolitana de São Paulo, estimulada pela busca de melhor eficiência.

A pesquisa mostra que o tema escolhido vem ao encontro do direcionamento da evolução de sistemas de controle operacional e o estudo de caso demonstra que pode ser aplicado para o sistema adutor metropolitano de São Paulo.

RESUMO EXECUTIVO

O crescimento populacional urbano traz, como consequência, a construção de obras e incessantes adaptações para suprir as necessidades humanas.

No âmbito do sistema de abastecimento, em decorrência das dificuldades na quantidade de água captada e para proporcionar a distribuição da demanda adequada à população em grandes centros, se tornam grandes, flexíveis e com um alto grau de complexidade, tendendo a se expandir.

Assim, aquilo que seria simples passa a ser um grande e complexo problema matemático, com uma série numerosa de equações. Shamir e Howard, em 1968 introduziram o uso do computador para auxiliar na solução hidráulica desse problema. Desde então, com os avanços tecnológicos, os modelos simuladores hidráulicos se sofisticaram, introduzindo ferramentas facilitadoras sem o prejuízo de baixa velocidade de processamento. Os pacotes computacionais de modelos simuladores foram amplamente divulgados e comercializados. De um levantamento do “estado da arte” em modelos simuladores hidráulicos, realizado pela Sabesp (1998), pôde-se caracterizar aqueles que dispõem de recursos básicos (regime permanente), aqueles que trabalham em período estendido, com interface gráfica, módulo de qualidade da água, controle lógico e boas condições de calibração do modelo, ou aqueles que integram sistemas automático de supervisão e controle operacional de rede hidráulica.

Os modelos de simulação hidráulica são alimentados por dados cadastrais para a introdução da topologia do sistema em estudo, dados operacionais como os limites de operação e dados de consumo (Cesário – 1995), como as demandas de água observadas ou demandas previstas.

Os consumos de água observados numa série histórica podem gerar curvas médias típicas de consumo e parâmetros de consumo de setores. Os perfis de consumo variam de acordo com o tipo de ocupação do setor, o dia da semana, presença ou não de reservatório domiciliar, estação do ano, clima e renda média familiar. Segundo Lertpalangsunti et al. (1999), implantar um modelo de previsão de consumo de água à sistemas de abastecimento é um fator muito importante para selecionar o melhor caminho dentre as alternativas na tomada de decisão.

Existem diferentes aplicações do estudo de demanda de água. No planejamento, em planos diretores, o interesse é no longo prazo (anual), em estudo de concepção e projeto de construção, a demanda utilizada é a de longo prazo (anual), no planejamento operacional e em projetos de adaptação, trabalha-se com demanda de médio prazo (mensal, semanal) e, na programação da operação, considera-se o curto prazo, sendo em represa, mensal; em racionamento, semanal; em ETA, diário e na adução, horário ou menor.

No processo de simulação do sistema adutor em tempo real, o conhecimento de uma curva adimensional constituída pelas relações entre os consumos médios de uma dada hora pelo consumo médio diário, para cada setor, torna-se imprescindível. Para um melhor ajuste do conhecimento do consumo de água, desenvolvem-se modelos de previsão de demanda. Os modelos de previsão de consumo de água reduzem incertezas, servindo de base para a programação operacional e tomada de decisões.

O presente trabalho propõe uma evolução metodológica na operação do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo (SAM), em tempo real, implantando um modelo matemático de previsão de consumo de água por hora para uma melhoria na performance operacional.

Os modelos de previsão de demanda de água para aplicação na operação de sistemas adutores são pouco divulgados. Este trabalho avalia a melhoria na performance da operação com o uso de um modelo de previsão de demanda de água e levanta o “estado da arte” em modelos de previsão de consumo de água.

Descrivem-se várias formas de sistema de controle operacional, desde manual até totalmente automático, em sistemas de abastecimento. O sistema de abastecimento de São Paulo é classificado neste contexto com a apresentação das condições de aquisição, transmissão, e sistema informático de controle.

Foi desenvolvida uma interface entre um modelo simulador de rede hidráulica e um modelo de previsão de demanda de água, utilizando dados operacionais, em tempo real para uma melhoria na eficiência da operação. O aplicativo foi escrito no ambiente Visual Basic, com algumas informações SQL e preparado para realizar programações de operação diárias, utilizando o modelo de previsão de demanda desenvolvido por Zahed (1990) baseado na série de Fourier e o modelo simulador EPANET podendo ser importado pelo modelo simulador, em uso adotado na Sabesp, WaterCAD. A interface integra os modelos matemáticos ao sistema de controle operacional do SAM, composto por um sistema de telemetria e por um sistema informático denominado SCOA – Sistema de Controle da Operação de Adução, ou sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Pôde-se avaliar os resultados da aplicação de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em um estudo de caso, no sistema Alto Tietê, da Região Metropolitana de São Paulo. Considerou-se para análise a operação realizada pelo centro de controle operacional (CCO) da Sabesp, a operação programada supondo conhecer a demanda do dia (previsão perfeita) e a operação programada com um modelo de previsão de demanda.

A comparação entre as três condições apresentou uma redução do número de manobras de válvula de 31 realizadas para 9 com uma previsão perfeita e 10 para a programação com o uso do modelo de previsão de demanda. O número de manobras de bomba reduziu 50% da operação realizada para a programação perfeita ou para com o modelo de previsão de demanda água. A operação com previsão perfeita reduziu o consumo de energia no horário de “ponta” e, apesar do tempo de funcionamento total das bombas aumentar, com redução na potência das bombas, resultou numa economia da ordem de 10 a 30% do custo de energia.

A realização do estudo de caso permitiu uma crítica análise da qualidade dos dados do CCO, que concluiu pela necessidade de investimentos para a melhoria dos dados do SCOA. Considerando o problema de tráfego de informação, uma alternativa pode se dar através da aplicação de estações remotas de aquisição de dados para cálculos locais. Dessa forma, reduzem-se a quantidade de dados transmitidos e conseqüentes processamentos dos dados no CCO.

Este estudo concluiu que é possível melhorar a eficiência na operação de um sistema adutor, servindo como referência, criando diretrizes e recomendações para implantação de sistemas de controle centralizados de adutoras e reservatórios.

1. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo:

- Criar uma interface entre um modelo simulador e um modelo de previsão de consumo de água;
- Avaliar a melhoria na performance da operação com o uso de um modelo de previsão de demanda de água;
- Levantar o “estado da arte” em modelos de previsão de consumo de água em tempo real;
- Avaliar os resultados da aplicação em um estudo de caso;
- Criar diretrizes e recomendações para implantação de sistemas de controle centralizados de adutoras e reservatórios.

Para isso, avaliar os diversos modelos de previsão de demanda de água existentes, analisando a conveniência de adotar ou mesmo desenvolver um novo modelo adequado às condições do Centro de Controle Operacional da Região Metropolitana de São Paulo - CCO.

Assim sendo, este estudo pretende colaborar servindo como referência a empresas que utilizam sistemas de controle; e a futuros desenvolvimentos e pesquisas.

2. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano traz, como consequência, a construção de obras e incessantes adaptações para suprir as necessidades humanas. O momento em que se vive, na abrangência mundial, é de racionamento. No âmbito de sistema de abastecimento de água, a Região Metropolitana de São Paulo enfrenta muitos obstáculos com a recepção de despejos urbanos e a escassez de água em seus mananciais, trazendo como reflexos, alterações nas concentrações dos organismos aquáticos, gerando crises tanto por questões de quantidade quanto por qualidade da água, requerendo, cada vez mais, alternativas para o contínuo abastecimento à população.

A operação de um sistema de abastecimento de água se divide em duas fases, uma na gestão de recursos hídricos até as estações de tratamento de água (ETAs) e outra das ETAs até os reservatórios de distribuição. Em recursos hídricos, de acordo com as condições de vazões e integrações de mananciais define o melhor cenário de operação para atender a produção nas ETAs. No sistema adutor, onde é conhecida a produção de água, define-se a melhor condição operacional para atender as oscilações do consumo. Uma analogia entre as duas fases de operação, as condições de simulação são inversas, ou seja, em recursos hídricos os dados de entrada são estocásticos e os dados de saída

são determinísticos, no sistema adutor os dados de entrada são determinísticos e os dados de saída estocásticos.

Os sistemas adutores, em decorrência as dificuldades na quantidade de água e para proporcionar a distribuição da demanda de água adequada à população, se tornam grandes, flexíveis e com um alto grau de complexidade, tendendo a se expandir. Assim, aquilo que, a princípio seria simples passa a ser um grande e complexo problema matemático, com uma série numerosa de equações.

De acordo com a dimensão do sistema adutor, há maiores ou menores razões para informatizar o controle operacional. Segundo Zessler & Shamir (1989), estes motivos podem ser um ou mais dos seguintes fatores:

- A operação do sistema de abastecimento é em muitos casos convenientemente mais complexo, com demandas crescentes, incorporações de água de várias fontes, e sistemas antigos;
- O conhecimento de pessoas experientes no controle operacional, freqüentemente não é repassado às pessoas de capacidade similar;
- O alto custo operacional, o qual justifica investimentos para aumentar a eficiência;
- Os hardwares de controle e computação estão se tornando rapidamente mais barato, mais acessível, e mais seguro;
- Quanto mais sistemas de controle computadorizados são instalados, mais existe experiência do qual adquirir;
- Operadores, engenheiros e gerentes sentem-se menos ameaçados pelos computadores e sistemas de controle.

Existem muitas formas de controle operacional (Zahed – 1990):

- Controle local:
 - Existe um operador no local que faz as leituras das medições;
 - Quando as leituras são feitas de forma automática com a utilização de bóias, medidores ultra-sônicos e outros de forma não programada;
 - Com a utilização de medidores automáticos e que possibilitam programação de regras operacionais através de Programação Lógica Controlada – PLC.
- Controle centralizado:
 - O operador local informa ao centro de controle, por linha telefônica sobre as leituras de medições;
 - Centro de controle com o sistema SCADA;
 - Centro de controle automático por computador que utiliza o sistema SCADA juntamente com modelo de previsão de consumo de água e modelo de otimização em tempo real.

O controle operacional constitui-se em três fases: o planejamento operacional; o controle, propriamente dito; e a auditoria pós-operação (Zahed – 1990). O controle de sistemas adutores pode oferecer maior ou menor segurança operacional e a segurança interfere diretamente na eficiência da operação. Enquanto a operação de rotina pode ser automática, a equipe de controle pode voltar maior atenção ao planejamento ou programação da operação buscando maior eficiência. Isso é claro, sem prescindir da experiência e senso de decisão dos controladores disponíveis em todo momento para uma intervenção no sistema a qualquer situação anômala ou de emergência, garantindo

segurança ao controle. O controle automático indica falhas que podem ser contornadas pelo controle manual aumentando a segurança operacional.

Na busca por um sistema de controle de abastecimento eficiente, há necessidade de utilização de softwares de análises, simulação e otimização da operação no sistema de abastecimento (Zessler & Shamir – 1989).

A evolução do controle automático em sistemas adutores traz diferentes condições de disponibilidade de acesso a reprodução dos modelos matemáticos utilizados. Os modelos simuladores são bastante divulgados, com apresentações de software comerciais em versões demo e código fonte aberto. Os modelos de previsão de demanda de água para aplicação na operação de sistemas adutores estão evoluindo, mas são pouco divulgados. Sobre modelos que definem regras operacionais para sistemas adutores conhece-se muito pouco sobre aplicações práticas.

Como em qualquer empreendimento é essencial o conhecimento da oferta e demanda da prestação do serviço. Sendo que, enquanto houver demanda há de se viabilizar o recurso necessário para supri-la. Por esse motivo o conhecimento da demanda é de fundamental importância no intuito de se atingir a excelência da operação do serviço.

A previsão de demanda possui finalidades diferentes. Quando se trata de abastecimento de água, a previsão de demanda se divide em interesse para o planejamento e para a operação. A previsão de demanda de água para planejamentos utiliza previsões para um futuro mais longo, com correções de desvios bem espaçados. Enquanto que, a operação de um sistema de abastecimento, necessita de uma previsão de demanda de curto prazo para fazer programações.

Assim, espera-se que este estudo, que objetiva a sincronização entre modelos matemáticos que viabilizam decisões operacionais de um sistema adutor, venha a contribuir proporcionando a interação entre os conhecimentos científicos voltados às tendências e expectativas de desenvolvimento técnico operacional.

O próximo capítulo descreve sobre estudos de demanda de água apresentando uma conceituação básica prévia ao capítulo 4 – referências bibliográficas, item 4.2 – modelos de previsão de demanda, que apresenta trabalhos desenvolvidos por outros autores.

A experiência em sistemas de controle, modelos simuladores hidráulicos e modelos de otimização são expostos no capítulo 4 – referências bibliográficas, item 4.1, 4.3 e 4.4, respectivamente.

O capítulo 6 – modelo de operação descreve sobre o desenvolvimento da interface entre os dados em tempo real, o modelo de previsão de consumo de água e o simulador.

No estudo de caso – capítulo 7, apresenta-se o sistema adutor escolhido, o estágio atual de controle desse sistema, discorre sobre as condições disponíveis de estudos e dados operacionais, a aplicação do modelo de operação e seus resultados.

O capítulo 8 apresenta as conclusões que se pôde chegar com as análises dos resultados do estudo de caso.

3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS – DEMANDA DE ÁGUA

Segundo Walski et al (2001), a demanda de água tratada é compreendida por três tipos básicos: o consumo de água dos clientes abastecidos, o consumo decorrente de perdas e o consumo previsto para combater incêndios. Para combate a incêndios, uma ponderação para proteção e para as perdas uma porção do total consumido pela população abastecida. Assim, o conhecimento desse total consumido é de grande importância para o desenvolvimento da operação do sistema (Coulbeck & Orr – 1990; Lertpalangsunti et al. – 1999).

Muitos estudos (Oshima & Kosuda – 1998; Protopapas et al. – 2000; Zhou et al. – 2000) indicam que o consumo de água sofre alterações causadas por algumas variações de fatores:

- Climáticos – precipitações, temperatura ambiente;
- Diários – dia da semana;
- Horários – picos horários ao longo do dia;
- Sazonais – estação do ano como verão ou inverno;
- Sócio-econômicos – renda média familiar;

- Tipo de consumidores – perfil de consumo comercial, residencial, industrial, etc.

Com base em uma série histórica de consumo de água, pode-se construir curvas típicas de consumo e parâmetros de consumo de setores. O objetivo de construir curvas de consumo de água é de se refinar os cálculos de planejamento, projeto e operação que partem do conhecimento do consumo. Existem diferentes finalidades para a aplicação do consumo de água:

- Plano diretor / planejamento – longo prazo (anual);
- Estudo de concepção/projeto de construção – longo prazo (anual);
- Planejamento operacional / projeto de readaptação – médio prazo (mensal, semanal);
- Programação da operação – curto prazo (diária), curtíssimo prazo (horária ou menor).

Os planos diretores visam contemplar uma expectativa futura de longo prazo para definição de planos de investimento. Assim, o foco desejado é aquele que determina o consumo, estabelecendo vínculos às tendências de crescimento vegetativo da população a ser abastecida, utilizando-se de técnicas de projeções populacionais para o futuro, ponderando sobre prováveis zonas de expansão, considerando os índices sócio-econômicos que alterariam o comportamento de consumo de longo prazo.

Como seguimento às diretrizes definidas nos planos diretores realizam-se estudos de concepção e projetos de construção de obras civis e hidráulicas que garantam o abastecimento. Para isso há de se considerar o consumo médio do setor podendo utilizar alguns parâmetros recomendados por norma na ausência de dados ou medições

locais que estabeleçam o consumo. As normas técnicas NBR 9648 e 9649 referenciam os parâmetros:

- K1 – coeficiente do dia de maior consumo – é a razão entre o consumo médio do dia de maior consumo em relação ao consumo médio de um longo período – igual a 1,20;
- K2 – coeficiente da hora de maior consumo – é a razão entre o maior consumo do dia em relação ao consumo médio do dia – igual a 1,50;
- K3 – coeficiente da hora de menor consumo – é a razão entre o menor consumo do dia em relação ao consumo médio do dia – igual a 0,50.

Para as previsões de longo prazo, os coeficientes de consumo definidos subsidiam estudos de planejamento e projetos de forma “personalizada” para cada setor de abastecimento.

Com o passar dos anos essas obras precisam ser revistas, para atender o consumo demandado, então o planejamento operacional, através de estudos e projetos de readaptação, atualiza e aprimora os recursos disponíveis sendo orientado pelo perfil médio de consumo diário e os coeficientes de variação do consumo, preferivelmente específico do setor estudado. Nesse caso é importante o conhecimento do coeficiente – K_3 que relaciona grandes problemas operacionais como a pressão.

Quando se realiza um programa de racionamento em função do baixo nível d'água nas represas ou da qualidade inadequada do manancial, portanto redução da produção de água tratada, leva-se em conta a previsão de consumo semanal nos setores de abastecimento do raio de influência dessa demanda produtiva (ETA). Enquanto que

se a situação estiver dentro da normalidade, a escala temporal de maior representatividade é a mensal agregada à região.

Para as estações de tratamento de água e para a formulação de uma política diária de operação de um sistema adutor, as previsões devem indicar o volume diário e a variação esperada ao longo do dia. Na distribuição de sistemas adutores mais automatizados existe a programação na operação que faz previsão de consumo, em curto ou curtíssimo prazo, dependendo do volume de reserva disponível para atender o consumo. Essa programação se baseia no comportamento histórico atualizado em tempo real, com considerações de agentes responsáveis por variações do consumo de água, com o objetivo de estabelecer regras operacionais rotineiras com possibilidade de interferências e correções no sistema em tempo real. Nesse caso, há necessidade de utilização de um modelo de previsão de curto ou curtíssimo prazo para o consumo de água.

No processo de simulação em tempo real, o conhecimento de uma curva adimensional constituída pelas relações entre os consumos médios de uma dada hora pelo consumo médio diário (curva neutra de consumo) para cada setor torna-se imprescindível, para simular a vazão e a pressão em tempo estendido ou em tempo real. Para afinar o conhecimento do consumo de água desenvolve-se modelos de previsão de demanda.

Segundo Lertpalangsunti et al. (1999), a necessidade de se implantar um modelo de previsão de consumo de água a sistemas de abastecimento existe por este ser um fator de decisão cuja estimativa é muito importante para que a tomada de decisão possa selecionar o melhor caminho dentre as alternativas.

O consumo de água é afetado por variações de parâmetros como clima, dia, hora, estação do ano, renda média da região, “perda” por vazamentos, política tarifária e pelo tipo de consumo.

As demandas de consumo de água previstas, em geral, baseiam-se numa projeção de consumo que podem ser do tipo anual, média diária, máxima diária, mínima horária e máxima horária.

Os modelos de previsão de consumo de água utilizam técnicas que se baseiam em dados históricos e previsões associativas.

Quando se utiliza a base de dados históricos, os valores são assumidos a partir de características de valores passados. Da série histórica procura-se identificar as variáveis de influência da série, tais como: tendência, sazonalidade, variações irregulares e variações randômicas. Para isso existem técnicas de tendência, de sazonalidade, de ciclos e de variações médias.

Os modelos desenvolvidos para previsões de demanda de água podem utilizar técnicas estatísticas convencionais como regressão linear simples ou múltipla e análise de série temporal ou utilizar técnicas baseadas em sistemas inteligentes com recursos que tentam imitar a habilidade humana em tomar decisões tais como: algoritmo genético, sistemas especialistas, redes neurais, lógica fuzzy ou outros tipos como a Teoria do Caos.

As previsões associativas utilizam a técnica de simples regressão linear. A análise de regressão é uma técnica estatística muito utilizada para investigar e modelar a relação empírica entre as variáveis de entrada e saída (Protopapas et al. – 2000; Jain & Ormsbee - 2002).

De acordo com o trabalho de Jain & Ormsbee (2002), onde os resultados demonstram que a técnica de análise da série temporal não se distancia de forma significativa dos melhores resultados obtidos em técnicas que utilizam sistemas inteligentes e, tendo em vista que o recurso disponível para implantar um modelo computacional de previsão de demanda, em tempo real, se baseia na análise de série temporal, julga-se interessante, a seguir, detalhar esta técnica.

Segundo Statsoft (2002), a análise de série temporal utiliza o histórico de consumo de água medido para identificar padrões e a partir disso fazer previsões. A sequência de dados medidos não randômicos em intervalos de tempo constante define um padrão de dados sistemáticos adicionados a um erro (ruído randômico) compostos por uma certa tendência e uma sazonalidade.

Na procura por uma tendência, o que se faz com os dados, nada mais é do que uma acomodação a uma função ou a suavização das curvas, pois se trabalha com médias, sendo: a mais comum à técnica da média móvel; menos tendenciosa pelas exceções, entretanto, que produz um efeito mais dentado nas curvas, a mediana; em casos com muitos erros a técnica de distância ponderada pelos mínimos quadrados; ou no mesmo caso, a suavização ponderada exponencialmente negativa (Statsoft – 2002).

Figura 3.1 – Fluxograma dos tipos de técnicas utilizadas para previsão de demanda de água (Jain & Ormsbee - 2002)

Na análise da sazonalidade, identificam-se os coeficientes de correlações seriais vistas em correlograma (para defasagens consecutivas), autocorrelação parcial (para defasagem de um elemento intermediário) e remoção da dependência serial (para uma defasagem que possa ser removida pela diferenciação da série convertida em cada elemento) sendo que, para diminuir alguns efeitos, pode-se utilizar a técnica de autoregressão integrada à média móvel (Statsoft – 2002).

Da análise de uma série histórica de consumo de água medido, pode-se fazer estimativas e previsões por meio de regressão linear. Entre as técnicas conhecidas, está: a Auto Regressão Integrada a uma Média Móvel – ARIMA (algoritmos de minimização, erro padrão assintótico, penalidade); a decomposição sazonal clássica - Census I descrita por Makridakis, Wheelwright, McGee em 1993, apud Statsoft (2002)

que considera a sazonalidade, a tendência, o cíclico e o erro; o ajuste sazonal - Census II – X11 (ajuste ao dia da semana, valor extremo, refinamento multiplicativo, sumário estatístico – domínio cíclico mensal - MDC) desenvolvido pelo Census Bureau apud Statsoft (2002); a suavização de curvas exponencial ou harmônica, a análise de defasagem distribuída – Almon; a análise de simples Spectrum – Fourier (flutuação sazonal de diferentes comprimentos de padrões cíclicos de dados), a análise de cruzamento Spectrum (Fourier para simulação de duas séries) (Statsoft – 2002).

As aplicações práticas das técnicas de previsão de demanda de água mencionas neste capítulo são apresentadas no capítulo 4 – referências bibliográficas, item 4.2 – modelos de previsão de demanda.

A experiência em sistemas de controle, modelos simuladores hidráulicos e modelos de otimização são expostos no capítulo 4 – referências bibliográficas, item 4.1, 4.3 e 4.4, respectivamente.

No capítulo 5 – metodologia pode-se acompanhar a evolução do estudo desenvolvido.

O capítulo 6 – modelo de operação descreve sobre o desenvolvimento da interface entre os dados em tempo real, o modelo de previsão de consumo de água e o simulador.

No estudo de caso – capítulo 7, apresenta-se o sistema adutor escolhido, o estágio atual de controle desse sistema, discorre sobre as condições disponíveis de estudos e dados operacionais, a aplicação do modelo de operação e seus resultados.

O capítulo 8 apresenta as conclusões que se pôde chegar com as análises dos resultados do estudo de caso.

Figura 3.2 – Fluxograma das formas de identificação de padrões na análise de série temporal (Statsoft – 2002)

Figura 3.3– Fluxograma das formas de estimativa e previsão na análise de série temporal (Statsoft – 2002)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Controle Operacional

Ohto (1998) descreveu de forma sucinta e objetiva a situação do sistema de controle sanitário do Japão apresentando técnicas e condições escolhidas pelo autor, mas sem argumentação sobre as decisões ou mesmo sem discussão sobre outras possibilidades de desenvolvimento.

Segundo Otho (1998), o controle dos sistemas de saneamento japonês vem sofrendo contínuos investimentos equipando-se em *softwares* e *hardwares*, com duas direções tecnológicas fundamentais. A primeira, a evolução no funcionamento dos sistemas, sistemas associados, subsistemas, integrados. A segunda direção, economia de energia e de força de trabalho. O sistema de água e esgoto investiu em instrumentos e automação de controle (sistemas, hardware e software e meio de comunicação), integrando sistemas de controle e revendo e avançando em modelos matemáticos.

O controle de distribuição japonês engloba análise, previsão de demanda de consumo em tempo real e otimização operacional para minimizar custos. E para isso conta com o suporte de uma base de dados robusta de abrangência nacional e qualidade na transmissão de dados. Porém, não se pode conferir ou pesquisar com mais profundidade em nenhum dos tópicos citados, pois, não há referências bibliográficas citadas pelo autor.

O sistema informático está em complementação nos sistemas de controle. Uma comparação com o controle do SAM, não é possível, pois não há forma de contato com o autor.

4.2. Modelos de Previsão de Demanda

Os modelos de simulação são alimentados por demandas de consumo de água existentes ou por demandas previstas. O objetivo de se utilizar um modelo de previsão de consumo de água é reduzir incertezas, servindo de base para a programação operacional e tomada de decisões.

Protopapas et al. (2000) investigaram a relação entre as condições climáticas sob o consumo de água na cidade de New York, EUA. Essa hipótese foi suposta, baseando-se em estudos anteriores, em outras cidades americanas, tendo como

finalidade, a identificação de medidas de conservação e projetos futuros para o abastecimento da cidade.

A partir da série histórica de dados de consumo diário de água durante o período de 1982 a 1991, os autores analisaram as diversas combinações entre os fatores climáticos (temperatura e precipitação) e o consumo de água (diário, semanal e mensal) e concluíram que durante os meses de inverno, os efeitos climáticos causam pouca influência no consumo de água, mas no verão, as precipitações causam uma redução no consumo, chegando a 5% do consumo do dia anterior (seco). Ainda, constataram que com a temperatura acima de 25.6 °C havia uma relação linear entre o consumo de água e a temperatura diária, e a precipitação tinha um efeito insignificante, sendo confirmada pela estatística condicional.

Este e outros estudos de correlações entre os fatores de influência sobre o consumo subsidiam modelos de previsão de demanda de água ponderando entre a relevância dos fatores investigados. Estes fatores ainda sofrem influência de outros que podem estar relacionados com as condições locais, como por exemplo, o citado inverno em New York que não se compara com o inverno de São Paulo, no que diz respeito à temperatura e umidade.

Muitos artigos tratam da previsão de demanda de consumo de água urbana sob a ótica anual ou mensal. Poucos falam sobre o uso de água diário (Zhou et al. – 2000), considerado por muitos autores previsões de curto prazo. Maior ainda é a dificuldade de encontrar na literatura, modelos que estimam previsões horárias de demanda de água. Para fins operacionais de abastecimento de água, há necessidade de um conhecimento do consumo de água de um período de curto prazo. De acordo, com as condições

operacionais de reservação do SAM, o período de curto prazo necessário para as previsões passa a ser considerado de curtíssimo prazo, ou seja, horário.

Pode-se citar, nas condições de modelos de previsão de consumo de água para a operação de abastecimento que utilizam demandas diárias, alguns trabalhos desenvolvidos.

Jain & Ormsbee (2002) desenvolveram um importante trabalho para previsões de demanda de água em curto prazo, ilustrando de forma educativa as técnicas utilizadas para modelos de previsão. Criaram oito modelos de previsão de demanda de água diária utilizando métodos convencionais e métodos de sistemas inteligentes. Fizeram comparações entre os resultados dos diversos métodos com o objetivo de otimizar custo de energia na operação de um sistema. A eficácia dos modelos foi avaliada através de dois parâmetros estatísticos:

- Erro relativo de média absoluta (AARE)

$$AARE = \frac{1}{365} * \sum_{t=1}^{365} \left| \frac{D_f(t) - D_0(t)}{D_0(t)} * 100 \right| \quad (1)$$

- Limite estatístico (TS_x)

$$TS_x = \frac{Y_x}{365} * 100 \quad (2)$$

onde, Y_x é o número de dias no ano com erro maior que $x\%$

Foram utilizados os dados de demanda, precipitação e temperatura do ar durante 11 anos entre 1982 e 1992, tratando de forma separada os dados do verão de 1988 em que houve um período de racionamento em função de uma seca de verão, na cidade de Lexington, EUA.

Os dois primeiros modelos desenvolvidos basearam-se na técnica de Regressão Semanal com Desagregação para a previsão diária. Dois modelos foram baseados em série temporal, utilizando a Função Sinc Auto-Regressão Simples e Função Sinc Regressão por Média Móvel. Um modelo utilizou Redes Neurais. Outros dois utilizaram Sistema Especialista. O último modelo juntou Redes Neurais e Sistema Especialista. Os resultados mostraram que a performance entre os modelos baseados em série temporal, redes neurais e sistemas especialistas não apresentou diferenças significativas. Os autores acreditam no potencial das técnicas de sistemas inteligentes e recomendam uma melhor exploração destas técnicas em gerenciamentos de recursos hídricos.

Joo et al. (2002) desenvolveram um modelo de previsão de demanda de água diário usando a técnica de redes neurais para Seul, Coreia. Inicialmente, foram levantadas as flutuações sazonais por distrito e identificadas quatro estações do ano bem típicas. Analisaram as correlações das demandas com as variáveis temperaturas máxima, média, mínima, precipitação, umidade, vento e nebulosidade acabando por seleccionar os fatores mais relevantes por estação do ano para considerações do modelo, sendo eles temperatura, umidade, vento, se um dia é feriado ou não e a demanda diária do dia anterior. Para avaliar a performance do modelo proposto, utilizou-se o coeficiente de correlação e o erro médio absoluto comparando-o a um modelo de regressão múltipla. Os modelos apresentaram resultados análogos.

Estudo semelhante foi realizado em Edmonton, Alberta – Canadá, com o desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda de água, utilizando redes neurais para previsões diárias. O modelo de previsão de demanda diária de Stark et al. (2002) considerou fatores meteorológicos como temperatura, precipitação, sazonalidade e fatores como se um dia da semana ou do final de semana e o consumo da hora que

antecede a operação de bombeamento. A aplicação do modelo resultou num coeficiente de correlação $r^2 = 0,895$ comparada ao consumo medido. Para previsões horárias, os autores normalizaram curvas neutra, utilizando a demanda diária prevista pelo modelo. As curvas se diferenciam por 2 períodos no ano e por dia da semana ou final de semana e resultou num coeficiente de correlação $r^2 = 0,963$ que levou os autores a concluir que tanto o modelo de previsão diário quanto à utilização da curva neutra são promissores.

Os autores desenvolveram outro modelo, similar ao diário, para previsões de 10 dias com resultado de $r^2 = 0,49$ e recomendam a sequência desse trabalho com a adição de um modelo meteorológico para previsão de 10 dias, seguido da introdução de um modelo de previsão de demanda em tempo real e depois, integrar um programa de otimização para a evolução da performance operacional.

Oshima & Kosuda (1998) desenvolveram um modelo de previsão de demanda de água horário para atender às variáveis de decisão em reservatórios operados por bombeamento, através do método do Caos, reconstruído pelo método fuzzy local.

A técnica do Caos utilizada pelos autores se resume em uma série de dados observados $-y(t)$, que geram vetores $-(y(t), y(t-\tau), y(t-(n-1)\tau))$, onde n é a dimensão inicial e τ o período de defasagem. A extrapolação da série de tempo é substituída pela interpolação em n dimensões reconstruída no espaço pela série original. Tirando a vantagem da interpolação ser de mais simples resolução.

Após a interpolação, Oshima & Kosuda (1998) utilizaram o método de fuzzy local, plotando um vetor $z(T)$ resultado da última observação na dimensional n , reconstruída no espaço e de forma dinâmica, substituindo o vetor ao lado por $x(i)$ e z

(T) e novamente, substituindo o dado $x(i)$ de s passos por $x(i+s)$ e similarmente, o vetor $z(T+s)$ – valor previsto.

O modelo é atualizado com os novos dados a cada hora. Os resultados, a cada hora, foram correlacionados aos dados medidos chegando a $r^2 = 0,985$. Os benefícios adquiridos com a aplicação do modelo de previsão de demanda de água horário puderam ser conferidos através de simulações que estabeleceram melhores regras de bombeamento entre a captação e os reservatórios de distribuição. Os autores concluíram que o modelo permite uma redução no número de manobras e no bombeamento, uma melhor utilização da função reguladora de um reservatório, mantém uma taxa de reservação de acordo com a demanda padrão e minimiza as variações na distribuição de água.

Zahed (1990) desenvolveu e aplicou dois modelos de previsão de demanda de água horário na operação de parte do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo. O autor evidenciou a possibilidade de um acoplamento do algoritmo a um modelo simulador e a um modelo de otimização, em tempo real, na operação de um sistema adutor.

As premissas mais importantes consideradas pelo autor foram: a eliminação do efeito do dia da semana, pela introdução do dia móvel (24 horas móveis); erros medidos em termos de desvios de volumes acumulados, comparados aos volumes dos reservatórios; associação simples com dados históricos recentes para evitar utilizar outros modelos auxiliares (previsão de temperatura).

O estudo se baseou na análise da série histórica do consumo horário, a temperatura horária e o Índice de Regularidade da Adução (IRA), durante o período de 1 ano e 4 meses. Os dados analisados foram pré-selecionados, a partir do levantamento

do grau de confiabilidade de medição e transmissão de dados, apontando pontos críticos como problemas com computadores, instrumentos de medição de má qualidade, a dependência de linha telefônica, interrupções de energia nos reservatórios e atualização dos valores horários no disco magnético.

Os dados foram digitados em barras tipo DBASE. A edição dos valores ao final do dia se deu através do aplicativo DIGITA. A análise dos dados passou pela: inspeção visual; pelos critérios aplicados no programa CONSISTE, que eliminava os dados na repetição de valores por mais de três horas consecutivas e desvio padrão máximo de 70% em relação à média da hora; comparou-se os dados assinalados (problemáticos) com o SCOA, corrigindo-os ou interpolando linearmente entre valores vizinhos; foi construído outro aplicativo – DEPURA, que calculava a média e o desvio padrão dos consumos por hora e considerava válidos os valores entre $\pm$ dois desvios padrões.

A metodologia empregada utilizou os dados válidos do dia e os dados da semana anterior. Trabalhou com um horizonte de previsão máximo de 24 horas para reservação e mínimo para manobra de regularização. Utilizou os dados de consumo disponíveis fazendo uma análise de sensibilidade do grau de ajuste do polinômio. O perfil “dente de serra” dos gráficos dos consumos observados, ao longo do tempo, foi eliminado e substituído pelas médias móveis de alguns intervalos anteriores. Para cada valor gerado foi verificado o desvio em relação ao valor médio daquela hora, daquele dia das últimas 4 semanas. Se o valor previsto se afastasse mais do que a faixa de tolerância admitida, assumia-se a média das 4 semanas multiplicada pelo fator – consumo da hora pelo consumo médio das horas anteriores.

O trabalho se consolidou através da construção de dois modelos: um baseado na série de Taylor e outro baseado na série de Fourier. O primeiro modelo admitiu-se

que a série de Taylor fosse uma função polinomial. O segundo modelo atualizou os coeficientes dos harmônicos de forma diária, com o ciclo dos harmônicos de 7 dias e correção através de um coeficiente (α) de relação entre os valores previstos e os observados em um período imediatamente anterior à previsão.

Foi realizada uma análise de sensibilidade para os dois modelos, anterior à aplicação dos modelos, para ajustar os dados de consumo identificando o grau do polinômio e a ordem dos harmônicos a utilizar nas previsões.

Os modelos fazem um levantamento estatístico com os desvios entre consumo acumulado calculado e observado. A relação dos valores dos desvios de consumo acumulado calculado e observado se mostrou sempre ligeiramente melhor no modelo polinomial (Série de Taylor), entretanto o modelo harmônico, baseado na Série de Fourier resulta em valores previstos mais centrados em uma faixa de dados medidos, sendo assim considerado mais adequado na avaliação para implantar um modelo de previsão de demanda de água em tempo real no Centro de Controle da RMSP, da Sabesp.

Williams & Coulbeck (1987) iniciaram o projeto de desenvolvimento do sistema de controle de abastecimento na área urbana de Wolverhampton – Reino Unido, que era antigo e requeria muito investimento. O projeto tinha por objetivo definir uma nova concepção de recursos hídricos para atender o abastecimento; otimizar o zoneamento; e centralizar o controle operacional do sistema, através de um controle remoto de monitoramento e supervisão, programação de acionamento de estações de bombeamento, atualizando o controle conforme a expansão de cada zona do sistema .

Os autores selecionaram o modelo de simulação hidráulica, da Leicester Polytechnic, GINAS e acoplaram o modelo ao gerenciador de informação e sistema de

controle, MICSD. O modelo hidráulico - GINAS, funciona em tempo estendido, com apresentação dos resultados em forma de gráfico e acompanha o módulo programador de operação de bombas - GIPAS, o modelo de previsão de demanda de água - GIDAP e o modelo de otimização - GIMPOS.

O modelo de previsão de demanda de água GIDAP compara a demanda analisada e a prevista com interface gráfica e se resume em duas partes: a análise inicial dos dados usados para a previsão e a previsão diária ou semanal. Os dados previstos podem ser processados pelo modelo para os períodos de 24 horas ou 7 dias.

Os dados brutos passam por uma análise de consistência permitindo a identificação de harmônicos e categorização do dia. Esse processo de consistência remove erros grosseiros como repetição de dados brutos, problema de ordem de grandeza e faixa de tolerância superior ao limite estabelecido. Os harmônicos significativos são transformados em componentes de frequência. Cada componente foi analisado pela sua contribuição indicando o maior harmônico. A parametrização da categoria do dia requereu muitas semanas os dados e baseou-se em verificar cada dia da semana contra todos os outros dias da semana. As curvas de demanda diária de características similares foram consideradas de mesma categoria. Após a consistência dos dados brutos, um efeito randômico fino foi utilizado baseando-se no limite máximo da análise harmônica. Os dados, consistidos e suavizados foram utilizados como base para previsões do próximo período e para cada valor previsto foram corrigidos a posição, a velocidade e os parâmetros de tendência de aceleração.

Os autores concluíram que o desvio de $\pm 5\%$ entre os dados previstos e os dados medidos, foi adequado para o propósito de um controle otimizado.

O projeto, considerado arrojado e bem sucedido tem sido discutido entre estudiosos, após sua publicação. O modelo aplicado é utilizado em redes que são operados no Reino Unido, pelas empresas Severn Trent Water, Thames Water e Yorkshire Water, com mais de dez milhões de consumidores (WSS – 2000) e utilizado como referência a outros projetos.

Um dos projetos que deram continuidade ao desenvolvimento deste trabalho foi o projeto WaterCIME (WSS –2000; WaterCIME - 2002), da Comissão Européia (EC n° 8399) que utilizou o modelo GINAS, no módulo avançado de integração como ferramenta no modelo simulador e na programação da operação.

O projeto WaterCIME envolveu um consórcio entre oito entidades de cinco países europeus. O projeto foi iniciado em 1994 tendo como objetivo desenvolver uma nova geração de sistemas supervisórios baseado na arquitetura CIM para transporte, reservação, tratamento e distribuição de água e gerenciamento de esgoto. O trabalho se desenvolveu em três fases:

- Desenvolvimento de uma metodologia;
- Protótipo de um sistema de abastecimento com supervisão, simulação, previsão de demanda de água, otimização e diagnóstico;
- Aplicação em três companhias de abastecimento de água.

Dando seqüência ao projeto, desenvolve-se módulos de interface com a plataforma CIM e outros módulos avançados através de outro projeto denominado por CIMWater. O CIMWater é responsável pelas integrações entre os equipamentos de medição e controle e possui diversos módulos, entre eles o modelo simulador – GINAS e o programador da operação, da FINESSE.

O projeto WaterCIME apresenta dificuldade para ser encontrado, mais ainda, obter detalhes que permitam melhor entendimento e utilização das técnicas. A equipe de desenvolvimento aparentemente que não tem interesse em divulgação, apesar de propor comercialização.

Zhou et al. (2000) desenvolveram sete modelos de previsão de consumo de água. Trata-se de um grande e complexo trabalho que envolveu uma série histórica de sete anos (1989 – 1996). Os modelos matemáticos fazem previsões com base na demanda passada para o período futuro de 24 horas, sem considerar dias atípicos como feriados.

Dentre os sete modelos desenvolvidos, escolheu-se um modelo recomendado para o sistema de abastecimento de Melbourne, Austrália, com performance satisfatória, de acordo com os critérios de eficiência estabelecidos.

Os modelos foram baseados na tendência representada por uma função polinomial pelo tempo, no fator de sazonalidade, definindo verão e inverno, na correlação e autocorrelação climática e em fatores de persistência. A série histórica do consumo diário foi dividida em duas partes:

- A base de uso da água, considerada insensível aos fatores climáticos – uso da água durante os meses de inverno, utilizando regressão independente de fatores sócio-econômicos, com a demanda estimada por meio de um polinômio de terceiro grau em função do tempo (meses);
- O uso da água sazonal, sensível ao clima, utilizando sete anos de base histórica e subdividido em três outras partes:

- ciclo sazonal – analisando os padrões periódicos numa série temporal anual que se repetem, adotando a média diária e uma série de Fourier para eliminar oscilações nas médias aritméticas;
- componente climático – analisando as variações de temperatura, precipitação, evaporação, precipitação antecedente há aquele dia, número de dias de antecedência da precipitação (≥ 2 mm);
- componentes de persistência – memória curta (considera o dia da semana), auto-regressão para série de tempo residual.

Para avaliar os erros e validar o modelo, foram utilizados dois testes estatísticos: erro absoluto – diferença entre o previsto e o medido; erro relativo – razão do erro absoluto para o consumo medido.

Os desenvolvimentos progressivos dos sete modelos foram analisados e discutidos, comparando as variações de previsão. A média mensal de consumo básico foi identificada em meses de menor consumo (junho e julho). Assim, alterou-se alguma condição climática e comparou-se a eficiência (soma do quadrado das diferenças entre o observado e o calculado) definindo o modelo recomendado (a equação e os respectivos coeficientes).

Os critérios de eficiência adotados foram o de comparações entre os consumos medidos e os estimados, através de gráficos ou parâmetros estatísticos (média e desvio padrão, análise de variância).

O modelo escolhido foi testado com dados do período de verão (01/12/96 a 31/01/97), considerando as condições iniciais do sistema de operação de 28/11/96 a 30/11/96. Utilizou-se o modelo de previsão de chuvas do Australian Bureau of Meteorology. Obteve-se como resultado $R^2 = 89,6 \%$ e desvio padrão de $\pm 8 \%$. Considerado um ótimo resultado, lembrando da amplitude das variáveis envolvidas no modelo.

An et. al (1997), Calbelguenne et. al (1996) e Zessler & Shamir (1989) utilizaram modelos de previsão de demanda para estabelecer um controle otimizado, em

sistemas de recursos hídricos. Zessler & Shamir (1989) experimentaram um modelo de previsão de demanda de água de um sistema adutor com oito reservatórios e sete estações de bombeamento, em Israel. O objetivo desse trabalho foi otimizar o sistema e pouco detalha sobre o desenvolvimento do modelo de previsão de consumo de água.

Alguns autores desenvolveram modelos para previsão de demanda de água diária, construindo um programa híbrido (sistemas que utilizam combinações de técnicas de sistemas inteligentes) como o modelo utilizado em Sevilha, Espanha (Leon et al. –2000) ou em Regina, Canadá (Lertpalangsunti et al. – 1999).

Lertpalangsunti et al. (1999) concluem que na prática, modelos de previsão de consumo que adotam uma única técnica tende a gerar maiores erros. Os autores desenvolveram um modelo para previsões diárias utilizando uma combinação de sistemas inteligentes como redes neurais, lógica fuzzy (sistemas difusos ou sistemas nebulosos – Galvão &Valença. – 1999), “knowledge-based” e “case-based reasoning”, com aplicação em previsões de demanda de água. Também, elaboram uma revisão bibliográfica de autores que utilizaram técnicas de sistemas inteligentes para previsão de sistemas de energia elétrica. O programa desenvolvido permite adaptações aos diversos campos de aplicação e teve sua aplicação para fazer previsões de demanda de água para o sistema de abastecimento de água da cidade de Regina, Canadá. O artigo apresenta comparativos entre o programa desenvolvido e a técnica de regressão linear e a técnica “case-based reasoning”. Os resultados, nesse estudo de caso, se mostraram mais favoráveis no modelo proposto que nos demais comparados.

Em Sevilha, o protótipo testado obteve um resultado de cerca de 25% de economia nos custos de energia elétrica sobre a operação anterior.

De forma análoga, a área de energia elétrica realiza estudos de previsão de demanda de energia para operação dos sistemas. Lai et. al (2000) que desenvolveram um modelo de previsão de demanda de energia diário avaliam que de uma análise do comportamento de energia pode-se afirmar que fatores como informações climáticas, hora do dia, estação do ano e feriados, inter-relacionados e de forma simultânea são responsáveis pela precisão da previsão de demandas de energia elétrica.

Resumidamente, avalia-se que existe muita investigação pela descoberta da melhor técnica ou combinação dessas para se construir um modelo de previsão de curto prazo. A forma de avaliação entre as técnicas, comumente se baseia em comparar a demanda prevista e a demanda medida, de uma forma instantânea. Uma vez que não se conhece o futuro e tem-se a necessidade de programar uma operação, a fim de melhor atender a demanda, qualquer modelo de previsão é bem vindo e bem utilizado independente dos resultados. Além do mais, sendo um modelo dinâmico, a cada dado previsto pode-se fazer ajustes ao novo cenário, melhorando os resultados, de modo a chegar a uma situação mais favorável, dentro de um horizonte de previsão estabelecido, do que uma operação baseada na subjetividade da experiência dos operadores. Assim, é importante avaliar os resultados considerando onde se quer chegar, ou seja, o horizonte de previsão determinado. Zahed (1990) utilizou os desvios entre os consumos previstos e os consumos medidos de forma acumulada, considerando que o desvio instantâneo pode ser ajustado no instante seguinte, entretanto não se pode tolerar um desvio tendencioso, pois o erro acumulado causaria falta de abastecimento ou uma extravassão em determinado reservatório.

4.3. Modelos Simuladores

Baseado no fato de que, pretende-se unir um modelo de previsão de demanda a um modelo simulador expõe-se algumas premissas básicas de modelos hidráulicos e alguns modelos de simulação existentes no mercado e outros de trabalhos realizados.

Muitos dos modelos matemáticos para simulação de rede de abastecimento possuem um módulo de cálculo hidráulico e um módulo de qualidade da água.

Os modelos de qualidade da água são utilizados para determinar a idade da água, rastrear a origem da fonte, encontrar uma substância dissolvida, ou determinar sua redução. Os dados inseridos na tubulação constam de uma taxa do coeficiente de reação decorrente de uma estabilização química de uma determinada substância encontrada na água ou da interação entre a água e a parede da tubulação (Cesário – 1995).

A importância de se utilizar um modelo de qualidade da água em um sistema de abastecimento é identificar fatores de risco, como: reconhecer as fontes de abastecimento e o percurso da água, diagnosticar a contaminação em conexões, a dissolução de chumbo ou mercúrio das paredes da tubulação, a perda de desinfecção residual, a reação ou desinfecção com compostos que possam dar gosto e odor a água, a reprodução de bactérias e patógenos, o aumento da turbidez e a formação de subprodutos decorrentes da desinfecção.

O gerenciamento da performance da qualidade da água oferece condições para: calibrar um modelo hidráulico através de traçadores químicos; localizar e dimensionar reservação, modificar o sistema de operação para reduzir a idade da água; alterar a operação baseando-se nas diversas fontes de origem da água; encontrar a melhor combinação de tubulações, reduzindo tempo de reservação e localização de inserções de *boosters* para manter o nível de desinfecção necessário ao longo do sistema; minimizar o risco do consumidor exposto a sub produtos; reduzir a vulnerabilidade de incidentes de contaminação externa (Rossman – 1999).

Os cálculos hidráulicos dos modelos simuladores se baseiam nos princípios de Conservação de Massa e Conservação de Energia. Esses modelos são preparados para um sistema hidráulico composto por tubulação, reservatórios de nível fixo (por exemplo uma represa), reservatório de nível variado, bomba ou estação de bombeamento, nó ou ponto de demanda, e válvula.

Os dados do modelo simulador de sistemas adutores de água podem ser divididos em três tipos (Cesário – 1995): dados de rede hidráulica – topologia, dados operacionais e dados de consumo.

Existem duas possibilidades de trabalho do modelo simulador em relação ao tempo. A primeira trata-se de um determinado instante fixo onde se dispõe de dados necessários em um momento, para simular, geralmente, uma condição limite de máxima ou de mínima horária. Outra condição é simular em período extensivo onde se requer a alimentação de dados por uma sucessão de momentos consecutivos. Nessa segunda condição, o modelo simulador atende às necessidades para um uso operacional e para modelagem da qualidade da água.

Os dados de rede hidráulica ou a topologia do sistema refere-se a elementos físicos do sistema, quer sejam: comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade da tubulação, cotas nos nós e nos reservatórios, dimensões dos reservatórios, curvas das bombas, localização dos medidores de pressão e válvulas.

Os dados operacionais como medidas de vazão, pressão e níveis dos reservatórios alimentam diretamente o modelo simulador. O dado operacional posição de válvula, no caso particular do SCOA, apresenta-se em porcentagem de abertura de válvula devendo ser relacionada à vazão e assim obtida uma perda de carga equivalente.

A implantação de um modelo simulador para controle operacional de um sistema adutor proporciona, entre outros benefícios:

- Melhor compreensão do funcionamento do sistema;
- Calibração da rede existente;
- Previsão de operação do sistema para atender às necessidades (normais e emergenciais), decorrentes da determinação das vazões e pressões em tempo estendido, pois em função das vazões atuais simula-se a vazão futura do sistema analisado para as próximas horas.

Um marco no desenvolvimento de softwares na modelagem de redes hidráulicas se deu com o modelo computacional de simulação hidráulica que, calculava as pressões nos nós utilizando o método de Newton-Raphson e dava suporte a análises de cálculos de rede, desenvolvido por Shamir & Howard (1968).

Depois disso, um programa computacional de grande referência foi desenvolvido em 1972 pela Universidade de Kentucky apresentado por Wood e Charles, apud Cesário (1995),

O modelo Cybernet, da Haestad Methods surgiu na década de 1980. Hoje o Cybernet evoluiu e adquiriu um novo nome comercial o WaterCAD. Possui módulos de qualidade da água, de interface com o software AutoCAD, de sistema geográfico de informação e de custos.

Walski et al. (1987) propôs a alguns autores da área de modelos de simulação hidráulica que resolvessem um sistema de rede hidráulica hipotética cada um a seu modo de solução para depois fazer comparações entre os caminhos utilizados para a solução do problema.

Para a escolha do modelo matemático simulador implantado na Sabesp, foi organizado um processo que se iniciou com o levantamento do estado da arte em modelos simuladores hidráulicos. Este processo analisou e classificou os seguintes modelos (SABESP – 1998):

Bloco 1 – Modelos que apresentam todos os recursos básicos para simulações em regime permanente:

- EPANET-SARA – Trata-se de um modelo baseado no modelo EPANET. Não obteve boa avaliação quanto à facilidade de manuseio de cenários e possui modulo de simulação da qualidade da água.
- S-PERTS – É um modelo brasileiro, elástico, com solução numérica de rede hidráulica não matricial, possui uma resolução rápida, pois utiliza o método das características para seus cálculos, não possui modulo de simulação da qualidade da água.
- EPANET-BOSS – Baseia-se no modelo EPANET, não foi bem avaliado quanto à facilidade de manuseio de cenários. Apresentava-se com implementações em desenvolvimento.

Bloco 2 – Modelos que apresentaram os recursos adequados à simulação de rede hidráulica em tempo estendido, possuem interface gráfica, controle lógico, boas condições de calibração do modelo.

- WaterCAD – O modelo é amigável na comunicação com o usuário, foi apontado como o mais adequado para operações com cenários e permite importações de outros modelos simuladores.
- PIPE2000 – O modelo apresenta facilidade de comunicação com o usuário, tem ótimas condições de simulação de cenários.
- Cybernet – Trata-se de uma versão do modelo WaterCAD que permite o trabalho em ambiente AutoCAD. Posteriormente a esse processo, o modelo mudou de nome comercial para WaterCAD for AutoCAD.

Bloco 3 – Os modelos que propõem além das condições anteriores, a integração com o sistema SCADA (SCOA) de supervisão e controle operacional de rede hidráulica. São os mais completos dentre os modelos analisados, exigindo assim maior treinamento por parte do usuário. Estes modelos se destacam por apresentarem várias opções de simulação com variações de cenários e de controles sobre o acionamento dos elementos com válvulas e bombas.

- Strumap – Ofereceu dificuldades de entrada de dados e formatação da topologia.
- SynerGEE (versão 3.0) – Trata-se de um modelo da Stoner, que ofereceu dificuldades de entrada de dados e formatação da topologia.

- H2ONET (versão 3.0) – Oferece vantagens operacionais e para equipar os computadores do CCO e integração com o SCOA mas exige o ambiente AutoCAD.

Outros modelos foram pesquisados, mas não tiveram condições de serem avaliados por dificuldades de acesso e informação.

Os modelos simuladores foram amplamente desenvolvidos e discutidos por décadas, acompanhando a evolução dos computadores. Haja vista que, apresentam-se tantos modelos simuladores comerciais.

Os modelos simuladores se diferenciam por técnicas de cálculo mais ou menos ágeis, por facilidades de apresentação dos resultados e por interfaces com outros módulos de software. Atualmente, com os recursos computacionais existentes, não há motivos para se preocupar com a rapidez de processamento. Quanto à facilidade do usuário, a arte de modelar é uma tarefa que exige habilidade e conhecimento de especialista, não chegando a oferecer um obstáculo para a interpretação dos resultados. Entretanto, as ferramentas de atalho e outras facilidades fazem com que o especialista ganhe tempo. Maior ganho de tempo se tem nos modelos simuladores que possuem interfaces com outros módulos de software, pois automatizam a entrada e saída de dados. Resta uma avaliação de custo/benefício para a escolha de um modelo adequado as condições suplantadas.

4.4. Modelos de Otimização

Com a intenção de ilustrar a projeção desse trabalho no apoio a otimização, cita-se alguns trabalhos realizados com modelos de otimização e o alcance da aplicação desses modelos na engenharia civil.

Bender et al. (2002) desenvolveram um modelo de otimização baseado no método estocástico para subsidiar uma tomada de decisão de curto prazo e administrar a evolução em médio e longo prazo na gestão de recursos hídricos. O objetivo da operação de mananciais é determinar o nível ótimo de forma dinâmica, ou seja, a cada momento. Os autores justificam o método escolhido por considerar que dados determinísticos (ignora incertezas) se distanciam da realidade impondo uma vazão a montante como conhecida, e consideram que métodos como algoritmo genético e lógica fuzzy são como “caixa preta” trazendo insegurança ao operador.

No modelo desenvolvido, o ótimo global não é encontrado, entretanto a regra operacional dinâmica pode ser visualizada com clareza, sendo de fácil implementação e de resultados tão próximos quanto o ótimo. O modelo foi aplicado a mananciais da região de La Paz, Bolívia e trouxe vantagens na aplicação dinâmica da estatística fazendo um problema de insuficiência reverter em nível de segurança. Mesmo de uma forma pouco ousada, os autores demonstraram que a aplicação de um modelo de otimização traz benefícios mostrando um aumento no abastecimento acima de 8% do

limite de abastecimento de segurança anual e deixando de ser penalizado pela agência reguladora por não atender à demanda de abastecimento, economizando em multas, gerando um aumento de receita líquida acima de 5%.

A Programação Linear é um método de otimização que foi experimentado por muitos autores na aplicação em sistemas de abastecimento. Alperovits & Shamir (1977) desenvolveram o método de Programação Linear Gradiente para otimização de projetos de sistemas distribuidores de água e recebeu muita atenção durante um grande período (Kessler & Shamir – 1989).

Segundo Zessler & Shamir (1989), entre as técnicas de modelos de otimização, a Programação Dinâmica desenvolvida por Dreizin et al. em 1971, é reconhecidamente satisfatória na aplicação em recursos hídricos. Porém, quando se pretende aplicá-la a um sistema adutor complexo, com uma grande série de reservatórios, essa se mostra limitada pelo número de variáveis que se forma quando se discretiza os volumes dos reservatórios.

Zessler & Shamir (1989) desenvolveu um modelo de otimização progressivo baseado em Programação Dinâmica na operação de um sistema de abastecimento de água para determinar a regra de operação de bombeamento ótima. A aplicação do modelo de otimização se deu no Sistema Ein Ziv, em Israel, que abastece uma área de aproximadamente 180 km². O sistema é composto por sete estações elevatórias e oito reservatórios. O consumo de água que o sistema atende é de $5,5 \times 10^6$ m³ por ano dos quais 68% servem à agricultura e 32% servem para o uso doméstico. O principal manancial está localizado a cerca de 95 m de altitude e a extremidade do sistema está próxima de 900 m de altitude, gerando um grande consumo de energia, com aproximadamente 13×10^6 kWh / ano e a média de 2,4 kWh / m³ abastecidos.

O modelo utiliza as condições necessárias para uma simulação hidráulica, a variação do custo de energia ao longo do dia e uma previsão de demanda para um período de 24 horas a partir de curvas de demanda média em intervalo de tempo de 1 hora.

O algoritmo tem por função objetivo minimizar o custo de energia em função da vazão de entrada do reservatório, do volume armazenado no reservatório e da demanda de consumo no intervalo de tempo, admitindo um controle operacional centralizado em tempo real.

Função Objetivo:

$$MinF = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \{G_j[X_j(t), V(t), D(t)]\} \quad (1)$$

Sujeito à:

- Limites de vazão – $0 \leq X_j(t) \leq \overline{X_j}(t)$ para $\forall j, t$
- Limites de volume – $\underline{V_i}(t) \leq V_i(t) \leq \overline{V_i}(t)$ para $\forall i, t$
- Equação da continuidade para a mudança do volume no reservatório ao longo do tempo – $V_i(t) = f[V_i(t-1); X(t); D(t)]$ para $\forall i$
- Volume inicial – $V(1)$
- Volume final – $V(T+1)$

Onde:

$$j = 1, \dots, J$$

$$i = 1, \dots, I$$

$t = 1, \dots, T$

Sendo:

J = número da estação elevatória

T = intervalo de tempo

j = index de estações elevatórias

i = index de reservatórios

t = index de intervalos de tempo

$X_j(t)$ – vazão da estação elevatória ao longo do tempo

$V_i(t)$ – volume do reservatório ao longo do tempo

$D(t)$ – vetor de demanda

G_j – custo da estação elevatória para bombear a vazão de entrega X_j ,
atendendo a demanda de acordo com o volume do reservatório

$\underline{\quad}, \quad^{\overline{\quad}}$ – valores mínimos e máximos respectivamente

O autor utilizou-se de um modelo simulador e um modelo de previsão de demanda de consumo de água. Além disso, para cada hora simulada com a demanda prevista construiu-se uma curva da relação vazão e energia gasta para cada estação elevatória.

O algoritmo desenvolvido divide o sistema de abastecimento em seis subsistemas com duas zonas de pressão cada um e cria ciclos de interação sobre os intervalos de tempo até convergir a uma solução ótima local inicial. O ótimo global é alcançado admitindo sua convergência, e é praticamente garantido em todo o sistema real.

Mais recentemente, segundo Lippai et al. (1999), modelos de otimização baseados em técnicas como Programação Linear, Não-linear, Dinâmica tem encontrado recursos limitados na área de sistemas de abastecimento.

Lippai et al. (1999), pesquisaram a crescente aplicação de algoritmos inteligentes na otimização de projetos de redes de abastecimento e analisou a aplicação de quatro modelos comerciais de otimização no sistema de abastecimento do município de Nova York - EUA.

Os modelos de otimização analisados foram o Envolver 3.5, Envolver 4.0, OptQuest, Pointer e o GENOCOP que estabeleceram interface ao modelo hidráulico simulador WinPipes. O WinPipes trabalha no ambiente de software Windows e é baseado no código fonte do modelo simulador EPANET, tem capacidade de otimizar, calibrar e simular potencial de combate á incêndio e análise de custo de acordo com a classe de uso da água. O Envolver tem sua programação baseada em algoritmo genético; o OptQuest tem seus princípios no “tabu search” e “scatler search”; o Pointer combina algoritmo genético com declinação do método Simplex e algoritmo gradiente; o GENOCOP foi desenvolvido no ambiente C++ e é baseado em algoritmo genético.

A otimização proposta pelo autor preconiza a Função Objetivo combinada de penalidades de violação a restrições, demanda de água para o combate a incêndio, custo de energia e custo de construção. A interface entre o modelo hidráulico e o modelo de otimização gera iterações sucessivas até encontrar a melhor solução.

O artigo concluiu que: a utilização de algoritmos inteligentes na otimização tem encontrado aplicação satisfatória possibilitando, a manipulação de alguns tipos de relações matemáticas, inclusive procura de tabelas de referências, descontinuidade, não

convergência e outros problemas que possuem grandes restrições de uso de modelos de otimização.

Walski et al. (1987) apresentaram na Conferência “Computer Water Resources”, em Nova Iorque, uma série de soluções encontradas a um problema de rede hidráulica hipotética proposta por ele. Essas soluções foram dadas por diversos pesquisadores que propuseram diferentes algoritmos que visavam soluções otimizadas.

Ainda, há casos de modelos de otimização em sistemas de abastecimento em que se busca outras formas de aplicação como o modelo proposto por Carrijo & Righetto (1991). Os autores desenvolveram e aplicaram em Goiânia, a otimização com a finalidade de melhorar a eficiência em projetos de expansão de rede. Nos projetos de expansão depara-se com fatores complicadores como o crescimento demográfico, a formulação de um modelo hidráulico e o modelo de otimização. O modelo hidráulico foi desenvolvido pelo método de aproximação com formulação linearizada, discretizada por elementos finitos.

Muitos modelos de otimização que surgiram em meados da década de 1990, tinham a tendência de utilizar os modelos para reduzir custos de operação e para otimizar o dimensionamento da tubulação (Cesário – 1995). Coulbeck & Orr (1990), realizaram um estudo de caso sobre os resultados da implantação de um modelo de otimização, em tempo real, numa cidade da Inglaterra. O modelo priorizava a redução de custos de energia de bombeamento utilizando um modelo de previsão de demanda de consumo de água e um modelo simulador. Os autores concluíram, a partir dos resultados, que a implantação trouxe benefícios incluindo: um custo de bombeamento mínimo, um sistema de operação automatizado, instantâneo e com a introdução de um sistema de previsão.

Mais recentemente existem novos métodos sendo propostos para a minimização de custos através de regras operacionais de bombeamento como Ilich & Simonovic (1998) e outros mais complementares que combinam considerações de qualidade da água ao custo operacional de bombeamento em sistemas de distribuição de água como Sakarya & Mays (2000).

É comum encontrar como Função Objetivo, num processo de otimização, a minimização dos custos de energia. Entretanto, no caso do Sistema Adutor Metropolitano outro fato é ainda de maior preocupação, o melhor atendimento à demanda apesar da limitação da oferta.

Percebe-se que é importante compreender as condições locais, para estabelecer as variáveis envolvidas e entender que se pode obter ganhos na aplicação de regras operacionais evoluindo para uma operação ótima. Dessa forma, a operação do abastecimento de água tende a aproveitar vantagens cada vez maiores com o crescente desenvolvimento de modelos de otimização.

O objetivo e a introdução deste estudo justificam a exposição das experiências obtidas por esses autores, nesse capítulo.

O próximo capítulo descreve sobre a metodologia aplicada a este estudo.

O capítulo 6 – modelo de operação descreve sobre o desenvolvimento da interface entre os dados em tempo real, e a escolha do modelo de previsão de consumo de água e do modelo simulador.

No estudo de caso – capítulo 7, apresenta-se o sistema adutor escolhido, o estágio atual de controle desse sistema, discorre sobre as condições disponíveis de estudos e dados operacionais, a aplicação do modelo de operação e seus resultados.

O capítulo 8 apresenta as conclusões que se pôde chegar com as análises dos resultados do estudo de caso.

5. METODOLOGIA

O escopo do presente trabalho se desenvolve a partir de sete partes principais.

Na primeira parte, coleta-se os dados operacionais da Sabesp tais como, dados do SCOA e dados cadastrais para montar a topologia da rede adutora.

Em segunda etapa, com a topologia construída no modelo simulador, utiliza-se os dados do SCOA para calibrar o modelo. Nesse momento os dados do SCOA e os dados cadastrais são consistidos para então, validar os coeficientes de rugosidade conforme a situação real dos dados operacionais.

Para a validação do modelo calibrado, os dados do SCOA passam por um acompanhamento do processo que culmina na transmissão de informações e aquisição de dados. Fazendo uma análise dos seus critérios, avaliando suas tendências e seus expurgos, de forma a ocasionar um refinamento que estabeleça um diagnóstico, com considerações a respeito das atuais condições do sistema adutor de água, garantindo segurança à continuidade do trabalho. Da mesma forma, os dados operacionais de cadastro devem passar por uma checagem de campo sobre cotas, equipamentos e condições de operação.

Dessa maneira, pode-se caracterizar o cenário, incluindo tópicos referentes ao sistema de controle de adução e reservação, e uma retrospectiva histórica.

A pesquisa bibliográfica reforça as circunstâncias pelas quais realiza-se este estudo sobre os modos de controle operacional de sistemas de abastecimento e modelos de previsão de consumo de água, e ainda para um entendimento da inserção deste trabalho no processo de desenvolvimento operacional de grandes sistemas adutores de abastecimento de água, ilustra-se com a experiência de modelos de otimização e de modelos de simulação. Espera-se assim, que de forma sucinta, substancie a preocupação global com a automatização e otimização do setor de controle operacional da adução e reservação.

Além disso, tendo em vista o aspecto de aplicação, cresce a necessidade de harmonizar e compatibilizar os diversos modelos de previsão de demanda de consumo de água às condições do sistema de controle adutor metropolitano da Sabesp. Nessas condições, sobre cada modelo da pesquisa bibliográfica reflete-se pela conveniência de se adotar um dos referidos modelos existentes, bem como pelo desenvolvimento de um novo modelo, de acordo com o estabelecimento de critérios ou indicadores que permitam aferir o custo, disponibilidade, a eficiência e a qualidade de tais softwares.

O modelo esperado deve atender questões como:

- Viabilidade financeira;
- Garantia de facilidade operacional sem a introdução de muitos parâmetros de forma que a disseminação da técnica de modelo de previsão de consumo não cause impacto negativo;
- Facilidade de articulação entre os softwares e hardwares, uma vez que o modelo de previsão de consumo deve absorver dados de medições adquiridas pelo SCOA, através de uma interface e carregar o modelo simulador com dados de previsão de consumo e outros dados operacionais

do SCOA. Todos os modelos devem ter linguagens de comunicação compatíveis e capacidade de hardwares do sistema de controle existente;

- Não limitação de programação a pacotes fechados.

Mediante a disponibilidade dos modelos constrói-se uma interface entre o sistema de controle operacional vigente na Sabesp e o definido modelo de previsão de consumo de água.

Em consequência, à confecção dessa interface, realizam-se experiências com a aplicação do modelo validando e justificando sua funcionalidade.

Assim, finalmente se obtém resultados que serão analisados para se obter as conclusões, a respeito das vantagens do uso de modelo de previsão de demanda no controle de sistemas de abastecimento de água.

Essas conclusões podem ser encontradas no capítulo 8.

Para situar as condições para o modelo de operação proposto por este estudo, a introdução – capítulo 2 e o capítulo 4 – referências bibliográficas citam as fases que constituem os sistemas de controle e suas evoluções.

O capítulo 3, considerações teóricas – demanda de água, introduz as técnicas utilizadas em modelos de previsão de demanda de água.

O modelo de operação é descrito no capítulo 6, apresentando o desenvolvimento da interface entre os dados em tempo real e a escolha dos modelos de previsão de consumo de água e de simulação.

No estudo de caso – capítulo 7, apresenta-se o sistema adutor escolhido, o estágio atual de controle desse sistema, discorre sobre as condições disponíveis de estudos e dados operacionais, a aplicação do modelo de operação e seus resultados.

6. MODELO DE OPERAÇÃO

O modelo de operação cria uma interface entre o SCOA, o modelo de previsão de demanda de água e o modelo simulador hidráulico.

O aplicativo foi escrito no ambiente Visual Basic – versão 6.0, com algumas informações SQL, organizado em um formulário de entrada de parâmetros, um módulo de leitura do banco de dados, um módulo de entrada e saída de dados do modelo de previsão de consumo de água e um módulo de geração de entrada do modelo de simulação hidráulica.

A tela de entrada do modelo de operação deixa livre campos de inserção de critérios passíveis de futuras análises de desempenho. Entretanto, as opções previamente admitidas são as recomendadas pelo autor do modelo de previsão adotado. O modelo baseado na Série de Fourier avalia sete dias anteriores à hora e data de início, o número de harmônicos da ordem de 21 e o número de horas de antecedência de 6 horas, data e hora de início. As opções na tela de entrada do modelo de operação são: pontos SCOA, número de harmônicos, faixa de desvio entre a demanda prevista. A figura 6.1 ilustra a tela de entrada do aplicativo.

O modelo de operação é preparado para realizações das programações de operação diárias, utilizando uma das premissas do modelo de previsão de demanda escolhido, o consumo médio da hora nas 4 semanas anteriores à previsão, para as horas seguintes a recomendada de 6 horas.

Modelo Operacional 12/5/2003

Dados Históricos

Data Inicial: 14/12/2002 Data Final: 14/12/2002 Hora Inicial: 00:00

Opções de Cálculo

Número de Horas Máxima de Antecedência: 6

Número de Horas de Base: 24

Número de Harmônicos: 21

Ciclo (para recalcular os Qs): 6

Faixa: 5

Dados SCOA

Ponto SCOA:

- 022F01
- 022R01
- 022Y01
- 023F01
- 023R01
- 023Y01
- 024F01
- 024R01
- 024Y01
- 025F01
- 025R01
- 025Y01
- 090F01
- 090F02
- 090R01

Seleção:

- 022F01
- 022R01
- 022Y01
- 023F01
- 023R01
- 023Y01
- 024F01
- 024R01
- 024Y01

Grupo: 1 Grupo Alto Tietê

Ajuste de série por

Série de Fourier

Iniciar Cancelar

Figura 6.1 – Tela de entrada da interface desenvolvida

O modelo de operação importa os dados instantâneos de hora cheia de consumo – Y e nível – R e situação de bomba – B, de acordo com as opções de entrada, geradas pelo SCOA e disponíveis a partir do HDS.

Em decorrência das falhas de transmissão e dos medidores nos pontos solicitados, faz-se as seguintes considerações para redimir inconsistências: dados medidos com valores fora da faixa de $\pm 20\%$ de desvio em relação à média móvel das

duas horas anteriores e das duas horas posteriores, caso haja qualquer qualificador do elemento indicando erro e caso haja alarme do tipo LP (problemas de comunicação) ou Fase (indica problemas de energia elétrica). Os dados considerados não confiáveis por estes critérios são substituídos pelos dados correspondentes da hora e semana anterior que contenha dados completos até 4 semanas anteriores a previsão.

O modelo operacional transmite os dados de consumo consistidos do SCOA ao modelo de previsão de demanda e os dados de vazão, nível dos reservatórios e estado de bombas consistidos ao modelo simulador.

O modelo de previsão de demanda inicia o processo de geração de consumos previstos para as próximas seis horas. Das sete horas as vinte e quatro horas calcula-se a média das últimas quatro semanas consistidas. Ao final desse processo, os dados de saída, ou seja, os consumos previstos são transmitidos, através do modelo operacional, alimentando o modelo simulador hidráulico.

O modelo de operação fica disponível para novo início logo após a primeira solicitação de cálculo. Assim, pode-se estabelecer uma regra operacional para as seis primeiras horas previstas pelo modelo de previsão de demanda e após as seis horas, recalcular os consumos previstos atualizados para a operação das próximas seis horas e assim por diante. Ou considerar os consumos previstos e as médias históricas a fim de gerar uma única regra operacional por dia, como realizado no estudo de caso proposto.

O modelo de previsão de demanda de água se baseia em uma série harmônica. O modelo simulador utilizado foi o EPANET.

6.1. Modelo de Previsão de Demanda Escolhido

Os códigos fonte dos aplicativos desenvolvidos por Zahed (1990) são abertos à leitura e alterações conforme as necessidades dos interessados, disponíveis em sua tese. Os modelos desenvolvidos pelo autor, também não utilizam informações adicionais aos dados disponíveis pelo SCOA.

Dentre os modelos de previsão de demanda desenvolvidos por Zahed (1990), o modelo baseado na série de Fourier obteve um bom resultado em relação ao consumo medido e ainda, uma extrapolação centrada em uma faixa de oscilação bastante razoável. Sendo esse o modelo escolhido para aplicação em tempo real à operação do SAM.

A linguagem original do código fonte do modelo de previsão baseado na série harmônica de Zahed (1990) foi adequada de acordo com as ferramentas de software e hardware disponíveis atualmente no mercado, sendo reescrito na linguagem Visual Basic, mesma linguagem que o modelo de operação, facilitando a interface entre os módulos.

A operação do modelo utilizou os parâmetros recomendados por Zahed (1990).

6.2. Modelo Simulador Escolhido

O modelo EPANET destaca-se entre os demais modelos simuladores por possuir o código fonte do aplicativo aberto à leitura e alterações conforme as necessidades dos interessados, disponíveis na internet, sem nenhum custo. Outro fato, é que o modelo EPANET possui a facilidade de novas adaptações com o decorrer da evolução do SCOA e pode ser exportado e importado pelo modelo WaterCAD, enquanto o caminho inverso não é possível. A figura 6.2 ilustra a tela de apresentação do modelo EPANET.

As topologias dos subsistemas que compõem o SAM são previamente montadas contendo dados cadastrais e os coeficientes de rugosidade da tubulação. Desta forma, o subsistema fica preparado para receber as informações dos níveis dos reservatórios e o estado de bombas que a integram, os consumos previstos pelo modelo de previsão de demanda e a hora referente ao início da sequência de dados.

A entrada de dados para o EPANET é feita através da leitura de um arquivo texto, apresentado no Anexo B, contendo as definições das informações constantes (dimensões, coeficiente de rugosidade, cotas, limites operacionais, estados iniciais, e regras lógica para as condições de estado) e as variáveis de saída do modelo de previsão ou do SDS.

O modelo de operação propicia a recepção dos consumos previstos para as próximas 24 horas, pelo modelo simulador hidráulico, estabelecendo uma regra operacional diária que atenda às demandas horárias, considerando o menor número de manobras e evitando o bombeamento em horários de custo mais alto. Estabelecida à regra operacional diária, o modelo de previsão de demanda de água pode chegar a limites de aceitação que o obrigue a um auto-ajuste e pronto para reiniciar previsões para as novas próximas 24 horas. Desta maneira, novamente os consumos previstos são transmitidos ao modelo simulador, altera-se as condições de operação, sendo necessário outra análise e programação das novas regras. Entretanto, este estudo se limitará a fazer somente a primeira programação diária das regras operacionais e propõe avaliar a condição de que ainda assim, se obtém ganhos operacionais quando comparada à operação atual do CCO.

Figura 6.2 –Tela de apresentação do modelo EPANET

A experiência em sistemas de controle, modelos simuladores, de previsão de demanda e de otimização em sistemas de abastecimento de água são expostos no capítulo 4 – referências bibliográficas.

O próximo capítulo, estudo de caso, apresenta o sistema adutor escolhido para uma aplicação do modelo de operação, o estágio atual de controle desse sistema, discorre sobre as condições disponíveis de estudos e dados operacionais, a aplicação do modelo de operação e seus resultados.

O capítulo 8 apresenta as conclusões que se pôde chegar com as análises dos resultados do estudo de caso.

7. ESTUDO DE CASO

7.1. Características Locais

7.1.1. SAM

A Região Metropolitana Administrativa de São Paulo (RMSP) possui quase 18 milhões de habitantes, abrangendo 39 municípios (F. Seade – 2000). Desta região, a Sabesp opera através do SAM em 28 municípios, vende água “ao atacado” para Diadema, Guarulhos, Mauá, Mogi das Cruzes, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. A figura 7.1 mostra o esquema do SAM atualizado em outubro de 2001.

Esses municípios fazem parte do sistema integrado que possibilita manobras operacionais de macro-distribuição. O sistema integrado da região metropolitana produz cerca de $63 \text{ m}^3/\text{s}$ se dividindo em 8 grandes Sistemas Produtores: Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, Rio Claro, Rio Grande, Alto Cotia, Baixo Cotia e Ribeirão da

Estiva. A figura 7.2 apresenta os sistemas produtores que compõem o SAM com sua rede adutora esquemática. Cada sistema produtor é composto pela rede adutora entre uma ETA e os reservatórios abastecidos pela ETA. Os sistemas produtores são parcialmente interligados entre si e ultrapassam os limites administrativos dos municípios formando assim o sistema integrado.

Figura 7.1 – Esquema hidráulico do Sistema Adutor Metropolitano

Para um estudo de caso optou-se inicialmente por trabalhar com a Alça Oeste, do sistema Cantareira que por uma sequência de inconsistência de dados, que não puderam ser verificados e corrigidos, foi abandonado e substituído por parte do sistema Alto Tietê, do SAM.

O sistema Alto Tietê passou por estudos para estabelecer regras de operação com o objetivo de reduzir custos de energia, a partir de 1999 (SABESP – 1999 b).

A topologia de parte do Alto Tietê é representada no modelo simulador pela figura 7.3. Essa topologia informa os nós e trechos da rede, no anexo C.

À parte do sistema Alto Tietê utilizado neste estudo, contém aproximadamente 111.000 m³ de volume nominal de reservação para distribuição (incluindo Passagem Funda Zona Alta e Zona Baixa, considerados como pontos de demanda no modelo estudado), distribuindo cerca de 8,5 m³/s, por cerca de 75 km de adutoras, de até 2.500 mm de diâmetro, contando com a ajuda de 4 estações de bombeamento (além do *Booster* Guaianazes suprimido na topologia estudada). Informações mais detalhadas serão descritas mais adiante no item 7.2 – dados disponíveis.

A adução do sistema Alto Tietê tem início no reservatório de distribuição (RD) na saída da estação de tratamento de água Taiaçupeba até os limites do Sifão 7, ponto de transferência de água do sistema Alto Tietê ao sistema Rio Claro e os reservatórios São Miguel e Ermelino Matarrazo que recebem água tratada, ora do sistema Alto Tietê ora do sistema Cantareira através do *Booster* Alto Tietê / Cantareira (BAC). Sendo que, no período estudado, o reservatório limite do sistema Alto Tietê era o São Miguel.

Figura 7.3 – Topologia do sistema Alto Tietê

7.1.2. Sistema de Controle

O desenvolvimento tecnológico na operação do sistema adutor de São Paulo parte de sistemas baseados no conhecimento a soluções de mais automação reduzindo assim, o tempo gasto em determinada atividade e ainda, trazendo maior confiabilidade à tomada de decisão (Green et. al – 1997 e Galara et. al – 1999).

O controle do sistema adutor é centralizado utilizando o processo SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*. O acionamento de bombas e *boosters* é feito à distância. Os reservatórios contam: com o controle de nível por bóias e por aparelhos ultra-sônicos; com medidores de vazão do tipo deprimogêneos ou eletromagnéticos; com válvulas telecomandadas; com medidores de pressão e em um reservatório com medidor de temperatura.

O sistema de controle operacional do SAM é composto pelo Sistema de Telemetria e pelo Sistema Informático denominado SCOA – Sistema de Controle da Operação de Adução (processo SCADA). O sistema de controle é esquematizado nas figuras 7.4 e 7.5.

O Sistema de Telemetria é composto por Estações Remotas de Telemetria (ERTs), Concentrador de Telemetria, Linhas Telefônicas Privativas (LTs) e Painéis para visualização de medidas e comando de bombas e válvulas (*Cross-Switch Controller* - CSC). Enquanto, as Estações Remotas de Telemetria estão distribuídas no campo, o

Concentrador de Telemetria está localizado no CCO (Centro de Controle Operacional), e para se interligarem utilizam-se das Linhas Telefônicas Privadas.

Dessa forma, a aquisição dos dados de abastecimento é obtida no campo a cada 30 minutos e transmitida ao CCO, permitindo ser visualizado através de painéis, possibilitando a atuação dos operadores no acionamento de bombas e válvulas.

Figura 7.4 – Sistema de transmissão dos dados de campo para o SCOA

Figura 7.5 – Sistema de controle operacional do SAM

O Sistema Telemétrico proporciona a interligação entre os instrumentos medidores (nível, vazão, pressão, temperatura) no campo e instrumentos acionadores (comando de bombas e válvulas) no CCO.

O Sistema Informático SCOA (SCADA), obtém os dados do Sistema de Telemetria, e efetua o seu processamento e armazenamento. Esse processamento ocorre por meio de terminais de vídeo apresentados aos controladores, informando-lhes a situação em tempo real do abastecimento e a indicação de alarmes das situações anormais (medidas fora dos limites ou mudança intempestiva do estado de bombas e válvulas) subsidiando-lhes, de forma subjetiva e pessoal, à tomada de decisão instantânea quanto às manobras necessárias à continuidade do abastecimento. Estas manobras são realizadas por meio de comandos de bombas e válvulas, através do terminal do controlador a critério da experiência individual adquirida pelo controlador.

Um fato que compromete a eficiência do controle do abastecimento é a limitação da interface homem-máquina em virtude de proporcionar a visualização de um número reduzido de medidas, não apresentando uma visão global do conjunto de estações que compõem um sistema produtor ou mesmo todo o SAM.

O Sistema Informático SCOA processa os dados obtidos do Sistema Telemétrico, necessários à administração da operação do abastecimento, tais como:

- A determinação de condições limites anormais com apresentação de indicações de alarmes nos terminais;
- Cálculo da média de medições obtidas;
- Geração de históricos (gravações a cada 1 minuto do estado do sistema e *log* de todos os comandos, alarmes e mudanças de estado) e relatórios;

- Apresentação nos terminais de medições em unidades de engenharia e na forma de gráficos.

O SCOA é composto por sete módulos de trabalho interligados e dependentes, ou seja, sem otimizar seus recursos, num único computador de controle. Esses módulos são:

- ADCS – Aquisição de dados e controle supervisão;
- IHM – Interface homem máquina;
- DIHM – *Drivers* de comunicação serial com terminais;
- GERP – Gerência de execução dos processos (gerencia os ciclos de trabalho de cada módulo);
- GDAD – Gerência de dados;
- SDAD – Segurança de dados;
- TDAD – Transmissão de dados.

Cabe ressaltar, que o processo de modernização do sistema de controle operacional visa essencialmente a atualização do SCOA, procurando otimizar esses recursos, implantando tecnologia de *hardware* moderna que utilize ferramentas que possibilite uma independência dos módulos de trabalho ganhando rapidez e facilitando a atualização e o aprimoramento de *softwares* necessários a melhoria da eficiência do controle operacional.

Para um entendimento básico do funcionamento do SCOA apresenta-se a figura 7.6. Desta forma, o SCOA se conecta ao Concentrador de Telemetria e utiliza terminais e impressoras para realizar a sua IHM – interface homem-máquina. Nestes

terminais, operadores podem acessar estados e medições de pontos do abastecimento e comandar operações sobre componentes do sistema.

Figura 7.6 – Módulos de funcionamento do SCOA

Os dados operacionais históricos são armazenados num módulo acessório do SCOA denominado SDS – Servidor de Dados do SCOA e podem ser consultados, por meio de rede local, através do aplicativo, de linguagem DOS, HDS – Histórico de Dados do SCOA.

A figura 7.7 esquematiza a interface do módulo SDS e a figura 7.8, apresenta a tela de inicialização do programa HDS.

Esses dados possibilitam estudos e desenvolvimento do processo operacional como o conhecimento das curvas de consumo médio dos setores abastecidos, a calibração e validação da rede adutora e estudos de otimização dos níveis operacionais dos reservatórios.

A equipe do sistema de controle de abastecimento de água é composta por controladores, supervisores de controle e técnicos de planejamento da operação:

- Controladores – 3 técnicos rodando turno 24 horas por dia, 365 dias por ano totalizando 18 técnicos;
- Supervisores de controle – 1 encarregado para o período das 06h às 14h e outro das 14h às 22h, 5 dias por semana totalizando 2 encarregados fixos e 3 encarregados para plantão;
- Técnicos de planejamento – 3 técnicos que acumulam a função de encarregados para plantão.

Os controladores possuem formação de nível médio e recebem treinamento para adquirirem conhecimentos básicos de hidráulica e de informações de alarmes e prática de acionamento de bombas e válvulas do SAM, passando por avaliações dos treinadores a fim de conferir plenas condições de operação. Os supervisores de controle

possuem uma maior experiência de controle a intervenções no sistema. Os técnicos de planejamento operacional possuem formação de nível técnico e têm experiência de controle do sistema e programam estratégias de grandes manobras operacionais.

O sistema de controle administra 168 estações remotas de telemetria, 514 válvulas e bombas, 704 pontos de medição (vazão, pressão, nível, temperatura) e 216 variáveis calculadas (consumo e vazão calculada). Disponibiliza uma série histórica com um segundo backup de gravação em disco mensal.

Figura 7.7 – Interface do módulo SDS

Figura 7.8 – Tela de inicialização do HDS

O Centro de Controle Operacional conta com uma interface que alimenta o modelo simulador com os dados do SCOA, necessitando de atualizações para proporcionar uma maior segurança à equipe de planejamento da operação.

O modelo simulador em uso na Sabesp é o WaterCAD, um produto da Haestad Methods, baseado no modelo EPANET (USEPA - 2001) que utiliza como premissas hidráulicas: a rede de condutos forçados em regime permanente, estático em determinado momento ou em tempo extensivo. Os modelos de simulação de rede hidráulica vêm sendo utilizados por engenheiros na operação, planejamento, projeto e estudos hidráulicos de setorização, possibilitando o equacionamento diante de várias alternativas de tomada de decisão. A figura 7.9 mostra a tela de abertura do modelo simulador WaterCAD. O modelo WaterCAD permite a importação do modelo EPANET.

Figura 7.9 – Tela de inicialização do WaterCAD

O objetivo básico da equipe de controle é de atuar na minimização da deficiência de abastecimento baseando-se na experiência da equipe sem se preocupar com os custos envolvidos nas tomadas de decisão na operação. Isto mostra a necessidade de ampliar o escopo de suas atividades estabelecendo critérios sustentados por modelos matemáticos, visando a redução de custos. Esses modelos devem ser capazes de se alimentar de dados em tempo real e com o auxílio da previsão de demanda de água, simular as diversas opções de ações ou cenários de operação. As simulações devem oferecer condições de análise dos resultados e eliminação de ações críticas aos objetivos traçados para otimizar a solução de operação de mínimo de custo.

Os dados operacionais do SCOA estão disponíveis a partir do aplicativo “HDS” e possibilita a informação de dados históricos a partir de um solicitado período, de minuto a minuto com a opção de escolha dos dados através do dia, mês, ano e a

estação selecionada. Sua apresentação, não é automática, gerando apenas o arquivo para ser aberto através do Excel, com extensão csv. Evidentemente, a interface aciona o aplicativo HDS, nos pontos de interesse e transporta os dados, direto para o modelo de previsão de consumo de água sem gerar a planilha de apresentação. Para melhor compreensão dos termos e símbolos utilizados pelo arquivo gerado em planilha discorre-se sobre as abreviações:

- Est – número da estação SCOA, no exemplo da tabela 7.1, a estação SCOA 7;
- LP – linha privativa e indica “0” quando não há problemas na comunicação e “1” quando há;
- AlEst – alarme da estação – problema no ar comprimido da válvula telecomandada ou alagamento da casa de bombas. Não compromete a medição de dados do campo;
- Fase - falta de uma fase ou defeito no trifásico da estação SCOA;
- Seg - indica o acionamento do alarme de segurança patrimonial da estação SCOA;
- Local - indica que a telemetria está no local da estação SCOA;
- 007B01 - Ponto da estação selecionada. O código é entendido por três algarismos identificando o número da estação seguido por uma letra que pode ser B, F, R, T, V, Z, P, Y que indica o tipo de dados (detalhado a seguir) e mais dois números identificando o ponto em questão. Os tipos de dados são:
 - B – Bomba (contendo o status “0” – desligada ou “1” – ligada),
 - F – Vazão de entrada do reservatório (l/s),

O SCOA varre entre as leituras medições de campo, elementos que disparam atenção quanto a problemas de leitura ou transmissão de dados ao centro de controle.

Estes elementos são pré-definidos como qualificadores e podem ser:

- E – quando a medição não é válida;
- ESC – erro de escala, pode ser A (alta) ou B (baixa) ou ainda por uma falta de energia. Qualifica-se alta quando o aparelho medidor extrapola o limite máximo de medição e baixa quando a medida é inferior a capacidade mínima de medição;
- LP – erro da linha privativa, ocorre quando a linha telefônica está sem comunicação;
- TR – erro de transmissão da linha telefônica, pelo motivo de oscilações na transmissão;
- BL – bloqueio acionado pelo CCO;
- S – substituição “a mão” por informação passada de um volante que faz a leitura em campo;
- T – erro de telemetria;
- MA – em manutenção.

7.1.3. Estudos de consumo do SAM

As curvas típicas setoriais de consumo de água da Região Metropolitana de São Paulo e os coeficientes de variações de consumo foram definidos pela Sabesp em 1999.

O estudo sobre as curvas de consumo setoriais (SABESP – 1999 a), se baseou numa série histórica de três anos e meio de dados de consumo. Esse trabalho objetivou a determinação dos coeficientes de variação de consumo, K_1 , K_2 e K_3 e a definição das curvas de consumo em função do tipo de ocupação e dos dias da semana para cada setor.

Esse estudo deu um primeiro passo à implantação de modelos de previsão de demanda de água e de otimização na operação, pois o conhecimento das curvas de consumo é de fundamental importância para a implantação de um modelo de operação em tempo real e, posteriormente, para a implantação dos modelos de otimização objetivando reduzir custos operacionais.

O valor de K_1 foi obtido pelo consumo médio de cada setor considerando a média dos consumos dos últimos 12 meses para cada dia da série histórica. O coeficiente K_2 foi obtido pela relação entre a vazão máxima de consumo horário e a vazão média de um dia, procurando avaliar as maiores oscilações de consumo de um

dia. E o coeficiente K_3 , a relação entre a vazão mínima horária de consumo e o consumo médio do dia o que sustenta a detecção de perdas de determinados setores.

A análise das curvas de consumo do estudo (SABESP – 1999 a) mostrou que pode ser definido um perfil típico de consumo para os setores do SAM, onde se verificam picos máximos de consumo entre 12:00 e 14:00 e picos mínimos entre 3:00 e 5:00.

Em uma fase futura à implantação das curvas médias de consumo de água haveria necessidade de desenvolver um aplicativo de atualização das curvas médias ou mesmo, poupando etapas, um acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água em tempo real.

Em 1998, a Sabesp iniciou importantes transformações no sistema de controle adutor por meio de um processo de modernização do SCOA. Trata-se de um projeto muito amplo que inclui reforma física do prédio onde se localiza o CCO, substituição de *hardwares* e *softwares*, programação de estações remotas inteligentes, substituição do meio de comunicação, implantando de modelagem matemática com aquisição e desenvolvimento de modelos simulador, de previsão de consumo de água e de otimização.

7.2. Dados Disponíveis

7.2.1. Topologia

A topologia de parte do sistema Alto Tietê considerada neste estudo, conforme apresentada na figura 7.3, é composta por:

- Reservatórios de nível variado Itaquera, São Miguel, Itaim, Suzano e Poá com tubulação de entrada por cima e válvula de controle, Guaianazes com tubulação de entrada por cima e sem válvula de controle, Brás Cubas, Ferraz de Vasconcelos e Itaquaquecetuba com válvula de controle;
- Reservatório de Distribuição (RD) da ETA Taiacupeba que alimenta todo o sistema;
- Pontos de demandas sem reservação Sifão 7, Passagem Funda Zona Alta, Passagem Funda Zona Baixa e Derivação Suzano;
- *Boosters* Santa Etelvina com três grupos moto-bombas, Passagem Funda Zona Baixa com quatro grupos moto-bombas, Brás Cubas com um conjunto moto-bomba e Sam Leste com três grupos moto-bombas, todos sem variação de rotação.

Os dados cadastrais utilizados na topologia do sistema Alto Tietê foram:

- Adutoras – comprimento, diâmetro e material da tubulação entre os nós (anexo C);
- Nós que indicam mudança de diâmetro ou material da tubulação ou mudança do sentido da inclinação – cota (anexo C);
- Reservatórios – área ou diâmetro e cota da laje de fundo do reservatório (tabela 7.3);
- Reservatório da ETA Taiaçupeba – cota (tabela 7.3);
- Pontos de demandas sem reservação – cota (tabela 7.4);
- Válvulas – cota e diâmetro (tabela 7.5);
- *Boosters* – cota do eixo e curva das bombas (tabela 7.6);
- Nós que representam o ponto de medição de pressão – cota do medidor de pressão secundário (tabela 7.7).

A tabela 7.2 apresenta os comprimentos totais das adutoras classificadas por diâmetro. Os comprimentos, diâmetros e material de cada trecho entre nós apresentam-se em forma digital no anexo C. Esses dados foram obtidos através do relatório de redução de custos com energia do Alto Tietê (SABESP – 1999 b) e de consulta à base de dados do cadastro técnico da Sabesp. Os nomes dos nós podem ser visualizados na topologia no anexo D.

TABELA 7.2 – Resumo das dimensões das adutoras de parte do sistema Alto Tietê

Diâmetro (mm)	Comprimento (m)
300	1.036
400	632
600	7.586
700	110
750	7.664
800	10.211
900	6.943
1.050	9.928
1.200	5.017
1.800	12.576
2.100	12.100
2.500	1.780
Total	75.583

A tabela 7.3 apresenta os volumes nominais, as áreas e as cotas dos reservatórios, disponíveis no CADOP (Cadastro de dados operacionais), no relatório de redução de custos com energia do Alto Tietê (SABESP – 1999 b) e por consulta à base de dados do cadastro técnico da Sabesp.

TABELA 7.3 – Capacidade dos reservatórios de parte do sistema Alto Tietê

Nome dos Reservatórios	nº SCOA	Volume (x 1000 m³)	Área (m²)	Cota do fundo (m)
Taiapuêba	99	40	4248	820,00
Guaianazes	25	5	676	776,37
Ferraz de Vasconcelos	95	2	486	789,92
Itaquera	22	24	3808	780,00
São Miguel	23	10	1170	783,38
Suzano	90	10	1717	786,00
Brás Cubas	92	20	4848	784,93
Poá	94	5	1156	787,93
Itaim	24	15	1862	783,00
Itaquaquecetuba	96	5	636	782,00

A tabela 7.4 apresenta as cotas nos pontos de demanda, levantadas a partir do relatório de redução de custos com energia do Alto Tietê (SABESP – 1999 b) e por consulta à base de dados do cadastro técnico da Sabesp.

TABELA 7.4 – Pontos de demanda de água na representação do sistema Alto Tietê

Pontos	nº SCOA	Cota (m)
Sifão 7	137	770,00
Passagem Funda ZB	156	940,56
Passagem Funda ZA	153	866,00
Derivação Suzano ZA	90F02	758,40

A tabela 7.5 apresenta as informações de cotas e diâmetros de válvulas levantadas a partir do CADOP e do relatório de redução de custos com energia do Alto Tietê (SABESP – 1999 b).

TABELA 7.5 – Dados cadastrais das válvulas telecomandadas nas entradas dos reservatórios de parte do sistema Alto Tietê

Reservatórios	Válvulas	
	Cota (m)	Diâmetro (m)
Ferraz de Vasconcelos	795,19	0,40
Itaquera	781,47	1,05
São Miguel	785,35	0,90
Suzano	785,95	0,80
Brás Cubas	783,17	0,60
Poá	785,86	0,40
Itaim	781,63	0,90
Itaquaquecetuba	781,00	0,80

As curvas características das bombas, apresentadas na tabela 7.6, são conhecidas por meio de cadastro e checagens de campo levantadas para estudos de

adequação de projetos a pedido da Divisão de Controle Operacional da Sabesp, disponíveis para este estudo, a serem introduzidas no modelo simulador.

TABELA 7.6 – Curvas características das bombas por *booster*

Booster Passagem Funda ZB		Booster Sta. Etelvina		Booster SAM Leste e Brás Cubas	
Vazão (l/s)	Altura Manométrica (m)	Vazão (l/s)	Altura Manométrica (m)	Vazão (l/s)	Altura Manométrica (m)
0	192	0	100	0	55
20	180	55.55	98	200	51
40	168	111.11	97	300	49
60	160	166.6	95	400	47
80	144	222.2	93	500	45
100	129	277.7	89	600	42
120	110	333.3	84	700	39
		388.88	77	800	36
		444.44	70	900	34
		500	60	1000	30
				1100	27
				1200	23

A tabela 7.7 apresenta as informações de cotas dos medidores de pressão secundários levantadas a partir do CADOP.

TABELA 7.7 – Cotas dos medidores de pressão secundários

Próximo do	Pressão secundário
	Cota (m)
Res. Ferraz de Vasconcelos	796,38
Res. Itaquera	782,33
Res. São Miguel	785,96
Res. Suzano	786,54
Res. Brás Cubas	783,61
Res. Poá	790,77
Res. Itaim	782,67
Res. Itaquaquecetuba	781,29
Booster Guainazes	784,23

Todo o Sistema Alto Tietê possui, além dos reservatórios estudados, uma saída de adutora após o reservatório Itaquaquecetuba que transporta água tratada para os reservatórios Pinheirinho, Vila Industrial, Arujá e uma derivação sem medidor de vazão que somados levam cerca de 65% da vazão aduzida a montante do reservatório Itaquaquecetuba.

Na dinâmica da operação de controle, foi incorporado ao Sistema Alto Tietê, no mês de dezembro de 2002, o reservatório Ermelino Matarazzo, a jusante da linha adutora que leva água ao reservatório São Miguel.

O *Booster* Santa Etelvina eleva a carga piezométrica aduzida até o reservatório Passagem Funda Zona Alta, assim como o *Booster* Passagem Funda Zona Baixa aumenta a pressão da água até o reservatório Passagem Funda Zona Baixa. Ambos reservatórios são resumidos a um ponto de demanda no modelo pela dificuldade de informações cadastrais disponíveis.

O reservatório Guaianazes é abastecido pelo reforço de pressão promovido pelo *Booster* Guaianazes. O reservatório Guaianazes não possui válvula de controle na entrada, sendo operado através do acionamento de bombas no *booster* a montante. Por não se dispor de curvas de bombas conhecidas no *Booster* Guaianazes, e sabendo que com a operação do *booster*, seja qual for a perda de carga distribuída no trecho entre o *booster* e o reservatório, será compensado pelo bombeamento, então a topologia utilizada foi simplificada controlando a pressão de sucção do *booster* e considerando o trecho com perda de carga distribuída tendendo a zero.

O reservatório Ferraz de Vasconcelos (SCOA nº 095) é constituído por 3 câmaras, sendo 2 câmaras (R01 e R02) para abastecer a zona alta, operada por uma válvula de altitude, não telecomandada e 1 câmara (R03) para abastecer a zona baixa,

com uma válvula telecomandada mantida fechada durante o período de simulação do modelo de operação.

7.2.2. Dados operacionais

Os dados operacionais utilizados para calibrar o modelo foram:

- Reservatórios – nível de operação mínimo, máximo (tabela 7.8) e nível (22R01, 23R01, 24R01, 25R01, 90R01, 92R01, 94R01, 95R01, 96R01) em dado instantâneo (anexo C);
- Pontos de demandas sem reservação – vazão aduzida (90F02, 91F01 – Passagem Funda Zona Baixa, 137F01, 153F01) em dado instantâneo (anexo C);
- Válvulas – vazão medida na entrada do reservatório (22F01, 23F01, 24F01, 25F01, 90F01, 92F01, 94F01, 95F01, 96F01) em dado instantâneo (anexo C);
- *Boosters* – estado de bomba (91B01, 91B02, 91B03, 91B04, 93B01, 93B02, 93B03, 145B01, 145B02, 145B03, 167B01) ligado (= 1) ou desligado (= 0) em dado instantâneo (anexo C);
- Nós que representam o ponto de medição de pressão – pressão (22P01, 23P01, 24P01, 09P03, 90P01, 92P01, 94P01, 95P01, 96P01, 93P01 –

pressão no nó a jusante do *Booster* Santa Etelvina, 137P01) em dado instante (anexo C).

Os dados de limites operacionais dos níveis dos reservatórios são apresentados na tabela 7.8, disponíveis no aplicativo de propriedade da Sabesp CADOP (Cadastro de dados operacionais).

TABELA 7.8 – Níveis operacionais dos reservatórios

Reservatórios	Nível mínimo (m)	Nível máximo (m)
Taiacupeba	1,50	5,60
Guaianazes	0,65	8,08
Ferraz de Vasconcelos	1,00	4,15
Itaquera	2,70	5,88
São Miguel	0,85	8,50
Suzano	0,70	5,40
Brás Cubas	0,80	4,09
Poá	0,60	5,00
Itaim	0,90	7,60
Itaquaquecetuba	0,90	7,90

Os demais dados operacionais utilizados para calibrar o modelo foram obtidos através do aplicativo HDS (item 7.1.2). Os dados horários do HDS, entre o período de 12/04/2002 à 20/05/2002, foram gravados em meio digital e estão disponíveis no anexo C, deste volume.

Para calibrar e validar o modelo foram utilizados os dados do dia 06/05/2002 à 0h, 11h e 18h.

Os dados instantâneos das horas cheias, disponíveis no anexo C, utilizados para rodar o modelo de operação (interface entre SCOA, modelo de previsão e modelo simulador) e para simular a operação, durante as 24 horas do dia 06/05/2002 foram:

- Reservatórios – nível inicial (22R01, 23R01, 24R01, 25R01, 90R01, 92R01, 94R01, 95R01, 96R01) e consumo inicial (22 Y 01, 23Y01, 24Y01, 25Y01, 90Y01, 92Y01, 94Y01, 95Y01, 96Y01), disponíveis no anexo C;
- Pontos de demandas sem reservação – vazão inicial aduzida (90F02, 91F01 – Passagem Funda Zona Baixa, 137F01, 153F01), disponíveis no anexo C;
- Válvulas – vazão inicial medida na entrada do reservatório (22F01, 23F01, 24F01, 25F01, 90F01, 92F01, 94F01, 95F01, 96F01), disponíveis no anexo C;
- *Boosters* – estado de bomba inicial (91B01, 91B02, 91B03, 91B04, 93B01, 93B02, 93B03, 145B01, 145B02, 145B03, 167B01) ligado (= 1) ou desligado (= 0), disponíveis no anexo C.

Na aplicação da interface, os dados disponibilizados pelo HDS são coletados nas horas cheias.

Para um conhecimento da grandeza dos consumos trabalhados, a tabela 7.9 ilustra as demandas médias, produzidas a partir das 4 primeiras semanas de novembro de 2002, disponíveis no HDS, dos setores analisados neste estudo de caso.

A demanda média requerida para o reservatório Itaquaquecetuba contempla também os setores de abastecimento de Arujá, Vila Industrial e Pinheirinho que se

localizam no extremo nordeste do Sistema Alto Tietê e que são suprimidos na topologia estudada.

TABELA 7.9 – Demandas médias diárias dos setores de reservação de parte do Sistema Alto Tietê

Setores de consumo	nº SCOA	Demanda média diária (l/s)
Taiapuê	99	8842
Sifão 7	137	786
Passagem Funda ZB	156	371
Passagem Funda ZA	153	526
Guaianazes	25	610
Ferraz de Vasconcelos	95	335
Itaquera	22	1223
São Miguel	23	763
Suzano	90	639
Brás Cubas	92	519
Poá	94	290
Itaim	24	1177
Itaquaquecetuba	96	1175

7.3. Resultados

7.3.1. Dados operacionais

Uma análise da massa de dados operacionais colhidos através do HDS, durante o ano de 2002, mostrou a essencialidade dos critérios de consistência de dados utilizados pela interface.

Os dados disponíveis no HDS para as horas cheias, não coincidem de minuto a minuto da hora cheia, sendo solicitado verificação. Cabe ressaltar que, da mesma forma que a falta de informações cadastrais confiáveis podem gerar problemas de calibrações no modelo simulador, não reproduzindo fielmente os acontecimentos no campo, a qualidade da transmissão dos dados é capaz de inviabilizar qualquer proposta de desenvolvimento da operação. Considerando as incertezas nos medidores, a transmissão de dados ganha maior importância, pois essas incertezas somadas a falhas e erros se acumulam proporcionalmente ao tamanho do sistema.

7.3.2. Calibração

O processo de calibração consistiu em fixar nas válvulas as mesmas vazões observadas na entrada dos reservatórios e adequar o coeficiente de rugosidade “C”, da Fórmula de Hazen – Williams, de forma a atingir os valores de pressão observados através do aplicativo HDS.

Fixadas as vazões nas válvulas introduzidas na topologia do modelo, a melhor combinação de coeficientes “C” nas tubulações da topologia estudada, resultou nas pressões calculadas apresentadas pelas tabelas seguintes.

A tabela 7.10 apresenta as vazões e as pressões observadas no instante 0 hora, do dia 06/05/2002, disponíveis no HDS e as pressões calculadas pelo modelo simulador EPANET.

TABELA 7.10 – Pressão observada e pressão calculada à 0 hora do dia 06/05/2002

Próximo do	Vazão (l/s)	Pressão (mH ₂ O)	
		observada	calculada
Res. Ferraz de Vasconcelos	434	16,35	14,67
Res. Suzano	670	14	18,17
Res. Brás Cubas	515	2,8	3,01
Res. Poá	290	11,75	9,65
Res. Itaim	1270	4	0
Res. Itaquaquecetuba	1350	7,2	5,79
Res. São Miguel	846	21,5	21,43
Booster Guainazes	615	31,75	30,59
Res. Itaquera	870	33,3	32,55
Sifão 7	660	50,4	48,44
Booster Santa Etelvina	388	60,2	61,03

Devido às incertezas dos medidores, segundo alguns autores é razoável admitir uma diferença de 10% entre as vazões observadas e as vazões calculadas (Walski et al. – 2001), uma diferença entre a pressão observada e calculada de cerca 10% (Cesário – 1995) ou de ± 5 m (Cesário & Davis – 1984; Walski – 1983) ou em 100% dos casos das medidas com ± 2 m (Walski et al. – 2001). Pode-se avaliar que as pressões próximas dos reservatórios Suzano, Poá, Itaim e Itaquaquecetuba ultrapassam a diferença de pressão em $\pm 10\%$. A maior diferença, em número absoluto, foi à pressão do reservatório Suzano com 4,17 m superior a pressão medida em campo.

A tabela 7.11 apresenta as vazões fixadas e a comparação entre as pressões observadas e calculadas no instante 11 horas do dia 06/05/2002.

TABELA 7.11 – Pressão observada e pressão calculada às 11 horas do dia 06/05/2002

Próximo do	Vazão (l/s)	Pressão (mH ₂ O)	
		observada	calculada
Res. Ferraz de Vasconcelos	452	11,55	13,26
Res. Suzano	560	17,2	15,25
Res. Brás Cubas	525	4	4,1
Res. Poá	278	13	9,72
Res. Itaim	1050	4,75	7,71
Res. Itaquaquecetuba	1290	9,6	12,49
Res. São Miguel	873	19,25	19,49
Booster Guainazes	760	28	28,91
Res. Itaquera	1200	30,3	30,66
Sifão 7	670	50,4	48,47
Booster Santa Etelvina	664	60,2	60,94

No cenário das 11 horas, as pressões próximas dos reservatórios Ferraz de Vasconcelos, Suzano, Poá, Itaim e Itaquaquecetuba ultrapassaram a diferença de 10%. A maior diferença em número absoluto foi à pressão do reservatório Poá com 3,28 mH₂O inferior a pressão observada em campo.

A tabela 7.12 apresenta as vazões, as pressões observadas e as pressões calculadas pelo modelo simulador EPANET, no instante 18 horas do dia 06/05/2002.

TABELA 7.12 – Pressão observada e pressão calculada às 18 horas do dia 06/05/2002

Próximo do	Vazão (l/s)	Pressão (mH ₂ O)	
		observada	calculada
Res. Ferraz de Vasconcelos	228	21,3	18,72
Res. Suzano	696	12,4	9,67
Res. Brás Cubas	495	2,8	3,01
Res. Poá	320	9,75	8,5
Res. Itaim	1230	2,75	0
Res. Itaquaquecetuba	1300	7,2	5,79
Res. São Miguel	630	22,25	25,47
Booster Guainazes	625	33,25	31,3
Res. Itaquera	930	32,4	33,16
Sifão 7	910	48,4	48,77
Booster Santa Etelvina	268	59,5	61,3

Na comparação entre as pressões calculadas e as observadas das 18 horas, nota-se que as pressões dos reservatórios Ferraz de Vasconcelos, Suzano, Poá, Itaim, Itaquaquecetuba e São Miguel ultrapassaram os 10% de tolerância para a diferença. Sendo a maior diferença em número absoluto a pressão do reservatório São Miguel com 3,22 m superior a pressão medida no campo.

Em número absoluto, pretendia-se aceitar uma diferença de pressão de ± 2 m. Assim, para melhorar a calibração do modelo seguiu-se por dois caminhos. Primeiramente, checar as informações de comprimentos, cotas e curva de bombas, solicitando levantamento cadastral de equipe de topografia para verificar as cotas e solicitar ensaios de curvas de bombas, para a equipe de pitometria. Não sendo possível, considerar a calibração atingida, assumindo uma perda na melhoria de eficiência da operação proposta, suprida pela ratificação da proposta de viabilidade de se introduzir um modelo de previsão de demanda em tempo real ao SAM.

7.3.3. Previsão

A interface desenvolvida para a programação diária da operação, utiliza para as 6 primeiras horas, o modelo de previsão de demanda de água, baseado na Série de Fourier e das 7 às 24 horas, a média móvel horária das quatro semanas anteriores.

A verificação da relação entre os dados medidos e os dados previstos pelo modelo de previsão de consumo foi realizada, apesar de entender que esta relação não seja adequada para a avaliação do modelo de previsão utilizada para a operação do sistema.

A figura 7.10 apresenta o resultado da relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório Itaquera, no dia 06/05/2002.

Figura 7.10 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaquera

Os consumos previstos mostram-se próximos dos consumos observados durante as 6 primeiras horas quando o modelo de operação utiliza o modelo de previsão ajustado pela série de Fourier. Os consumos previstos compreendidos entre 7 e 24 horas utilizam, segundo o modelo de operação em tempo real, as médias das quatro semanas anteriores, se mostram distantes dos consumos observados no reservatório Itaquera. Esse deslocamento entre os consumos observados e os previstos mostra que o dia 06/05/2002 teve um consumo atípico, com uma demanda menor do que nas semanas anteriores. Esse comportamento se repete nos demais reservatórios, ressaltando a necessidade da aplicação do coeficiente de correção de relação entre os valores previstos e os observados em um período imediatamente anterior à previsão como foi utilizado no modelo de previsão harmônica (“ α ” – item 4.2).

A figura 7.11 apresenta o resultado da relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório São Miguel, no dia 06/05/2002.

Figura 7.11 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório São Miguel

Observa-se, no reservatório São Miguel na hora 1, que a relação entre o consumo previsto pelo modelo de previsão e o consumo observado pelo SCOA, se distancia muito (cerca de 50%). Entretanto, ao se observar a tendência dos valores medidos encontram-se dados com uma oscilação de mais de 50% entre um intervalo de uma hora e retorno à mesma ordem de grandeza da hora duas vezes anteriores. Ou seja, por exemplo, a medição SCOA 023 do dia 05/05/2002 a partir das 22 horas tem a sequência da tabela 7.13.

TABELA 7.13 – Dados observados do dia 05/05/02 e 06/05/02

22h	23h	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h
649	645	645	334	602	654	663	650	679

Assim, pondera-se que na madrugada de zero hora para uma hora não é provável uma variação de 645 l/s para 334 l/s, numa sequência estável em torno de 650 l/s.

Essa análise permite avaliar que o critério adotado de substituir valores que se distanciam da média móvel mais que 20% é bastante razoável. Da mesma forma, confirma-se que a avaliação da eficiência do modelo de previsão de consumo de água não deve ser feita comparando-se dado a dado momentaneamente e sim os resultados operacionais obtidos ao longo do dia.

A figura 7.12 apresenta o resultado da relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório Itaim, no dia 06/05/2002.

Figura 7.12 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaim

Os consumos previstos durante as 6 primeiras horas mostram-se oscilando entre maior e menor que os consumos observados, correspondendo à proposta do modelo de previsão de demanda de que se deve dar maior atenção aos consumos previstos ao longo de um período, atendendo ao volume operacional para uma eficiente operação de reservação.

A figura 7.13 apresenta o resultado da relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório Guaianazes, no dia 06/05/2002.

Figura 7.13 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Guaianazes

Os consumos previstos para o reservatório Guaianazes, nas 6 primeiras horas, que utiliza o modelo de previsão ajustado pela série de Fourier, mostram-se superiores aos consumos observados, acumulando um volume excedente na operação do reservatório até às 5 horas, revertendo de forma significativa e compensatória na sexta hora quando a previsão é bem inferior ao consumo observado. Às 8 horas da manhã, onde se espera um consumo relativamente alto, nota-se que houve uma redução no consumo observado. Os consumos previstos compreendidos entre 7 e 24 horas mostram-se em sua maioria com um desvio acumulado superior aos consumos observados.

A figura 7.14 apresenta o resultado da relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório Suzano, no dia 06/05/2002.

Figura 7.14 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Suzano

A relação entre os consumos observados e os consumos previstos para o reservatório Suzano mostra-se parecida ao comportamento do reservatório Guaianazes, ajustando-se bem nas 5 primeiras horas e após as 12 horas. Os consumos previstos compreendidos entre 6 e 11 horas mostram um descolamento dos consumos observados.

A figura 7.15 apresenta a relação entre os consumos observados e as demandas previstas pelo modelo de operação para o reservatório Brás Cubas ao longo do dia 06/05/2002.

Figura 7.15 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Brás Cubas

Os consumos previstos e observados do reservatório Brás Cubas mostram-se próximos nas 6 primeiras horas, oscilando para mais ou para menos, de maneira quase compensatória, mas com diferenças maiores nas horas seguintes.

A figura 7.16 apresenta a relação entre os consumos observados e os consumos previstos, utilizando-se o relatório de saída da interface entre o SCOA e o modelo de previsão de demanda no reservatório Poá do dia 06/05/2002.

Figura 7.16 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Poá

No reservatório Poá, os consumos calculados pelo modelo de previsão e os observados mostram-se como no reservatório Itaim nas primeiras horas a menos de uma queda de consumo às 6 horas da manhã.

A diferença entre os consumos observados entre a hora anterior e posterior às 6 horas é de cerca de 50 %, como na análise dos consumos observados do reservatório São Miguel.

A figura 7.17 apresenta a relação entre os consumos observados e os consumos previstos, utilizando-se o relatório de saída da interface entre o SCOA e o modelo de previsão de demanda no reservatório Guaianazes do dia 06/05/2002.

Figura 7.17 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Ferraz de Vasconcelos

Os consumos observados do reservatório Ferraz de Vasconcelos mostram-se abaixo dos consumos previstos em grande parte do tempo, apresentando uma diminuição do consumo às 4 horas da manhã.

A figura 7.18 apresenta a relação entre os consumos observados e os consumos previstos através do modelo de operação para o reservatório Itaquaquecetuba, no dia 06/05/2002.

Figura 7.18 – Consumo observado e consumo previsto do reservatório Itaquaquetuba

Nota-se que as demandas previstas no reservatório Itaquaquetuba mantiveram, como nos demais reservatórios, entre 9, 10 e 11 horas da manhã superiores aos consumos observados no dia 06/05/2002. Isso reflete uma tendência da série histórica repassada pelo modelo de operação. Essa análise entre os consumos previstos e os observados foram repetidos para os dias 14, 16 e 20/05/2002 não apresentando descolamento semelhante, mesmo no período entre 9 e 11 horas.

As discrepâncias levantadas apontam para a qualidade dos dados operacionais e para a falta do fator de correção aplicado à média móvel minimizando as influências climáticas, sazonais e outras.

7.3.4. Operação

A introdução de um modelo de previsão de demanda de água a um sistema adutor em tempo real deve causar benefícios. Para isso, esse estudo propõe simulações de operação para verificar se com o apoio do modelo de previsão, mesmo que imperfeito, pode-se obter ganhos na operação de manobras de válvula, bombas e redução no custo de energia.

Antes de avaliar os resultados da operação, cabe algumas considerações sobre o sistema adutor. A capacidade de reservação do sistema Alto Tietê é insuficiente como visto na tabela 7.14, admitindo uma reservação mínima equivalente a 1/5 do consumo diário.

TABELA 7.14 – Situação de reservação do sistema Alto Tietê

Setores de abastecimento	Demanda média diária (l/s)	Volume Útil Disponível (m³)	Volume Útil Necessário (m³)
Guaianazes	610	5023	10533
Ferraz de Vasconcelos	335	1531	5789
Itaquera	1223	12109	21138
São Miguel	763	8951	13192
Suzano	639	8070	11047
Brás Cubas	519	15950	8976
Poá	290	5086	5006
Itaim	1177	12475	20347
Itaquaquecetuba	1175	4452	20305

A capacidade de “engolimento” do sistema é deficitária, ou seja, o sistema não suporta o atendimento para as vazões das derivações em marcha e para as demandas médias dos setores, em regime permanente, sem restrições, deixando os setores do Itaim, Itaquaquecetuba e Brás Cubas sem abastecimento, a menos de adequações físicas como aumento do diâmetro.

Assim, entende-se que as condições de operação do sistema são controláveis, pois se pode reduzir a vazão de entrada dos reservatórios, porém não são otimizáveis, pois não se pode aumentar a vazão aduzida para os reservatórios.

A operação diária foi analisada para três condições. A primeira trata-se da observação da operação realizada em um determinado dia. A segunda, considerando o conhecimento prévio dos consumos de um determinado dia, ou seja, admitindo-se que se tenha um modelo de previsão de consumo perfeito, quais seriam as regras de operação estabelecidas para esse dia, servindo como base de comparação, sem otimizar. A terceira, utilizando o modelo de previsão escolhido, quais seriam as manobras operacionais programadas e realizadas, sem a pretensão de otimizar.

O levantamento estatístico do número de acionamentos de bombas e de manobras de válvulas foi contabilizado, considerando o monitoramento da operação efetuada durante o dia 06/05/2002 de minuto a minuto, a partir da série histórica do HDS e estão disponíveis no anexo C, deste volume.

A data escolhida é justificada por ser um dia da semana típico e em função de uma melhor qualidade dos dados. Isso se deve ao fato de que, em alguns dias contém falhas de dados por mais de 80% do tempo o que prejudica a realidade da tendência de operação.

O custo de energia tem tarifa diferenciada, para o enquadramento na modalidade horo-sazonal azul ou verde, ou seja, não convencional (inferior a 300 kW), em função do horário e do período do ano de utilização. O horário de custo mais elevado, conhecido como “Horário de Ponta”, estabelecido pela Eletropaulo é das 17h30 às 20h30 (ELETROPAULO – 2003). Esse período é estabelecido como uma restrição para a programação da operação.

A figura 7.19 apresenta o funcionamento das bombas do *booster* Passagem Funda Zona Baixa. A figura 7.20 mostra os acionamentos das bombas do *booster* Santa Etelvina. A figura 7.21 apresenta o funcionamento das bombas do *booster* Sam Leste. A figura 7.22 apresenta o funcionamento da bomba do *booster* Brás Cubas.

As linhas na cor azul se referem às bombas 1, na cor rosa as bombas 2 e na cor amarela as bombas 3. O trecho das linhas, nas figuras, mais abaixo indica o estado de bomba desligado e mais ao alto o estado ligado.

Figura 7.19 – Operação real do *booster* Passagem Funda Zona Baixa (06/05/02)

Figura 7.20 – Operação real do *booster* Santa Etelvina (06/05/02)

Figura 7.21 – Operação real do *booster* Sam Leste (06/05/02)

Figura 7.22 – Operação real do *booster* Brás Cubas (06/05/02)

A bomba 1 do *booster* Passagem Funda Zona Baixa, por volta das 8 horas ficou desligada por 2 minutos gerando um desgaste desnecessário por uma nova partida. As três bombas do *booster* Santa Etelvina foram desligadas por volta das 8 horas por 1 minuto e a bomba 1 repetiu o acionamento às 17h30 gerando desgastes na vida útil das bombas. A bomba 3 do *booster* Sam Leste foi ligada às 11h18 por 2 minutos, desligada nos seguintes 12 minutos e novamente ligada às 11h32.

A faixa, destacada em vermelho nas figuras, indica o período de custo de energia mais alto.

A tabela 7.15 apresenta um resumo dos acionamentos de bombas na operação do dia 06/05/2002 para o *booster* Passagem Funda Zona Baixa (SCOA – 091), Santa Etelvina (SCOA – 093), Sam Leste (SCOA – 145) e Brás Cubas (SCOA – 167).

TABELA 7.15 – Quadro resumo da operação real dos *boosters* do sistema Alto Tietê (06/05/02)

Scoa	Bomba	nº acionamentos	horário de ponta de energia (min)
91	B01	8	87
	B02	0	-
	B03	0	-
	B04	MA	-
93	B01	6	1
	B02	6	-
	B03	3	180
145	B01	3	180
	B02	1	-
	B03	4	180
167	B01	3	0

Para a contagem do número de horas médias que uma bomba fica ligada por dia, considerou-se o período de 06/05/2002 à 07/06/2002, para todos os *boosters*, excluindo os dias em que ocorreram problemas LP (falha na comunicação), alarme de fase (problemas de energia elétrica) ou indicação de erro nos qualificadores (item 7.1.2). A tabela 7.16 apresenta o tempo médio em que cada bomba se mantém ligada por dia.

TABELA 7.16 – Tempo médio (minutos) de bomba ligada por dia

091B01	091B02	091B03	091B04	093B01	093B02	093B03	093B04	145B01	145B02	145B03	167B01
1103	453	821	MA	926	248	MA	MA	833	623	276	97

Os dias em que as bombas ficaram em manutenção programada foram observados: SCOA 093 - bomba 3 e 4 durante todo o período; SCOA 091 - bomba 3 em 26/05 e 07/06/2002 e a bomba 4 estava desativada.

No período analisado de 33 dias (06/05 à 07/06/2002) utilizou-se 8 dias (6, 7, 15, 25, 26/05/2002 e 1, 2, 7/06/2002), considerando os critérios de expurgo nas falhas

de comunicação, problemas de energia elétrica ou erro nas medições levantadas pelo SCOA. Durante essa análise o SCOA 091 (*Booster* Passagem Funda Zona Baixa), apresentou dados em menos de 25% do período estudado. Esse fato, ressalta a necessidade de uma avaliação da qualidade dos dados operacionais com propostas de melhorias.

Em decorrência das falhas de dados, observou-se alguns dias espaçadamente, fechando os minutos ao fim de cada dia.

A partir dessa análise, pôde-se verificar que o monitoramento da operação das estações de bombeamento, requer um período de observação muito longo para que, após o expurgo dos dias de dados de qualidade deficitária, possa se aproveitar uma sequência de alguns dias para explorar a informação do intervalo entre liga e religa bomba, considerando o tempo ao final do dia e início do dia seguinte. Essa informação auxilia na decisão quando da comparação entre diferentes cenários de operação, pois um maior espaçamento entre as ligações de bomba garante uma vida útil do equipamento mais longa.

A figura 7.23 apresenta as manobras nas válvulas telecomandadas operadas pelo CCO, na entrada do reservatório Itaquera. A figura 7.24 mostra os acionamentos das válvulas na entrada do reservatório São Miguel. A figura 7.25 apresenta o funcionamento das válvulas no reservatório Itaim, a figura 7.26 em Suzano, a figura 7.27 em Poá e a figura 7.28 em Brás Cubas.

Figura 7.23 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaquera (06/05/02)

Figura 7.24 – Operação real da válvula de entrada do reservatório São Miguel (06/05/02)

Figura 7.25 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaim (06/05/02)

Figura 7.26 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Suzano (06/05/02)

Figura 7.27 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Brás Cubas (06/05/02)

Figura 7.28 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Poá (06/05/02)

A figura 7.29 apresenta as manobras na válvula de entrada do reservatório Itaquaquecetuba, realizadas pelo CCO, ao longo do dia.

Figura 7.29 – Operação real da válvula de entrada do reservatório Itaquaquecetuba (06/05/02)

A válvula de entrada do reservatório Suzano possui uma falha por 12 minutos por motivo de erro de transmissão.

Observa-se que a válvula do reservatório Itaquaquecetuba realiza diversas manobras em um curto período de tempo, entre 3h e 3h40, demonstrando que a programação da operação pode facilmente reduzir o número de manobras.

A válvula dos reservatórios Itaim (93 e 99%) e Brás Cubas (entre 98 e 99%) apresentam-se praticamente abertas o dia todo. Isso se deve ao fato de tratar de setores deficitários, que possuem um plano piezométrico que trabalha sem folga.

Analisando-se o número de manobras do reservatório Itaquera, que possui uma elevada carga piezométrica e tem uma capacidade nominal de estocagem de 24 mil m³, cerca de 10 mil m³ a mais que o reservatório Itaim e possuem a mesma ordem de grandeza de demanda para o abastecimento, espera-se que a programação da operação diminua consideravelmente o número de manobras. Entretanto, deve-se considerar que

o limite operacional mínimo do reservatório Itaquera é muito alto reduzindo a reservação pela metade do volume nominal. Assim, pela melhoria da eficiência operacional do sistema Alto Tietê, deve-se estudar as condições hidráulicas para se obter ganho na redução do limite operacional mínimo.

A contabilidade do número de manobras realizadas, na operação do dia 06/05/2002, pelo CCO são apresentadas na tabela 7.17.

TABELA 7.17 – Resumo do número de manobras nas válvulas de entrada dos reservatórios

Válvula no Reservatório	Scoa	nº de manobras
Itaquera	22	18
São Miguel	23	9
Itaim	24	1
Suzano	90	17
Brás Cubas	92	6
Poá	94	12
Itaquaquecetuba	96	18

A segunda condição de operação considera um modelo de previsão de demanda perfeito, ou seja, o conhecimento exato da demanda solicitada para estabelecer as regras operacionais. Isso é possível caminhando no tempo e considerando como demandas futuras previstas aquelas resultadas do cálculo do consumo estimado, em função da vazão de entrada do reservatório e variação do nível do reservatório, do passado, guardadas pelo SDS.

A operação tentou reduzir as manobras de abertura de válvula e de acionamento de bombas e ainda restringiu a permanência de bombas ligadas no período de “ponta” de energia. O processo de busca pela minimização partiu de cada

reservatório, não se pretendendo alcançar um modelo de otimização global, através da exaustão manual, e sim com a intenção de se alcançar um ganho de eficiência na operação.

As regras de operação baseadas no conhecimento prévio do consumo (modelo de previsão perfeito) para os reservatórios Itaim, Itaquaquecetuba e Poá, e no *Booster Sam Leste*, no dia 06/05/2002 são apresentadas na tabela 7.18.

TABELA 7.18 – Regras operacionais com modelo de previsão perfeito

Itaim	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,60 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1150 l/s
	Às 8h acione a válvula para uma vazão de adução de 1150 l/s
Itaquaquecetuba	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,90 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1180 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,90 m acione a válvula para uma vazão de adução de 1240 l/s
Poá	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 5 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 320 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,70 m acione a válvula para uma vazão de adução de 380 l/s
Booster Sam Leste	Desligue a bomba 1 às 17h30
	Ligue a bomba 1 às 18h30
	Desligue a bomba 2 às 17h30
	Ligue a bomba 2 às 18h30

A demanda decorrente dos setores Arujá, Vila Industrial, Pinheirinho e derivação localizados a jusante do reservatório Itaquaquecetuba foi estimada a partir da diferença entre a vazão média diária (06/05/2002) na entrada do reservatório e o consumo médio diário calculado, totalizando a demanda fixa de 684 l/s.

As figuras 7.30, 7.31, 7.32 e 7.33 apresentam os resultados obtidos do modelo simulador hidráulico para as regras de operação programadas a partir de um modelo de previsão perfeito.

Figura 7.30 – Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Itaim (06/05/02)

Figura 7.31 – Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Itaquaquecetuba (06/05/02)

Figura 7.32 - Operação simulada com previsão perfeita da válvula de entrada do reservatório Poá (06/05/02)

Figura 7.33 – Operação simulada com previsão perfeita do *booster* Sam Leste (06/05/02)

Nas figuras 7.30, 7.31 e 7.32, a linha de cor azul demonstra a vazão aduzida pela válvula na entrada dos reservatórios, na cor rosa a demanda do setor, em amarelo a utilização do reservatório demonstrando uma boa variação do nível operacional.

Na figura 7.33, na cor vermelha apresenta-se a bomba 3 desligada o dia todo e as cores azul e rosa se sobrepõem indicando a mesma vazão aduzida pelas bombas 1 e 2. Nota-se em amarelo a faixa do horário de “ponta” de energia, com as bombas 1 e 2 parcialmente desligadas, reduzindo cerca de 1/3 do consumo de energia do mesmo período no monitoramento da operação real do CCO. O tempo de funcionamento total das bombas ao final da operação, se elevou de 1634 para 2760 minutos, poupando um desgaste na potência das bombas.

A tabela 7.19 apresenta o resumo da operação de bombas no *booster* Sam Leste que utiliza um modelo de previsão perfeito para o dia 06/05/2002.

TABELA 7.19 – Resumo da operação do *booster* Sam Leste com um modelo de previsão perfeito

SCOA		Nº de Manobras de bomba	Tempo de bomba ligada no horário de ponta (min)	Tempo de bomba ligada (min)
145	B01	2	120	1380
	B02	-	-	-
	B03	2	120	1380

A tabela 7.20 apresenta o resumo das manobras de válvulas necessárias para a operação dos reservatórios Itaim, Itaquaquecetuba e Poá utilizando um modelo de previsão perfeito para o dia 06/05/2002.

TABELA 7.20 – Resumo da operação de válvulas com modelo de previsão perfeito

Válvula no Reservatórios	Scoa	Nº de Manobras
Itaim	24	3
Poá	94	3
Itaquaquecetuba	96	3

Essa condição de operação baliza o posicionamento da qualidade de eficiência do modelo de previsão de consumo de água. Elucidando até onde se pode explorar a qualidade dos modelos de previsão, mantendo uma boa relação custo-benefício para obter ganhos na operação do sistema adutor.

A terceira condição de operação foi utilizar o modelo de previsão de demanda para programar uma operação diária. A tabela 7.21 demonstra as regras de operação e os cálculos hidráulicos para os consumos previstos. Sendo que, na operação do sistema, os consumos reais não coincidem com os consumos previstos, simulando-se as alterações das regras programadas na operação com consumos reais.

TABELA 7.21 – Regras operacionais utilizando o modelo de previsão de demanda

Itaim	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,60 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1150 l/s
	Às 8h acione a válvula para uma vazão de adução de 1280 l/s
Itaquaquetuba	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,90 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1180 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,90 m acione a válvula para uma vazão de adução de 1260 l/s
Poá	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 5 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 320 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,70 m acione a válvula para uma vazão de adução de 400 l/s
Booster Sam Leste	Desligue a bomba 1 às 17h30
	Ligue a bomba 1 às 18h30
	Desligue a bomba 2 às 17h30
	Ligue a bomba 2 às 18h30

As regras estabelecidas com a disponibilidade dos consumos previstos são as mesmas, do modelo de previsão perfeito, com um pequeno ajuste nas variáveis de vazão aduzida de forma a tirar o melhor proveito da reservação. As alterações de vazão aparecem com letras em negrito na tabela 7.21.

As figuras 7.34, 7.35, 7.36 e 7.37 apresentam os resultados da simulação hidráulica com as regras operacionais estabelecidas com o modelo de previsão.

Figura 7.34 – Operação simulada com modelo de previsão no Itaim (06/05/02)

Figura 7.35 – Operação simulada com modelo de previsão no Itaquaquecetuba (06/05/02)

Figura 7.36 – Operação simulada com modelo de previsão no Poá (06/05/02)

Figura 7.37 – Operação simulada com modelo de previsão no *booster* Sam Leste (06/05/02)

Considerando que após a programação estabelecida na tabela 7.21, conhecendo então alguns valores de consumo apontados pelo SCOA, em dado momento é percebido que a vazão aduzida reverterá num nível de reservatório maior do que se pretendia atingir. Então se acrescenta uma nova regra para a operação. Nesse momento, rodar novamente o modelo de previsão atualizado em tempo real, oferece apoio a nova decisão. Mas, se na pior das hipóteses, com vista a se tornar mais conservadora, não reutilizar o modelo de previsão, pode-se adequar as regras programadas sem grandes

prejuízos. A tabela 7.22 apresenta as regras operacionais programadas e a inclusão de uma nova regra às 14 horas, que se mostra em negrito.

TABELA 7.22 - Regras operacionais utilizando o modelo de previsão de demanda com alterações durante a operação

Itaim	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,60 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1150 l/s
	Às 8h acione a válvula para uma vazão de adução de 1280 l/s
	Às 14h acione a válvula para uma vazão de adução de 1110 l/s
Itaquaquecetuba	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 7,90 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 1180 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,90 m acione a válvula para uma vazão de adução de 1260 l/s
Poá	Feche a válvula quando o nível do reservatório atingir 5 m
	À 1h acione a válvula para uma vazão de adução de 320 l/s
	Quando o nível do reservatório atingir 0,70 m acione a válvula para uma vazão de adução de 400 l/s
Booster Sam Leste	Desligue a bomba 1 às 17h30
	Ligue a bomba 1 às 18h30
	Desligue a bomba 2 às 17h30
	Ligue a bomba 2 às 18h30

As figuras 7.38, 7.39, 7.40 e 7.41 apresentam os resultados obtidos do modelo simulador hidráulico para as regras de operação programadas a partir de um modelo de previsão.

Figura 7.38 – Operação com adequação e com modelo de previsão no Itaim (06/05/02)

Figura 7.39 – Operação com adequação e com modelo de previsão no Itaquaquecetuba (06/05/02)

Figura 7.40 – Operação com adequação e com modelo de previsão no Poá (06/05/02)

Figura 7.41 – Operação com adequação e com modelo de previsão no *booster* Sam Leste (06/05/02)

A tabela 7.23 apresenta o resumo da operação de bombas no *booster* Sam Leste que utiliza um modelo de previsão no dia 06/05/2002.

TABELA 7.23 – Resumo da operação no *booster* Sam Leste com modelo de previsão

SCOA		Nº de Manobras de bomba	Tempo de bomba ligada no horário de ponta (min)	Tempo de bomba ligada (min)
145	B01	2	120	1380
	B02	-	-	-
	B03	2	120	1380

A tabela 7.24 apresenta o resumo das manobras de válvulas necessárias para a operação dos reservatórios Itaim, Itaquaquecetuba e Poá utilizando um modelo de previsão para o dia 06/05/2002.

TABELA 7.24 – Resumo da operação de válvulas com modelo de previsão

Válvula no Reservatórios	Scoa	Nº de Manobras
Itaim	24	4
Poá	94	3
Itaquaquecetuba	96	3

A alteração da programação de operação não reflete em nada na apresentação das condições hidráulicas.

A tabela 7.25, 7.26 e 7.27 apresentam um resumo comparativo entre as três condições de operação do *booster* Sam Leste estudada.

TABELA 7.25 – Comparação dos tempos de bomba ligada nas operações

SCOA		Tempo de bomba ligada (min)		
		operação real	operação perfeita	operação prevista
145	B01	817	1380	1380
	B02	95	-	-
	B03	722	1380	1380

TABELA 7.26 – Comparação do nº de manobras de bomba nas operações

SCOA		Nº de Manobras de bomba		
		operação real	operação perfeita	operação prevista
145	B01	3	2	2
	B02	1	-	-
	B03	4	2	2

TABELA 7.27 – Comparação dos tempos de bomba ligada no horário de ponta das operações

SCOA		Tempo de bomba ligada no horário de ponta (min)		
		operação real	operação perfeita	operação prevista
145	B01	180	120	120
	B02	-	-	-
	B03	180	120	120

A tabela 7.28 apresenta um resumo da comparação entre as três condições de operação quanto ao número de manobras de válvulas, em 06/05/2002.

TABELA 7.28 – Comparação do nº de manobras de válvula nas operações

SCOA	Nº de Manobras de Válvula		
	operação real	operação perfeita	operação prevista
24	1	3	4
94	12	3	3
96	18	3	3

Nas tabelas comparativas, observa-se que a introdução de um modelo de previsão de demanda de água, em tempo real, oferece um ganho significativo na quantidade de manobras de bombas e válvulas e no consumo de energia no horário de ponta, de custo mais elevado. A programação da operação, também reduz o acionamento de bombas em intervalos extremamente curtos, gerando um ganho na vida útil dos equipamentos.

Para situar as condições para o modelo de operação proposto e aplicado no estudo de caso, a introdução – capítulo 2 e o capítulo 4 – referências bibliográficas citam as fases que constituem os sistemas de controle e suas evoluções.

O capítulo 3, considerações teóricas – demanda de água, introduz as técnicas utilizadas em modelos de previsão de demanda de água.

No capítulo 5 – metodologia pode-se acompanhar as etapas de evolução do estudo desenvolvido.

O capítulo 6 – modelo de operação, descreve o desenvolvimento da interface entre os dados em tempo real, o modelo de previsão de consumo de água e o simulador.

Neste capítulo, foram apresentados o sistema adutor escolhido, o estágio atual de controle desse sistema, as condições disponíveis de outros estudos e dados operacionais, a aplicação e os resultados obtidos no estudo de caso.

O capítulo 8 apresenta as conclusões que se pôde chegar com as análises dos resultados do estudo de caso.

8. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de uma interface que possibilitou a implantação de um modelo de previsão de consumo de água, em tempo real à um modelo de simulação hidráulica, de acordo com as condições do Centro de Controle Operacional da Sabesp, alcançou bons resultados.

Para a escolha do modelo de previsão de demanda de água analisou-se o acesso, as condições dos parâmetros de entrada e a validade do modelo disponível. Esse processo de escolha demandou uma busca por bibliografia extremamente dificultosa, seja pelo número de material disponível para consulta, seja pelas condições de acesso ao material divulgado. Em alguns artigos citam-se a utilização de um modelo de previsão de demanda de água sem se estender ou referenciar outra fonte de consulta. Isso leva a crer que, os modelos de previsão são construídos por funcionários de empresas sem interesse na exploração comercial. Para o setor de energia elétrica, que em muito se assemelha a área de recursos hídricos, o desenvolvimento e aplicações de modelos de previsão de demanda, é bastante freqüente e divulgado.

A percepção da sensibilidade da qualidade do modelo de previsão de demanda em função do horizonte de planejamento e a adequação desses horizontes à hora do dia,

pôde ser avaliado. Entretanto, aponta-se como evidente que para validar o modelo de previsão de demanda de água há necessidade de uma boa qualidade dos dados de entrada. Ou seja, mesmo um ótimo modelo, se forem introduzidos dados de entrada ruins, que não representam a realidade e falseiam as informações, o modelo em contrapartida, entendendo como dados bons, reais, geram dados insatisfatórios que não representam a realidade. A questão sobre custos das falhas operacionais já apontadas por Zahed (1990), valem o investimento aplicado na implantação do modelo de previsão de consumo de água. Ainda, com mais ênfase em decorrência da crescente redução de custos de equipamentos de informática.

A realização do estudo de caso permitiu uma crítica análise da qualidade dos dados do CCO, que conclui na necessidade de investimentos para a melhoria dos dados do SCOA. Considerando o problema de tráfego de informação, uma alternativa pode se dar através da aplicação de estações remotas de aquisição de dados para cálculos locais, dessa forma a quantidade de dados transmitidos e conseqüente processamento dos dados, no CCO se reduzem. Em algumas estações SCOA, como Passagem Funda Zona Alta e Zona Baixa deve-se aumentar a demanda por segurança, evitando roubos de cabos e garantindo a integridade física das instalações.

A qualidade dos dados operacionais, do SCOA gerou a necessidade de definições de critérios para se estabelecer uma série histórica consistente e sem falhas. Tanto a disponibilidade, quanto a qualidade dos dados operacionais comprometeram a simplicidade de programação na construção da interface entre o SCOA, o modelo de previsão e o modelo simulador, criando alternativas de comandos sofisticados que sustentasse as premissas impostas pelo acesso às informações.

O desenvolvimento da interface adequou os problemas de dados com a definição de critérios de consistência, superou as condições de dificuldade de acesso aos dados do SCOA, adaptou a linguagem de programação do modelo de previsão de demanda de água e encontrou um grande esforço na construção da topologia, de acordo com as condições do modelo simulador EPANET.

A atualização do cadastro de cotas dos medidores secundários de pressão, e outros parâmetros cadastrais utilizados para a calibração do modelo hidráulico, comprometeram a qualidade da calibração do modelo simulador, utilizado no estudo da programação de operação diária.

Considerando a programação diária da operação do sistema adutor do Alto Tietê, foi construído um modelo de operação que utilizou para as seis primeiras horas o modelo de previsão de demanda desenvolvido pela série de Fourier e para as subseqüentes horas a média histórica das quatro semanas anteriores, sem a correção utilizada por Zahed (1990) para dirimir fatores climáticos. E considerando que, na análise entre os consumos observados e os previstos pelo modelo de operação (interface) identificou-se uma tendência herdada da série histórica, conclui-se que o coeficiente de correção é fator importante para a previsão, devendo ser inserido no modelo de operação para a implantação no CCO.

O modelo de previsão de demanda de água escolhido para a demonstração dos benefícios operacionais encontrados, pode ser mais bem explorado analisando um maior número de harmônicos e a conseqüente avaliação da extensão do período de previsão, considerando que as evoluções tecnológicas da última década, tira a restrição de tempo ponderada na época do desenvolvimento do modelo.

O interesse de se implantar um modelo de previsão de consumo de água existe pela necessidade de definição de um perfil de consumo atualizado para alimentar um modelo simulador implantado no sistema. Entretanto, segundo Zahed (1990), “*a evolução do perfil do consumo de cada setor no que diz respeito à magnitude das vazões e a sua variação no tempo tem sido muito rápida*” e ainda complementa que “*tem-se observado em alguns setores de abastecimento, uma mudança no perfil dos consumidores*” e “*os próprios limites do setor de abastecimento são dinâmicos*” e em “*setor com consumo reprimido, há também um crescimento da demanda concentrado*”, inviabilizando previsões estatísticas de modelos clássicos que utilizam série histórica de consumo de longo período, onde se exigiria incessantes análises dos dados de todos os setores avaliando tendências de mudanças de comportamento dos hidrogramas de consumo. Sendo assim, requerida a aplicação de um modelo de previsão de consumo de água dinâmico, ou seja, em tempo real, como se propôs este estudo.

A avaliação do estudo de caso, que demonstrou a viabilidade de implantação de um modelo de previsão de consumo de água ao SCOA, possibilita a proposição de se estabelecer um procedimento de operação que se inicia na madrugada diária utilizando o modelo de operação para programar as regras operacionais para o dia. A proposta de inovação na operação do sistema passa por um período de convencimento dos empregados envolvidos no sistema, fato observado na experiência de introdução de outros trabalhos que vem a trazer mais segurança no controle operacional, beneficiando os empregados. Um indício da melhor recepção da inovação de uma programação diária, é a preocupação em reduzir custos de energia elétrica, estabelecendo regras operacionais, com a produção de estudos de otimização.

A implantação de um modelo de operação, que utiliza um modelo de previsão de consumo, na operação do sistema adutor metropolitano, no porte em que ele se apresenta, com tantos pontos de monitoramento e intervenção, mostra que, apesar de não se tratar de uma programação automática, alivia a operação.

A aplicação do modelo de operação no estudo de caso, possibilitou a comparação entre as condições de operação ocorridas na forma atual, com a utilização de um modelo de previsão perfeito e com a utilização do modelo de previsão baseada na série de Fourier demonstrando que o modelo de previsão escolhido atende às necessidades de ganhos operacionais sem o investimento em sofisticções ao modelo.

O estudo de caso confirmou a obtenção de ganhos operacionais, abrangendo além da rapidez e maior confiabilidade no processamento de dados e tomada de decisão, também atendendo a preocupação com a complexidade do sistema.

A evolução do estabelecimento de regras operacionais para tornar o sistema automático, introduzindo um modelo de otimização é considerado um longo caminho pelas considerações levantadas por este estudo, na mudança cultural e no investimento na qualidade de dados cadastrais e operacionais.

Além disso, com a globalização da economia, onde se propicia um mercado cada vez mais competitivo e exigente, não se permitem gastos desnecessários como aqueles causados por um equívoco operacional devido a tomadas de decisão não ideal em situação de emergência. Ao mesmo tempo, constata-se avanços técnicos operacionais praticados por empresas internacionais atuantes do setor indicando que o caminho que se pretende discutir reflete como um auxílio viável às ações operacionais. Assim, é possível concluir que a definição das competências operacionais, no que concerne às ações de tomada de decisão racionais, constitui-se em condição

indispensável para o ganho de eficiência, confiabilidade e segurança operacional. E dessa forma, conseqüentemente ganhos nos custos operacionais.

Face à essa necessidade, concluiu-se que com o desenvolvimento do modelo operacional, mesmo que para estabelecimento de regras de operação diárias, trouxe amplos ganhos operacionais, vistos na redução do número de manobras de válvula de 31 realizadas para 10 com o uso do modelo de previsão de demanda, no número de manobras de bomba reduzindo 50% da operação realizada para com o uso do modelo de previsão de demanda água e na operação com previsão perfeita reduzindo o consumo de energia no horário de “ponta” resultando numa economia da ordem de 10 a 30% do custo de energia.

Desta forma, recomenda-se o uso do modelo harmônico para previsão de demanda de água para o Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo.

ANEXO A
(código fonte da interface)

*******Formulário de Entrada*******

Option Explicit

Private Sub CBO_GRUPO_Change()

 Call Atualizar_Selecao

End Sub

Public Sub Atualizar_Selecao()

 'pegar dados selecionados pelo cbo_grupo (primeiros 3 caracteres =
num_subsistema)

End Sub

Private Sub cmd_Incl_Excl_Click(index As Integer)

Dim i As Integer

Select Case index

Case 1

 'exclui itens selecionados da listbox

 For i = LST_SELECAO.ListCount - 1 To 0 Step -1

 If LST_SELECAO.Selected(i) = True Then _

 LST_SELECAO.RemoveItem (i)

 Next

Case 0

 'adiciona itens selecionados na listbox

 For i = 0 To LST_NSCOA.ListCount - 1

 If LST_NSCOA.Selected(i) = True Then _

 LST_SELECAO.AddItem LST_NSCOA.List(i)

 Next

End Select

End Sub

Private Sub Command1_Click()

GerarArquivoEpanet

End Sub

```

Private Sub Command3_Click()
Dim dt1, dt2 As Date
Dim HoraIni As Variant
Dim var As Date
Dim var2 As Integer
Dim PontoScoa, TabelaScoa As String
Dim i, n_ponto As Integer
Dim Comando As String
Dim In_epanet, Out_epanet As String

'***** Botão iniciar *****

On Error GoTo VerErro

dt1 = CDate(MaskedTextBox1.Text)      'data inicial
dt2 = CDate(MaskedTextBox2.Text)      'data final
HoraIni = CDate(MaskedTextBox3.Text)  'hora inicial
var2 = CInt(TXT_HARMONICOS.Text)      'nº de harmônicos
Ciclo = CInt(txtCiclo.Text)           'nº de horas do ciclo
'VolRes = 10000                       'volume do reservatório
Faixa = CDbl(txtFaixa.Text) / 100     'faixa de tolerância
Grau = CInt(txtHBase.Text)            'número de horas base
AntMax = CInt(txtAntmax.Text)         'número de horas máxima de antecedência

'***** redimensiona as variáveis que serão lidas pelo epanet *****
'***** em função do ciclo e do nº de horas max de antecedência *****

ReDim V22(1 To 24): ReDim V23(1 To 24)
ReDim V24(1 To 24): ReDim V25(1 To 24): ReDim V90(1 To 24)
ReDim V92(1 To 24): ReDim V94(1 To 24)
ReDim V95(1 To 24): ReDim V96(1 To 24)

For var = dt1 To dt2
For i = 0 To LST_SELECAO.ListCount - 1
TabelaScoa = Mid(LST_SELECAO.List(i), 1, 3)
PontoScoa = Mid(LST_SELECAO.List(i), 4, 1)
Select Case TabelaScoa
Case "022"
VolRes = 24000

```

Case "023"

VolRes = 10000

Case "024"

VolRes = 20000

Case "025"

VolRes = 15000

Case "090"

VolRes = 10000

Case "092"

VolRes = 20000

Case "094"

VolRes = 6000

Case "095"

VolRes = 7000

Case "096"

VolRes = 15000

Case Else

VolRes = 1

End Select

*****abre a conexão do banco de dados*****

```
cnn.Open "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.3.51;Data Source=" _
    & App.Path & "\DadosDoScoa.mdb;"
```

*****para cada ponto scoa selecionado*****

If PontoScoa = "Y" Then

n_ponto = Mid(LST_SELECAO.List(i), 6, 1)

'Abre a conexão

'For var = dt1 To dt2

'Lê dados do SCOA, faz análise de consistência

Call LerBD_PreencherVariaveis(var, n_ponto * 2, TabelaScoa, HoraIni)

'(#3/2/2002#)

'Roda o modelo previsional

Call AjusteDoHarmonico(var2)

Call HarmonicosDasHorasBase(var2)

Call AlfaDasHorasBase

Call Harmonicos24Horas_Antmax(var2)

```

        Call Geracao_Correcao_Calculo_Consumo(var2, TabelaScoa)
    cnn.Close
End If
Next i

'*****Gerar os arquivos de entrada do EPANET*****
In_epanet = Format(Day(var), "00") & Format(Month(var), "00") & Year(var)
GerarArquivoEpanet (In_epanet)

Out_epanet = In_epanet & ".txt"
'Chamar epanet
Comando = "c:\epanet\epanet.bat " & App.Path & "\" & In_epanet & ".inp " &
App.Path & "\" & Out_epanet
'Comando = "d:\Arquivos de programas\epanet.bat " & App.Path & "\" & In_epanet
& ".inp " & App.Path & "\" & Out_epanet
Dim a
Shell Comando, vbNormalFocus

Next var

MsgBox "Fim", vbOKOnly, "Mensagem"
Exit Sub
VerErro:
    Select Case Err.Number
    Case 3021
        Resume Next
    Case 3705
        Resume Next
    Case 13
        MsgBox Err.Number & " " & Err.Description
        Exit Sub
    Case Else
        MsgBox Err.Number & " " & Err.Description
        End Select
End Sub

Private Sub Command4_Click()

```

End

End Sub

Private Sub Form_Load()

Me.Caption = Me.Caption & Date

LST_NSCOA.Clear

CBO_GRUPO.Text = "1 Grupo Alto Tietê"

PI = 4 * Atn(1)

Select Case Mid(CBO_GRUPO.Text, 1, 3)

Case 1

With LST_NSCOA

.AddItem "022Y01"

.AddItem "023Y01"

.AddItem "024Y01"

.AddItem "025Y01"

.AddItem "090Y01"

.AddItem "092Y01"

.AddItem "094Y01"

.AddItem "095Y01"

.AddItem "096Y01"

.AddItem "137F01"

.AddItem "091F01"

.AddItem "153F01"

.AddItem "025F01"

.AddItem "095F01"

.AddItem "022F01"

.AddItem "023F01"

.AddItem "090F01"

.AddItem "090F02"

.AddItem "092F01"

.AddItem "094F01"

.AddItem "024F01"

.AddItem "096F01"

.AddItem "099R01"

.AddItem "025R01"

```

.AddItem "095R01"
.AddItem "022R01"
.AddItem "023R01"
.AddItem "090R01"
.AddItem "092R01"
.AddItem "094R01"
.AddItem "024R01"
.AddItem "096R01"
.AddItem "091B01"
.AddItem "091B02"
.AddItem "091B03"
.AddItem "091B04"
.AddItem "167B01"
.AddItem "145B01"
.AddItem "145B02"
.AddItem "145B03"
.AddItem "093B01"

```

```

.AddItem "093B02"

```

```

.AddItem "093B03"

```

```

End With

```

```

Case Else

```

```

End Select

```

```

End Sub

```

```

Private Sub txtAntmax_Change()

```

```

If CInt(txtAntmax.Text) > 6 Or CInt(txtAntmax.Text) < 1 Then

```

```

    MsgBox "O valor deve estar entre 1 e 6 horas", vbInformation, "Aviso"

```

```

    txtAntmax.Text = 6

```

```

End If

```

```

End Sub

```


*******Formulário Não Achou Dados*******

Private Sub Fechar_Click()

R(0).Nivel(0) = NivelAdotado.Text

Unload Me

End Sub

Private Sub Form_Load()

Dim DataIni As Date

Dim HoraIni As Date

Dim dataAux, horaAux As Date

Dim linha, coluna As Integer

DataIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox1.Text) 'data inicial

HoraIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox3.Text) 'hora inicial

dataAux = DataIni - 1: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#

Label.Caption = Titulo

Grid.Cols = 7

Grid.Rows = 25

For linha = 1 To 24

Grid.TextMatrix(linha, 0) = linha

Grid.TextMatrix(linha, 1) = horaAux

Grid.TextMatrix(linha, 2) = IIf(R(0).Nivel(linha) = -1, "-", R(0).Nivel(linha))

Grid.TextMatrix(linha, 3) = IIf(R(1).Nivel(linha) = -1, "-", R(1).Nivel(linha))

Grid.TextMatrix(linha, 4) = IIf(R(2).Nivel(linha) = -1, "-", R(2).Nivel(linha))

Grid.TextMatrix(linha, 5) = IIf(R(3).Nivel(linha) = -1, "-", R(3).Nivel(linha))

Grid.TextMatrix(linha, 6) = IIf(R(4).Nivel(linha) = -1, "-", R(4).Nivel(linha))

horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#

Next

```
Grid.TextMatrix(0, 1) = "Data"  
Grid.TextMatrix(0, 2) = "0 sem"  
Grid.TextMatrix(0, 3) = "1 sem"  
Grid.TextMatrix(0, 4) = "2 sem"  
Grid.TextMatrix(0, 5) = "3 sem"  
Grid.TextMatrix(0, 6) = "4 sem"
```

End Sub

*******Módulo Ler Banco de Dados*******

Option Explicit

Global SQmed28(25) As Double

Global somaqq As Double

Global AntMax As Integer 'nº de horas max de antecedência

Global M As Integer 'nº de harmônicos

Global Grau As Integer 'nº de horas de base

Global Faixa As Double 'faixa de tolerância

Global RegIn As Integer 'nº de ordem do 1st dia a gerar

Global nDias As Integer 'nº de ordem do último dia a gerar

Global arq As String 'nome do arquivo de consumo

Global VolRes As Double 'volume do reservatório

Global cnn As New ADODB.Connection

Global rst0 As New ADODB.Recordset

Global rst1 As New ADODB.Recordset

Global rst2 As New ADODB.Recordset

Global rst3 As New ADODB.Recordset

Global rst4 As New ADODB.Recordset

Global N As Double

Global PI As Double

Global Ciclo As Integer 'nº de horas para que o cálculo do previsual seja refeito
'cálculo da diagonal de interesse da matriz

Global FAT(30), ALF(30), TTOT(30), ALT(30), C(30) As Double

Global SERR(24), DESV(24, 24), DESV2(24, 24) As Double

***** variáveis válidas para as séries Fourier e Taylor (dim pelo maior)*****

Global Q(150), Y(30, 15), SOMAXY(30, 24)

Global COR(30, 24)

Global QBASE(50), ERRO(215, 16) ', RQ\$(30)

Global SOMA(30, 15), SOMA2(30, 15) As Double

Global S11(30, 15), S12(30), S13(30), S21(30, 15), S22(30), S23(30) As Double

Global QQ(200), a(50), B(50), HARM(250), NEL(30, 15) As Double

```
Sub InicializacaoDasVariaveis()
```

```
Dim i, j As Integer
```

```
'----- INICIALIZACAO -----'
```

```
somaqq = 0
```

```
For i = 1 To 24
```

```
    S12(i) = 0
```

```
    S13(i) = 0
```

```
    S22(i) = 0
```

```
    S23(i) = 0
```

```
    TTOT(i) = 0
```

```
    ALT(i) = 0
```

```
For j = 1 To 15
```

```
    S11(i, j) = 0
```

```
    S21(i, j) = 0
```

```
    SOMA(i, j) = 0
```

```
    NEL(i, j) = 0
```

```
    SOMA2(i, j) = 0
```

```
    SOMAXY(i, j) = 0
```

```
    COR(i, j) = 0
```

```
    ERRO(i, j) = 0
```

```
    DESV(i, j) = 0
```

```
    DESV2(i, j) = 0
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Public Sub LerBD_PreencherVariaveis(Dataini As Date, N_campo As Integer,  
    N_Tabela As String, HoraIni)
```

```
Dim rst As New ADODB.Recordset
```

```
Dim rstTemp As New ADODB.Recordset
```

```
Dim str0, str1, str2, strTemp As String
```

```
Dim strDataAux1, strDataAux2 As String
```

```

Dim horaAux As Variant
Dim dataAux As Date
Dim i, j As Integer
Dim Q_med As Double
Dim p_soma(1 To 4, 1 To 24) As Double
Dim div, dias As Integer
Dim Sair, Parar As Boolean

```

```
Call InicializacaoDasVariaveis
```

```
On Error GoTo TRATAR_ERRO
```

```
'*****Abre o Recordset*****
```

```

rst0.CursorLocation = adUseClient
rst1.CursorLocation = adUseClient
rst2.CursorLocation = adUseClient
rst3.CursorLocation = adUseClient
rst4.CursorLocation = adUseClient

```

```
'*****estou lendo data inicial e data inicial -1 >>>> para o QBASE*****
```

```

strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
strDataAux2 = Month(Dataini - 1) & "/" & Day(Dataini - 1) & "/" & Year(Dataini -
1)

```

```

str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _
& N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _
& "[" & N_Tabela & "].Y" & (N_campo / 2) & "QL=Null)) and " _
& "((([" & N_Tabela & "].Data=#"

```

```

str1 = "#) and " _
& "[" & N_Tabela & "].Hora<=#" & HoraIni & "#)) or " _
& "((([" & N_Tabela & "].Data=#"

```

```

str2 = "#) and " _
& "[" & N_Tabela & "].Hora>#" & HoraIni & "#))))"

```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst0.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdText
```

```
'*****estou lendo o mesmo dia de 1 semana anterior*****'
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 7) & "/" & Day(Dataini - 7) & "/" & Year(Dataini -
7)
strDataAux2 = Month(Dataini - 8) & "/" & Day(Dataini - 8) & "/" & Year(Dataini -
8)
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
rst1.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdText
```

```
'*****estou lendo o mesmo dia de 2 semanas anteriores*****'
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 14) & "/" & Day(Dataini - 14) & "/" &
Year(Dataini - 14)
strDataAux2 = Month(Dataini - 15) & "/" & Day(Dataini - 15) & "/" &
Year(Dataini - 15)
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
rst2.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdText
```

```
'*****estou lendo o mesmo dia de 3 semanas anteriores*****'
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 21) & "/" & Day(Dataini - 21) & "/" &
Year(Dataini - 21)
strDataAux2 = Month(Dataini - 22) & "/" & Day(Dataini - 22) & "/" &
Year(Dataini - 22)
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
rst3.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdText
```

```
'*****estou lendo o mesmo dia de 4 semanas anteriores*****'
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 28) & "/" & Day(Dataini - 28) & "/" &
Year(Dataini - 28)
```

```
strDataAux2 = Month(Dataini - 29) & "/" & Day(Dataini - 29) & "/" &
Year(Dataini - 29)
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
rst4.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockOptimistic, adCmdText
```

```
***** Estou lendo Q -> 4 semanas de dados anteriores a data inicial*****
```

```
***** e calculando a média SQmed28(1 a 24) para cada hora *****
```

```
horaAux = #1:00:00 AM#
```

```
For i = 1 To 24
```

```
div = 4
```

```
rst1.MoveFirst: rst2.MoveFirst: rst3.MoveFirst: rst4.MoveFirst
```

```
rst1.Find "Hora=" & horaAux: rst2.Find "Hora=" & horaAux
```

```
rst3.Find "Hora=" & horaAux: rst4.Find "Hora=" & horaAux
```

```
If rst1.EOF Then
```

```
    p_soma(1, i) = 0: div = div - 1
```

```
Else
```

```
    p_soma(1, i) = rst1.Fields(N_Tabela & "Y01").Value 'N_Campo).Value
```

```
End If
```

```
If rst2.EOF Then
```

```
    p_soma(2, i) = 0: div = div - 1
```

```
Else
```

```
    p_soma(2, i) = rst2.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
```

```
End If
```

```
If rst3.EOF Then
```

```
    p_soma(3, i) = 0: div = div - 1
```

```
Else
```

```
    p_soma(3, i) = rst3.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
```

```
End If
```

```
If rst4.EOF Then
```

```
    p_soma(4, i) = 0: div = div - 1
```

```
Else
```

```
    p_soma(4, i) = rst4.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
```

```
End If
```

```
If div <> 0 Then
```

```
SQmed28(i) = (p_soma(1, i) + p_soma(2, i) + p_soma(3, i) + p_soma(4, i)) /
div
```

```
Else
```

```
SQmed28(i) = 0
```

```
End If
```

```
If horaAux = "23:00:00" Then
```

```
    horaAux = #12:00:00 AM#
```

```
Else
```

```
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To 24
```

```
If SQmed28(i) = 0 Then
```

```
    If SQmed28(i - 1) <> 0 Then
```

```
        SQmed28(i) = SQmed28(i - 1)
```

```
    ElseIf SQmed28(i + 1) <> 0 Then
```

```
        SQmed28(i) = SQmed28(i + 1)
```

```
    Else
```

```
        SQmed28(i) = InputBox("Insira um valor" & vbCrLf _
            & "(Média da Hora " & i - 2 & " : " & SQmed28(i - 2) & vbCrLf _
            & "(Média da Hora " & i + 2 & " : " & SQmed28(i + 2), "Aviso", 0)
```

```
    End If
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
rst0.Close: rst1.Close: rst2.Close: rst3.Close: rst4.Close
```

```
'***** Estou lendo Q *****
```

```
'*****estou lendo data inicial >>> para o Q e substituindo
dados inexistentes pela média SQmed28*****
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
strDataAux2 = Month(Dataini + 1) & "/" & Day(Dataini + 1) & "/" & Year(Dataini
+ 1)
```



```

str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _
    & N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _
    & "[" & N_Tabela & "].Y" & (N_campo / 2) & "QL=NULL)) and " _
    & "((([" & N_Tabela & "].Data=#"

str1 = "#) and " _
    & "[" & N_Tabela & "].Hora>=#" & (HoraIni + #1:00:00 AM#) & "#)) or "
    _
    & "((([" & N_Tabela & "].Data=#"

str2 = "#) and " _
    & "[" & N_Tabela & "].Hora<#" & (HoraIni + #1:00:00 AM#) & "#))))"

strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2

rst0.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockBatchOptimistic, adCmdText

dataAux = Dataini: horaAux = HoraIni + #1:00:00 AM#

For j = 1 To 24
    rst0.MoveFirst
    rst0.Find "Hora=" & horaAux
    If rst0.EOF <> True Then
        Q(j) = rst0.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
    Else
        div = CInt(Left(horaAux, 2))
        Q(j) = SQmed28(div)
    End If

    If horaAux = "23:00:00" Then
        horaAux = #12:00:00 AM#
    Else
        horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
    End If

Next j

```

```
rst0.Close
```

```
somaqq = 0
```

```
'***** Estou lendo QQ >>> 1 semana de dados anterior a data inicial*****'
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
strDataAux2 = Month(Dataini - 7) & "/" & Day(Dataini - 7) & "/" & Year(Dataini -  
7)
```

```
str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _  
& N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _  
& "([" & N_Tabela & "].Y" & (N_campo / 2) & "QL=NULL)) and " _  
& "(([" & N_Tabela & "].Data<=#"
```

```
str1 = "#) and ([" & N_Tabela & "].Data>=#"
```

```
str2 = "#)))"
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
rst0.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockBatchOptimistic, adCmdText
```

```
dataAux = (Dataini - 7): horaAux = HoraIni + #1:00:00 AM#
```

```
rst0.MoveFirst
```

```
dias = 7: Sair = False: Parar = False
```

```
For j = 0 To ((7 * 24) - 1)
```

```
Do While Not rst0.EOF
```

```
'Do
```

```
rst0.Find "Hora=" & horaAux
```

```
If rst0.EOF Then
```

```
Do
```

```
strDataAux1 = Month(dataAux - dias) & "/" & Day(dataAux - dias) & "/" &  
Year(dataAux - dias)
```

```
strTemp = Left(str0, 107) & "=#" & strDataAux1 & "#) and ([" & N_Tabela  
& "].Hora=#" & horaAux & "#)))"
```

```
rstTemp.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockBatchOptimistic,  
adCmdText
```

```

If Not rstTemp.EOF Then
    QQ(j) = rstTemp.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
    Sair = True
    dias = 7
    rst0.MoveFirst
Else
    Sair = False
    dias = dias + 7
End If
rstTemp.Close
Loop Until Sair = True
Exit Do
Else
    If rst0!Data = dataAux Then
        QQ(j) = rst0.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
        Exit Do
    ElseIf rst0!Data < dataAux Then
        rst0.MoveNext
    ElseIf rst0!Data > dataAux Then
        Do
            strDataAux1 = Month(dataAux - dias) & "/" & Day(dataAux - dias) & "/"
& Year(dataAux - dias)
            strTemp = Left(str0, 107) & "=#" & strDataAux1 & "#" & and ([" &
N_Tabela & "].Hora=#" & horaAux & "#)))"
            rstTemp.Open strTemp, cnn, adOpenKeyset, adLockBatchOptimistic,
adCmdText
            If Not rstTemp.EOF Then
                QQ(j) = rstTemp.Fields(N_Tabela & "Y01").Value
                Sair = True
                dias = 7
                rst0.MoveFirst
            Else
                Sair = False
                dias = dias + 7
            End If
            rstTemp.Close
        Loop Until Sair = True
    End If

```

```

Exit Do
End If
End If
Loop
If horaAux = "23:00:00" Then
    horaAux = #12:00:00 AM#
    dataAux = dataAux + 1
Else
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
End If
Next j

rst0.Close

somaqq = 0

For i = 0 To 167
    somaqq = somaqq + QQ(i)
Next i

N = 7 * 24 / 2
a(0) = somaqq / (2 * N)

'***** Estou lendo QBASE *****

For i = 0 To 23
    QBASE(i) = QQ(167 - i)
Next i

'**** para valores de Q(i),QBASE,QQ(i) > ou < 20% Q_med, Q(i) é substituído por
Q_med*****
'***** onde Q_med é a média aritmética de 5 horas (atual + 2 ant. + 2
post)*****
For i = 3 To 22
    Q_med = (Q(i - 2) + Q(i - 1) + Q(i) + Q(i + 1) + Q(i + 2)) / 5
    If Abs((Q_med - Q(i)) / Q_med) > 0.2 Then Q(i) = Q_med
Next i

```

```

For i = 2 To 165
    Q_med = (QQ(i - 2) + QQ(i - 1) + QQ(i) + QQ(i + 1) + QQ(i + 2)) / 5
    If Abs((Q_med - QQ(i)) / Q_med) > 0.2 Then QQ(i) = Q_med
Next i

For i = 0 To 23
    QBASE(i) = QQ(167 - i)
Next i

Exit Sub

TRATAR_ERRO:
    Select Case Err.Number
        Case 3021
            'BOF ou EOF
            Resume Next
        Case 1
            Beep
        Case Else
            MsgBox Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical, "Aviso de Erro"
            Resume
        End Select

End Sub

```

*****Módulo Gera Epanet*****

Option Explicit

```
Global cnn_ept As New ADODB.Connection
Global rst0_ept As New ADODB.Recordset
Global rst1_ept As New ADODB.Recordset
Global rst2_ept As New ADODB.Recordset
Global rst3_ept As New ADODB.Recordset
Global rst4_ept As New ADODB.Recordset
```

Type Variavel

Nivel(50) As Double

Hora(50) As Date

Dataini(50) As Date

End Type

Global R(5) As Variavel

Global Titulo As String

Sub GerarArquivoEpanet(saida As String)

Dim strAux As String

Dim j As Integer

Dim Num As Integer

Dim Nivel As Double 'Nivel do reservatório

Dim Status As Boolean 'Status da bamba

Dim Fs As Integer

Num = FreeFile

Open saida & ".inp" For Output As #Num

Print #Num, "[TITLE]"

Print #Num, "Alto Tietê"

Print #Num, ""

Print #Num, "[JUNCTIONS]"

Print #Num, "; ID Elev Demand Pattern"

Print #Num, " 9 0 0"

```

Print #Num, "      10    784    0"
Print #Num, "      11     761    0"
Print #Num, "      12  761.51    0"
Fs = Pegar_F("137", "F01")
Print #Num, "    9137    770    " & Fs
Print #Num, "      14   757.5    0"
Print #Num, "      15   757.3    0"
Print #Num, "      16    760    0"
Print #Num, "      17    760    0"
Print #Num, "      18    760    0"
Print #Num, "      19    760    0"
Print #Num, "      20    760    0"
Print #Num, "      21    760    0"
Print #Num, "      22    760    0"
Print #Num, "      23    760    0"
Print #Num, "      24    760    0"
Print #Num, "      25   756.2    0"
Print #Num, "      26  753.37    0"
Print #Num, "      27  754.34    0"
Print #Num, "      28  757.89    0"
Print #Num, "      29  940.56    0"
Fs = Pegar_F("091", "F01")
Print #Num, "    9156  940.56    " & Fs
Print #Num, "      31    760    0"
Print #Num, "      32    760    0"
Print #Num, "      33    760    0"
Print #Num, "      34    760    0"
Print #Num, "      35    760    0"
Print #Num, "      36    760    0"
Print #Num, "      37    760    0"
Print #Num, "      38    760    0"
Print #Num, "       1   757.5    0"
Print #Num, "       3   757.5    0"
Print #Num, "       4   757.5    0"
Print #Num, "       5   757.5    0"
Print #Num, "       6   757.5    0"
Print #Num, "       7   757.5    0"

```

```

Print #Num, "      8  757.5    0"
Print #Num, "     13  757.5    0"
Print #Num, "     41  757.5    0"
Print #Num, "     42  757.5    0"
Print #Num, "     43  757.5    0"
Print #Num, "     44 832.38    0"
Print #Num, "     45   866     0"
Fs = Pegar_F("153", "F01")
Print #Num, "    9153   866     " & Fs
Print #Num, "     46  778.75    0"
Print #Num, "     48  795.27    0"
Print #Num, "     49  796.38    0"
Print #Num, "     50  795.19    0"
Print #Num, "     51  795.19    0"
Print #Num, "     52   757.7     0"
Print #Num, "     53        0     0"
Print #Num, "     54  783.33    0"
Print #Num, "     55  782.33    0"
Print #Num, "     56  781.47    0"
Print #Num, "     57  781.47    0"
Print #Num, "     60   783     0"
Print #Num, "     61  784.23    0"
Print #Num, "     85   739.0     0"
Print #Num, "     86   762.4     0"
Print #Num, "     87  786.54    0"
Print #Num, "     88   743.4     0"
Fs = Pegar_F("090", "F02")
Print #Num, "    9902   758.4     " & Fs
Print #Num, "     90   739.5     0"
Print #Num, "     93   737.67    0"
Print #Num, "     94   783.6     0"
Print #Num, "     95   783.61    0"
Print #Num, "     96   785.95    0"
Print #Num, "     97   785.95    0"
Print #Num, "     98   783.17    0"
Print #Num, "     30   783.17    0"
Print #Num, "     92   785.7     0"

```



```

Print #Num, "      100  757.94    0"
Print #Num, "      101  781.74    0"
Print #Num, "      102  782.67    0"
Print #Num, "      103  781.63    0"
Print #Num, "      106  786.62    0"
Print #Num, "      107  790.77    0"
Print #Num, "      108  785.86    0"
Print #Num, "      109  785.86    0"
Print #Num, "      110  781.63    0"
Print #Num, "      111     781     0"
Print #Num, "      112     781     0"
Print #Num, "      113     781     0"
Print #Num, "      114     782     0"
Print #Num, "      115     782     0"
Print #Num, "      121         0     0"
Print #Num, "      122     784     0"
Print #Num, "      123  784.56    0"
Print #Num, "      124  785.96    0"
Print #Num, "      125  785.35    0"
Print #Num, "      126  785.35    0"
Print #Num, "      127  783.41    0"
Print #Num, "         2       776     0"
Print #Num, "        47       776     0"
Print #Num, "        58       776     0"
Print #Num, "        59       776     0"
Print #Num, "       104       776     0"
Print #Num, "       105       776     0"
Print #Num, "       120       776     0"
Print #Num, "       128       776     0"
Print #Num, "       129   743.4     0"
Print #Num, "       130   743.4     0"
Print #Num, "        62  784.34    0"
Print #Num, "        63  784.23    0"
Print #Num, "        64  784.34    0"
Print #Num, "        65         0     1   5"
Print #Num, "        66         0     1   6"
Print #Num, "        67         0     1   7"

```

```

Print #Num, "      68      0      1  8"
Print #Num, "      69      0      1  9"
Print #Num, "      70      0      1 10"
Print #Num, "      71      0      1 11"
Print #Num, "      72      0      1 12"
Print #Num, "      73      0      1 13"
Print #Num, "      74  781.47      0"
Print #Num, "      75  781.47      0"
Print #Num, "      76  785.35      0"
Print #Num, "      77  785.35      0"
Print #Num, "      78  785.95      0"
Print #Num, "      79  785.95      0"
Print #Num, "      80  785.86      0"
Print #Num, "      82  785.86      0"
Print #Num, "      83  781.63      0"
Print #Num, "      84  781.63      0"
Print #Num, ""
Print #Num, "[TANKS]"
Print #Num, ";ID      Elev      IniLe      MiLe      MaxLe      Diam"
Nivel = Pegar_Nivel("025")
Print #Num, " 7025 776.37" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      .65
      8.08 29.34"
Nivel = Pegar_Nivel("092")
Print #Num, " 7092      783" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      .8
      4.09 78.57"
Nivel = Pegar_Nivel("090")
Print #Num, " 7090 760.1" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      .7
      5.4 46.76"
Nivel = Pegar_Nivel("022")
Print #Num, " 7022 775.59" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      2.7
      5.88 69.63"
Nivel = Pegar_Nivel("095")
Print #Num, " 7095 789.92" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      1
      4.15 24.88"
Nivel = Pegar_Nivel("094")
Print #Num, " 7094 782.93" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "      .6
      5 38.36"

```

```
Nivel = Pegar_Nivel("024")
```

```
Print #Num, " 7024 775.4" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "    .9  
7.6 48.69"
```

```
Nivel = Pegar_Nivel("096")
```

```
Print #Num, " 7096 782" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "    .9  
7.9 28.46"
```

```
Nivel = Pegar_Nivel("023")
```

```
Print #Num, " 7023 776.85" & Space(8 - Len(Str$(Nivel))) & Str$(Nivel) & "    .85  
8.5 38.6"
```

```
Print #Num, " 8099 820"
```

```
Print #Num, ""
```

```
Print #Num, "[PIPES]"
```

```
Print #Num, ";      ID  No1  No2  Len  Diam  Rou"
```

```
Print #Num, "      6 8099      9   30 2500 145"
```

```
Print #Num, "      7   9   10 1750 2500 150"
```

```
Print #Num, "      8   10   11 4000 1800 145"
```

```
Print #Num, "      9   11   12  910 1800 145"
```

```
Print #Num, "     10   12 9137   16 1800 145"
```

```
Print #Num, "     11   11   14    8  600 130"
```

```
Print #Num, "     12   12   15   22  600 120"
```

```
Print #Num, "     18   15   21    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     19   21   22    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     20   22   23    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     21   23   24    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     22   16   17    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     23   17   18    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     24   18   19    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     25   19   20    4  600 120"
```

```
Print #Num, "     26   20   25   35  600 130"
```

```
Print #Num, "     27   25   26  269  800 130"
```

```
Print #Num, "     28   26   27   19  750 130"
```

```
Print #Num, "     29   27   28  133  800 130"
```

```
Print #Num, "     31   29 9156    4  600 130"
```

```
Print #Num, "     32   28   29 1275  600 130"
```

```
Print #Num, "     33   15   31    6  300 120"
```

```
Print #Num, "     34   32   16    6  250 120"
```

```
Print #Num, "     35   21   33    6  300 120"
```

```

Print #Num, "      36   34   17   6 250 120"
Print #Num, "      37   22   35   6 300 120"
Print #Num, "      39   36   18   6 250 120"
Print #Num, "      40   23   37   6 300 120"
Print #Num, "      42   38   19   6 250 120"
Print #Num, "       1   14    1   2 600 120"
Print #Num, "       3     3    4   2 500 120"
Print #Num, "       4   14    5   5 600 130"
Print #Num, "       5     5    6   2 600 120"
Print #Num, "      14     7    8   2 500 120"
Print #Num, "      15     4    8   5 600 130"
Print #Num, "      16     8   43   5 600 130"
Print #Num, "      46     5   13   5 600 130"
Print #Num, "      47    13   41   2 600 120"
Print #Num, "      49    42   43   2 500 120"
Print #Num, "      50    43   44 2800 600 130"
Print #Num, "      51    44   45 1184 600 130"
Print #Num, "      52    45 9153    4 600 130"
Print #Num, "      54    10   46 1890 1800 160"
Print #Num, "      55    46   48 3200 1200  90"
Print #Num, "      56    48   52 3500 1050 120"
Print #Num, "      57    52   53  205 1050 120"
Print #Num, "      58    53   54  205 1050  80"
Print #Num, "      59    54   55   30 1050  80"
Print #Num, "      63    48   49   91  400  87"
Print #Num, "      64    49   50    5  400  80"
Print #Num, "      68    10  5312100 2100  82"
Print #Num, "      69    52   60   700 1050 110"
Print #Num, "      70    60   61   58 1050 110"
Print #Num, "      98    85   86 2829  900 160"
Print #Num, "      99    86   87  207  900 100"
Print #Num, "     100    87   96    3  800 140"
Print #Num, "     102    88 9902 1100  750  80"
Print #Num, "     103    88   90 5435  800  75"
Print #Num, "     105    90   93 5439  750  75"
Print #Num, "     106    93   94 1738  800  75"
Print #Num, "     107    94   95   10  800  75"

```

```

Print #Num, "    111  98 7092    3  800  100"
Print #Num, "    92  95   30    3  800  100"
Print #Num, "   115  57 7022    5 1050  130"
Print #Num, "   116  51 7095   15  400  100"
Print #Num, "   117  46   85 1817 1200  160"
Print #Num, "   118  85   92 1145 1050  160"
Print #Num, "   120 100  101 3815   900  110"
Print #Num, "   121 101  102   30  900  100"
Print #Num, "   122 102  103   15  900  100"
Print #Num, "   123  92  106  210  400  160"
Print #Num, "   124 106  107  300  400  160"
Print #Num, "   125 107  108    5  400  160"
Print #Num, "   129 100  111 1700   850  120"
Print #Num, "   130 111  112    1  800  120"
Print #Num, "   132 113  114    60  800  130"
Print #Num, "   133 114  115    52  800  130"
Print #Num, "   134 115 7096    1  800  130"
Print #Num, "   140  53  121 5760 1800   85"
Print #Num, "   141 121  122   110  700   80"
Print #Num, "   142 122  123   200  600   80"
Print #Num, "   143 123  124    28  900   80"
Print #Num, "   144 124  125    1  900   80"
Print #Num, "   146 127 7023    2  900  100"
Print #Num, "    62  92    2 1400 1050  103"
Print #Num, "    66    2  47    2 1050  135"
Print #Num, "   119  47  58    2 1050  135"
Print #Num, "   147    2  59    2 1050  135"
Print #Num, "   150  58  128   10 1050  135  0 CV"
Print #Num, "   151 128  120    2 1050  135"
Print #Num, "   152 120  104    2 1050  135"
Print #Num, "   153 105  104    2 1050  135"
Print #Num, "   154 104  100 2650 1050  115"
Print #Num, "   159  86  129  366   800   72"
Print #Num, "   160 130   88  434   800   70"
Print #Num, "    60  62 7025    1 1050  100"
Print #Num, "    53  63   64    1   400  100"
Print #Num, "    73 129  130    1   800  150  0 CV"

```

```

Print #Num, "      74   24   20   12   300  120   0 CV"
Print #Num, "      75   13   43    4   600  130   0 CV"
Print #Num, "      76 7096   65    1   600  100"
Print #Num, "      77 7094   67    1   600  100"
Print #Num, "      78 7092   69    1   600  100"
Print #Num, "      79 7090   70    1   600  100"
Print #Num, "      80 7023   66    1   600  100"
Print #Num, "      81 7024   68    1   600  100"
Print #Num, "      82 7022   73    1   600  100"
Print #Num, "      83 7095   71    1   600  100"
Print #Num, "      84 7025   72    1   600  100"
Print #Num, "      85   55   74    3 1050   80"
Print #Num, "      86   75   56    2 1050  130"
Print #Num, "      87  126   76    1   900  100"
Print #Num, "      88   77  127    1   900  100"
Print #Num, "      90   97   78    1   800  100"
Print #Num, "      91   79 7090    1   800  100"
Print #Num, "      95  109   80    2   400  130"
Print #Num, "      96   82 7094    3   400  130"
Print #Num, "     112  110   83   10   900  130"
Print #Num, "     114   84 7024    5   900  130"
Print #Num, ""
Print #Num, ""
Print #Num, "[PUMPS]"
Print #Num, ";-----"
Print #Num, ";  Start End   H0   H1   Q1   H2   Q2   Q3"
Print #Num, ";ID Node  Node"
Print #Num, ";-----"
Print #Num, " 17 31   32 192. 168.  40. 144.  80. 120."
Print #Num, " 30 33   34 192. 168.  40. 144.  80. 120."
Print #Num, " 38 35   36 192. 168.  40. 144.  80. 120."
Print #Num, " 41 37   38 192. 168.  40. 144.  80. 120."
Print #Num, "  2  1    3 100.  95. 167.  84. 333. 500."
Print #Num, " 13  6    7 100.  95. 167.  84. 333. 500."
Print #Num, " 48 41   42 100.  95. 167.  84. 333. 500."
Print #Num, "155 59  105 55.  45. 500.  34. 900. 1200."
Print #Num, "156  2   104 55.  45. 500.  34. 900. 1200."

```

```

Print #Num, " 157 47   120  55.  45.  500.  34.   900. 1200."
Print #Num, " 161 129   130  55.  45.  500.  34.   900. 1200."
Print #Num, ""
Print #Num, ""
Print #Num, "[CONTROLS]"
Print #Num, "LINK 67 CLOSED IF NODE 7022 ABOVE 5.88"
Fs = Pegar_F("022", "F01")
Print #Num, "LINK 67 " & Fs & " IF NODE 7022 BELOW 2.7"
Print #Num, "LINK 139 CLOSED IF NODE 7023 ABOVE 8.50"
Fs = Pegar_F("023", "F01")
Print #Num, "LINK 139 " & Fs & " IF NODE 7023 BELOW 0.85"
Print #Num, "LINK 128 CLOSED IF NODE 7024 ABOVE 7.6"
Fs = Pegar_F("024", "F01")
Print #Num, "LINK 128 " & Fs & " IF NODE 7024 BELOW 0.9"
Print #Num, "LINK 110 CLOSED IF NODE 7090 ABOVE 5.4"
Fs = Pegar_F("090", "F01")
Print #Num, "LINK 110 " & Fs & " IF NODE 7090 BELOW .7"
Print #Num, "LINK 93 CLOSED IF NODE 7092 ABOVE 4.09"
Fs = Pegar_F("092", "F01")
Print #Num, "LINK 93 " & Fs & " IF NODE 7092 BELOW .8"
Print #Num, "LINK 97 CLOSED IF NODE 7094 ABOVE 5.0"
Fs = Pegar_F("094", "F01")
Print #Num, "LINK 97 " & Fs & " IF NODE 7094 BELOW .6"
Print #Num, "LINK 131 CLOSED IF NODE 7096 ABOVE 7.90"
Fs = Pegar_F("096", "F01")
Print #Num, "LINK 131 " & Fs & " IF NODE 7096 BELOW 0.9"
Print #Num, "LINK 65 CLOSED IF NODE 7095 ABOVE 4.15"
Fs = Pegar_F("095", "F01")
Print #Num, "LINK 65 " & Fs & " IF NODE 7095 BELOW 1.0"
Print #Num, "LINK 71 CLOSED IF NODE 7025 ABOVE 8.08"
Fs = Pegar_F("025", "F01")
Print #Num, "LINK 71 " & Fs & " IF NODE 7025 BELOW 0.65"
Print #Num, ""
Print #Num, ""
Print #Num, "[VALVES]"
Print #Num, ";ID      Node1  Node2  Diameter  Type Set  MinorLoss  "
Print #Num, " 61      56     57     1050      PSV   0    0    "

```

```

Fs = Pegar_F("095", "F01")
Print #Num, " 65    50    51    400    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("090", "F01")
Print #Num, " 110   96    97    800    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("092", "F01")
Print #Num, "  93    30    98    600    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("094", "F01")
Print #Num, "  97   108   109    400    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("024", "F01")
Print #Num, " 128   103   110    900    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("096", "F01")
Print #Num, " 131   112   113    800    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("023", "F01")
Print #Num, " 139   125   126    900    FCV " & Fs & "    0"
Fs = Pegar_F("025", "F01")
Print #Num, "  71    61    63    400    FCV " & Fs & "    0"
Print #Num, "  72    64    62    400    PSV  0    0"
Fs = Pegar_F("022", "F01")
Print #Num, "  67    74    75   1050    FCV " & Fs & "    0"
Print #Num, "  89    76    77    900    PSV  0    0"
Print #Num, "  94    78    79    800    PSV  0    0"
Print #Num, " 101    80    82    400    PSV  0    0"
Print #Num, " 126    83    84    900    PSV  0    0"
Print #Num, " "
Print #Num, " [STATUS]"
Print #Num, " ;ID          Status/Setting"
Status = Pegar_Status_bomba("167", 1)
If Status Then Print #Num, " 161          Closed"
'O desligado
Status = Pegar_Status_bomba("145", 1)
If Status Then Print #Num, " 157          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("145", 2)
If Status Then Print #Num, " 156          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("145", 3)
If Status Then Print #Num, " 155          Closed"

Status = Pegar_Status_bomba("093", 1)

```



```

If Status Then Print #Num, " 48          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("093", 2)
If Status Then Print #Num, " 13          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("093", 3)
If Status Then Print #Num, " 2          Closed"

```

```

Status = Pegar_Status_bomba("091", 1)
If Status Then Print #Num, " 41          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("091", 2)
If Status Then Print #Num, " 38          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("091", 3)
If Status Then Print #Num, " 30          Closed"
Status = Pegar_Status_bomba("091", 4)
If Status Then Print #Num, " 17          Closed"

```

```

Print #Num, " "
Print #Num, " [PATTERNS]"
Print #Num, " ; R Itaquaq" '

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V96(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 5 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V96(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 5 " & strAux
'

```

```

Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Sao Miguel"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V23(j)) & " "
Next j

```

```

Print #Num, " 6 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V23(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 6 " & strAux
'
Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Poa"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V94(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 7 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V94(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 7 " & strAux
'
Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Itaim"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V24(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 8 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V24(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 8 " & strAux
'
Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Bras Cubas"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V92(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 9 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V92(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 9 " & strAux
'


---


Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Suzano"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V90(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 10 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V90(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 10 " & strAux
'


---


Print #Num, " "
Print #Num, " ; R Ferraz"

```

```

strAux = ""
For j = 1 To 12
    strAux = strAux & Int(V95(j)) & " "
Next j
Print #Num, " 11 " & strAux
strAux = ""
For j = 13 To 24
    strAux = strAux & Int(V95(j)) & " "
Next j

```

```
Print #Num, " 11 " & strAux
```

```
Print #Num, " "
```

```
Print #Num, " ; R Guaianazes"
```

```
strAux = ""
```

```
For j = 1 To 12
```

```
    strAux = strAux & Int(V25(j)) & " "
```

```
Next j
```

```
Print #Num, " 12 " & strAux
```

```
strAux = ""
```

```
For j = 13 To 24
```

```
    strAux = strAux & Int(V25(j)) & " "
```

```
Next j
```

```
Print #Num, " 12 " & strAux
```

```
Print #Num, " "
```

```
Print #Num, " ; R Itaquera"
```

```
strAux = ""
```

```
For j = 1 To 12
```

```
    strAux = strAux & Int(V22(j)) & " "
```

```
Next j
```

```
Print #Num, " 13 " & strAux
```

```
strAux = ""
```

```
For j = 13 To 24
```

```
    strAux = strAux & Int(V22(j)) & " "
```

```
Next j
```

```
Print #Num, " 13 " & strAux
```

```
Print #Num, " "
```

```
Print #Num, " [TIMES]"
```

```
Print #Num, " ;-----"
```

```
Print #Num, " DURATION 24 ; 24 hour simulation period"
```

```
Print #Num, " PATTERN TIMESTEP 1 ; 1 hour pattern time period"
```

```
Print #Num, " "
```

```
Print #Num, " [Options]"
```

```

Print #Num, " ;-----"
Print #Num, " UNITS SI"
Print #Num, " HEADLOSS H-W"
Print #Num, " QUALITY NONE"
Print #Num, " SPECIFIC GRAVITY 1.0"
Print #Num, " VISCOSITY 1.0"
Print #Num, " DIFFUSIVITY 0.000000013"
Print #Num, " TRIALS 40"
Print #Num, " ACCURACY 0.001"
Print #Num, " SEGMENTS 100"
Print #Num, " MAP MAPA.MAP"
Print #Num, " "
Print #Num, " [End]"

```

```
Close #Num
```

```

MsgBox "Arquivo epanet gerado : " & saida & ".inp"
End Sub

```

```
Function Pegar_Nivel(N_Tabela As String) As Double
```

```

Dim rst As New ADODB.Recordset
Dim rstTemp As New ADODB.Recordset
Dim str0, str1, str2, strTemp As String
Dim strDataAux1, strDataAux2 As String
Dim N_campo As Integer

```

```
Dim Log(2) As String
```

```

Dim horaAux As Date
Dim dataAux As Date
Dim i, j As Integer

```

```

Dim div, dias As Integer
Dim Sair, Parar As Boolean

```

```
Dim DataIni, dt2 As Date
```

```
Dim HoraIni As Date
```

```
Dim Achou As Boolean 'Se acho o dado = true
```

```
Dim Tira_uma_Semana As Integer
```

```
DataIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox1.Text) 'data inicial
```

```
HoraIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox3.Text) 'hora inicial
```

```
'zerar variável
```

```
For i = 0 To 5
```

```
    For j = 0 To 24
```

```
        R(i).Nivel(j) = -1
```

```
    Next
```

```
Next
```

```
N_campo = 2
```

```
'*****abre a conexão do banco de dados*****
```

```
cnn_ept.Open "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.3.51;Data Source=" _  
    & App.Path & "\DadosDoScoa.mdb;"
```

```
Open "LOG.TXT" For Output As #10 'Arquivo para verificar se esta pegando
```

```
    valores corretos
```

```
Print #10, "nivel", "data", "hora", "recorset" ' cabeçalho
```

```
On Error GoTo TRATAR_ERRO
```

```
'*****Abre o Recordset*****
```

```
rst0_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst1_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst2_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst3_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst4_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
N_campo = 2
```

*****estou lendo data inicial e data inicial -1 >>>> para o QBASE*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _  
    & N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _  
    & "([" & N_Tabela & "].R" & (N_campo / 2) & "QL=NULL)) and " _  
    & "((([" & N_Tabela & "].Data=#"
```

```
str1 = "#) and " _  
    & "([" & N_Tabela & "].Hora=#" & HoraIni & "#))))"
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
j = 0
```

```
Achou = False
```

```
Tira_uma_Semana = 0
```

```
Do Until Achou
```

```
    rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,  
    adCmdText
```

```
    If rst0_ept.EOF <> True Then
```

```
        R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value
```

```
        R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value
```

```
        R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value
```

```
        Achou = True
```

```
    Else
```

```
        Achou = False
```

```
        rst0_ept.Close
```

```
        Tira_uma_Semana = Tira_uma_Semana - 7
```

```
        strDataAux1 = Month(Dataini + Tira_uma_Semana) & "/" & Day(Dataini +
```

```
Tira_uma_Semana) & "/" & Year(Dataini - Tira_uma_Semana)
```

```
        strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
    End If
```

```
If Tira_uma_Semana = -35 Then
```

```
    MsgBox "Não foi encontrado dados..."
```

```
    rst0_ept.Close
```

```

str1 = "#" and " _
& "(" & N_Tabela & "].Hora<=#" & HoraIni & "#)) or " _
& "(" & N_Tabela & "].Data=#"

str2 = "#" and " _
& "(" & N_Tabela & "].Hora>#" & HoraIni & "#)))))"

strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
strDataAux2 = Month(Dataini - 1) & "/" & Day(Dataini - 1) & "/" &
Year(Dataini - 1)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

'*****estou lendo o mesmo dia de 1 semana anterior*****
strDataAux1 = Month(Dataini - 7) & "/" & Day(Dataini - 7) & "/" &
Year(Dataini - 7)
strDataAux2 = Month(Dataini - 8) & "/" & Day(Dataini - 8) & "/" &
Year(Dataini - 8)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst1_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

'*****estou lendo o mesmo dia de 2 semanas anteriores*****
strDataAux1 = Month(Dataini - 14) & "/" & Day(Dataini - 14) & "/" &
Year(Dataini - 14)
strDataAux2 = Month(Dataini - 15) & "/" & Day(Dataini - 15) & "/" &
Year(Dataini - 15)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst2_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

'*****estou lendo o mesmo dia de 3 semanas anteriores*****
strDataAux1 = Month(Dataini - 21) & "/" & Day(Dataini - 21) & "/" &
Year(Dataini - 21)
strDataAux2 = Month(Dataini - 22) & "/" & Day(Dataini - 22) & "/" &
Year(Dataini - 22)

```



```

strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst3_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

'*****estou lendo o mesmo dia de 4 semanas anteriores*****
strDataAux1 = Month(Dataini - 28) & "/" & Day(Dataini - 28) & "/" &
Year(Dataini - 28)
strDataAux2 = Month(Dataini - 29) & "/" & Day(Dataini - 29) & "/" &
Year(Dataini - 29)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst4_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

'-----
rst0_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst0_ept.EOF <> True
    R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value
    R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value
    R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value
    rst0_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 1: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(0).Dataini(j) + R(0).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(0).Hora(i) = R(0).Hora(i - 1)
            R(0).Dataini(i) = R(0).Dataini(i - 1)
            R(0).Nivel(i) = R(0).Nivel(i - 1)
        Next
        R(0).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#

```

Next

'-----

--- rst1_ept.MoveFirst

j = 0

Do Until Not rst1_ept.EOF <> True

R(1).Dataini(j) = rst1_ept.Fields(0).Value

R(1).Hora(j) = rst1_ept.Fields(1).Value

R(1).Nivel(j) = rst1_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value

rst1_ept.MoveNext

j = j + 1

Loop

dataAux = Dataini - 8: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#

'reordenar

For j = 0 To 23

If Trim(Str(R(1).Dataini(j) + R(1).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>

0 Then

For i = 23 To j Step -1

R(1).Hora(i) = R(1).Hora(i - 1)

R(1).Dataini(i) = R(1).Dataini(i - 1)

R(1).Nivel(i) = R(1).Nivel(i - 1)

Next

R(1).Nivel(i + 1) = -1

End If

horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#

Next

'-----

rst2_ept.MoveFirst

j = 0

Do Until Not rst2_ept.EOF <> True

R(2).Dataini(j) = rst2_ept.Fields(0).Value

R(2).Hora(j) = rst2_ept.Fields(1).Value

R(2).Nivel(j) = rst2_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value

rst2_ept.MoveNext

j = j + 1

Loop

```
dataAux = Dataini - 15: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
```

'reordenar

```
For j = 0 To 23
```

```
    If Trim(Str(R(2).Dataini(j) + R(2).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
```

0 Then

```
        For i = 23 To j Step -1
```

```
            R(2).Hora(i) = R(2).Hora(i - 1)
```

```
            R(2).Dataini(i) = R(2).Dataini(i - 1)
```

```
            R(2).Nivel(i) = R(2).Nivel(i - 1)
```

Next

```
        R(2).Nivel(i + 1) = -1
```

End If

```
        horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
```

Next

```
rst3_ept.MoveFirst
```

```
    j = 0
```

```
Do Until Not rst3_ept.EOF <> True
```

```
    R(3).Dataini(j) = rst3_ept.Fields(0).Value
```

```
    R(3).Hora(j) = rst3_ept.Fields(1).Value
```

```
    R(3).Nivel(j) = rst3_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value
```

```
    rst3_ept.MoveNext
```

```
    j = j + 1
```

Loop

```
dataAux = Dataini - 22: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
```

'reordenar

```
For j = 0 To 23
```

```
    If Trim(Str(R(3).Dataini(j) + R(3).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
```

0 Then

```
        For i = 23 To j Step -1
```

```
            R(3).Hora(i) = R(3).Hora(i - 1)
```

```
            R(3).Dataini(i) = R(3).Dataini(i - 1)
```

```
            R(3).Nivel(i) = R(3).Nivel(i - 1)
```

```

        Next
        R(3).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next

'-----

rst4_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst4_ept.EOF <> True
    R(4).Dataini(j) = rst4_ept.Fields(0).Value
    R(4).Hora(j) = rst4_ept.Fields(1).Value
    R(4).Nivel(j) = rst4_ept.Fields(N_Tabela & "R01").Value
    rst4_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 29: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(4).Dataini(j) + R(4).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(4).Hora(i) = R(4).Hora(i - 1)
            R(4).Dataini(i) = R(4).Dataini(i - 1)
            R(4).Nivel(i) = R(4).Nivel(i - 1)
        Next
        R(4).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next
Titulo = "Não existe dados : " & N_Tabela & "R" & N_campo
NaoAchou.Show 1
Achou = True
rst1_ept.Close
rst2_ept.Close
rst3_ept.Close

```

```

        End If
    Loop

        '***** Estou lendo QBASE *****

Close #10

rst0_ept.Close
cnn_ept.Close

Pegar_Nivel = R(0).Nivel(0)
Exit Function

TRATAR_ERRO:
    Select Case Err.Number
    Case 3021
        'BOF ou EOF
        Resume Next
    Case 1
        Beep
    Case Else
        MsgBox Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical, "Aviso de Erro"
        Resume Next
    End Select

End Function

Function Pegar_Status_bomba(N_Tabela As String, N_campo As Integer) As
    Boolean

    Dim rst As New ADODB.Recordset
    Dim rstTemp As New ADODB.Recordset
    Dim str0, str1, str2, strTemp As String
    Dim strDataAux1, strDataAux2 As String

    Dim Log(2) As String

    Dim horaAux As Date

```

```
Dim dataAux As Date
```

```
Dim i, j As Integer
```

```
Dim div, dias As Integer
```

```
Dim Sair, Parar As Boolean
```

```
Dim Dataini, dt2 As Date
```

```
Dim HoraIni As Date
```

```
Dim Achou As Boolean 'Se acho o dado = true
```

```
Dim Tira_uma_Semana As Integer
```

```
Dataini = CDate(Entrada.MaskedTextBox1.Text) 'data inicial
```

```
HoraIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox3.Text) 'hora inicial
```

```
'zerar variável
```

```
For i = 0 To 5
```

```
    For j = 0 To 24
```

```
        R(i).Nivel(j) = -1
```

```
    Next
```

```
Next
```

```
'*****abre a conexão do banco de dados*****
```

```
cnn_ept.Open "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.3.51;Data Source=" _  
    & App.Path & "\DadosDoScoa.mdb;"
```

```
Open "LOG.TXT" For Output As #10 'Arquivo para verificar se esta pegando  
    valores corretos
```

```
Print #10, "nivel", "data", "hora", "recorset" ' cabeçalho
```

```
On Error GoTo TRATAR_ERRO
```

```
'Abre o Recordset
```

```
rst0_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst1_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst2_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst3_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
rst4_ept.CursorLocation = adUseClient
```

```
'*****estou lendo data inicial e data inicial -1 >>>> para o QBASE*****
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _  
    & N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _  
    & "[" & N_Tabela & "].B" & (N_campo) & "QL=NULL)) and " _  
    & "((([" & N_Tabela & "].Data=#"
```

```
str1 = "#) and " _  
    & "[" & N_Tabela & "].Hora=#" & HoraIni & "#))))"
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
j = 0
```

```
Achou = False
```

```
Tira_uma_Semana = 0
```

```
Do Until Achou
```

```
    rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,  
    adCmdText
```

```
    If rst0_ept.EOF <> True Then
```

```
        R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value
```

```
        R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value
```

```
        R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value
```

```
        Achou = True
```

```
    Else
```

```
        Achou = False
```

```
        rst0_ept.Close
```

```
        Tira_uma_Semana = Tira_uma_Semana - 7
```

```
        strDataAux1 = Month(Dataini + Tira_uma_Semana) & "/" & Day(Dataini +  
        Tira_uma_Semana) & "/" & Year(Dataini - Tira_uma_Semana)
```

```
        strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
    End If
```

```
If Tira_uma_Semana = -35 Then
```

MsgBox "Não foi encontrado dados..."

```
str1 = "#" and " _
& "(" & N_Tabela & "].Hora<=#" & HoraIni & "#)) or " _
& "(" & N_Tabela & "].Data=#"
```

```
str2 = "#" and " _
& "(" & N_Tabela & "].Hora>#" & HoraIni & "#)))))"
```

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
strDataAux2 = Month(Dataini - 1) & "/" & Day(Dataini - 1) & "/" &
Year(Dataini - 1)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 1 semana anterior*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 7) & "/" & Day(Dataini - 7) & "/" &
Year(Dataini - 7)
strDataAux2 = Month(Dataini - 8) & "/" & Day(Dataini - 8) & "/" &
Year(Dataini - 8)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst1_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 2 semanas anteriores*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 14) & "/" & Day(Dataini - 14) & "/" &
Year(Dataini - 14)
strDataAux2 = Month(Dataini - 15) & "/" & Day(Dataini - 15) & "/" &
Year(Dataini - 15)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst2_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 3 semanas anteriores*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 21) & "/" & Day(Dataini - 21) & "/" &
Year(Dataini - 21)
```



```

    strDataAux2 = Month(Dataini - 22) & "/" & Day(Dataini - 22) & "/" &
Year(Dataini - 22)
    strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
    rst3_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

```

*****estou lendo o mesmo dia de 4 semanas anteriores*****

```

    strDataAux1 = Month(Dataini - 28) & "/" & Day(Dataini - 28) & "/" &
Year(Dataini - 28)
    strDataAux2 = Month(Dataini - 29) & "/" & Day(Dataini - 29) & "/" &
Year(Dataini - 29)
    strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
    rst4_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText

```

```

If Not rst0_ept.EOF Then

```

```

    rst0_ept.MoveFirst

```

```

    j = 0

```

```

    Do Until Not rst0_ept.EOF <> True

```

```

        R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value

```

```

        R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value

```

```

        R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value

```

```

        rst0_ept.MoveNext

```

```

        j = j + 1

```

```

    Loop

```

```

    dataAux = Dataini - 1: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#

```

'reordenar

```

    For j = 0 To 23

```

```

        If Trim(Str(R(0).Dataini(j) + R(0).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux))

```

```

    <> 0 Then

```

```

        For i = 23 To j Step -1

```

```

            R(0).Hora(i) = R(0).Hora(i - 1)

```

```

            R(0).Dataini(i) = R(0).Dataini(i - 1)

```

```

            R(0).Nivel(i) = R(0).Nivel(i - 1)

```

```

        Next

```

```

        R(0).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next
End If
'-----

If Not rst1_ept.EOF Then
rst1_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst1_ept.EOF <> True
    R(1).Dataini(j) = rst1_ept.Fields(0).Value
    R(1).Hora(j) = rst1_ept.Fields(1).Value
    R(1).Nivel(j) = rst1_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value
    rst1_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 8: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(1).Dataini(j) + R(1).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(1).Hora(i) = R(1).Hora(i - 1)
            R(1).Dataini(i) = R(1).Dataini(i - 1)
            R(1).Nivel(i) = R(1).Nivel(i - 1)
        Next
        R(1).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next
End If
'-----

If Not rst2_ept.EOF Then
rst2_ept.MoveFirst
j = 0

```

```
Do Until Not rst2_ept.EOF <> True
```

```
    R(2).Dataini(j) = rst2_ept.Fields(0).Value
```

```
    R(2).Hora(j) = rst2_ept.Fields(1).Value
```

```
    R(2).Nivel(j) = rst2_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value
```

```
    rst2_ept.MoveNext
```

```
    j = j + 1
```

```
Loop
```

```
dataAux = Dataini - 15: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
```

```
'reordenar
```

```
For j = 0 To 23
```

```
    If Trim(Str(R(2).Dataini(j) + R(2).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
```

```
0 Then
```

```
    For i = 23 To j Step -1
```

```
        R(2).Hora(i) = R(2).Hora(i - 1)
```

```
        R(2).Dataini(i) = R(2).Dataini(i - 1)
```

```
        R(2).Nivel(i) = R(2).Nivel(i - 1)
```

```
    Next
```

```
    R(2).Nivel(i + 1) = -1
```

```
End If
```

```
horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
```

```
Next
```

```
End If
```

```
'-----
```

```
If Not rst3_ept.EOF Then
```

```
rst3_ept.MoveFirst
```

```
    j = 0
```

```
Do Until Not rst3_ept.EOF <> True
```

```
    R(3).Dataini(j) = rst3_ept.Fields(0).Value
```

```
    R(3).Hora(j) = rst3_ept.Fields(1).Value
```

```
    R(3).Nivel(j) = rst3_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value
```

```
    rst3_ept.MoveNext
```

```
    j = j + 1
```

```
Loop
```

```
dataAux = Dataini - 22: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
```

```
'reordenar
```

```

For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(3).Dataini(j) + R(3).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(3).Hora(i) = R(3).Hora(i - 1)
            R(3).Dataini(i) = R(3).Dataini(i - 1)
            R(3).Nivel(i) = R(3).Nivel(i - 1)
        Next
        R(3).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next
End If
'-----
If Not rst4_ept.EOF Then
    rst4_ept.MoveFirst
    j = 0
    Do Until Not rst4_ept.EOF <> True
        R(4).Dataini(j) = rst4_ept.Fields(0).Value
        R(4).Hora(j) = rst4_ept.Fields(1).Value
        R(4).Nivel(j) = rst4_ept.Fields(N_Tabela & "B0" & N_campo).Value
        rst4_ept.MoveNext
        j = j + 1
    Loop

    dataAux = Dataini - 29: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(4).Dataini(j) + R(4).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(4).Hora(i) = R(4).Hora(i - 1)
            R(4).Dataini(i) = R(4).Dataini(i - 1)
            R(4).Nivel(i) = R(4).Nivel(i - 1)
        Next
        R(4).Nivel(i + 1) = -1
    End If

```

```

        horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
    Next
End If
'-----

Titulo = "Não existe dados : " & N_Tabela & "B" & N_campo & ". Escolha 0
ou 1"
NaoAchou.Show 1
Achou = True
rst1_ept.Close
rst2_ept.Close
rst3_ept.Close
End If
Loop

'***** Estou lendo QBASE *****
Close #10

rst0_ept.Close

cnn_ept.Close

If R(0).Nivel(0) = 1 Then
    Pegar_Status_bomba = False
Else
    Pegar_Status_bomba = True
End If

Exit Function

TRATAR_ERRO:
    Select Case Err.Number
    Case 3021
        'BOF ou EOF
        Resume Next
    Case 1
        Beep
    Case Else

```

```

        MsgBox Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical, "Aviso de Erro"
    Resume Next
End Select

End Function

Function Pegar_F(N_Tabela As String, Ordem As String) As Double

    Dim rst As New ADODB.Recordset
    Dim rstTemp As New ADODB.Recordset
    Dim str0, str1, str2, strTemp As String
    Dim strDataAux1, strDataAux2 As String
    Dim N_campo As Integer

    Dim Log(2) As String

    Dim horaAux As Date
    Dim dataAux As Date
    Dim i, j As Integer

    Dim div, dias As Integer
    Dim Sair, Parar As Boolean

    Dim Dataini, dt2 As Date
    Dim HoraIni As Date

    Dim Achou As Boolean 'Se acho o dado = true
    Dim Tira_uma_Semana As Integer

    Dataini = CDate(Entrada.MaskedTextBox1.Text) 'data inicial
    HoraIni = CDate(Entrada.MaskedTextBox3.Text) 'hora inicial

    'zerar variável
    For i = 0 To 5
        For j = 0 To 24
            R(i).Nivel(j) = -1

```

Next

Next

N_campo = 2

*****abre a conexão do banco de dados*****

```
cnn_ept.Open "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.3.51;Data Source=" _
    & App.Path & "\DadosDoScoa.mdb;"
```

Open "LOG.TXT" For Output As #10 'Arquivo para verificar se esta pegando
valores corretos

Print #10, "nivel", "data", "hora", "recorset" ' cabeçalho

On Error GoTo TRATAR_ERRO

'Abre o Recordset

```
rst0_ept.CursorLocation = adUseClient
rst1_ept.CursorLocation = adUseClient
rst2_ept.CursorLocation = adUseClient
rst3_ept.CursorLocation = adUseClient
rst4_ept.CursorLocation = adUseClient
```

N_campo = 2

*****estou lendo data inicial e data inicial -1 >>>> para o QBASE*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
str0 = "Select [" & N_Tabela & "].* from [" & N_Tabela & "] where ((([" _
    & N_Tabela & "].LP<>1) and ([" & N_Tabela & "].Fase<>1) and " _
    & "[" & N_Tabela & "].F" & (N_campo / 2) & "QL=NULL)) and " _
    & "((([" & N_Tabela & "].Data=#"
```

```
str1 = "#) and " _
    & "[" & N_Tabela & "].Hora=#" & HoraIni & "#))))"
```

```
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
j = 0
```

```
Achou = False
```

```
Tira_uma_Semana = 0
```

```
Do Until Achou
```

```
    rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,  
    adCmdText
```

```
    If rst0_ept.EOF <> True Then
```

```
        R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
```

```
        R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value
```

```
        R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value
```

```
        Achou = True
```

```
    Else
```

```
        Achou = False
```

```
        rst0_ept.Close
```

```
        Tira_uma_Semana = Tira_uma_Semana - 7
```

```
        strDataAux1 = Month(Dataini + Tira_uma_Semana) & "/" & Day(Dataini +  
Tira_uma_Semana) & "/" & Year(Dataini - Tira_uma_Semana)
```

```
        strTemp = str0 & strDataAux1 & str1
```

```
    End If
```

```
If Tira_uma_Semana = -35 Then
```

```
    MsgBox "Não foi encontrado dados..."
```

```
    rst0_ept.Close
```

```
    str1 = "#" & " and " & _
```

```
    & "(" & "[" & N_Tabela & "].Hora<=#" & HoraIni & "#)) or " & _
```

```
    & "(([" & N_Tabela & "].Data=#"
```

```
    str2 = "#" & " and " & _
```

```
    & "(" & "[" & N_Tabela & "].Hora>#" & HoraIni & "#))))"
```

```
    strDataAux1 = Month(Dataini) & "/" & Day(Dataini) & "/" & Year(Dataini)
```

```
    strDataAux2 = Month(Dataini - 1) & "/" & Day(Dataini - 1) & "/" &  
Year(Dataini - 1)
```

```
    strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
```

```
    rst0_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,  
adCmdText
```


*****estou lendo o mesmo dia de 1 semana anterior*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 7) & "/" & Day(Dataini - 7) & "/" &
Year(Dataini - 7)
strDataAux2 = Month(Dataini - 8) & "/" & Day(Dataini - 8) & "/" &
Year(Dataini - 8)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst1_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 2 semanas anteriores*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 14) & "/" & Day(Dataini - 14) & "/" &
Year(Dataini - 14)
strDataAux2 = Month(Dataini - 15) & "/" & Day(Dataini - 15) & "/" &
Year(Dataini - 15)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst2_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 3 semanas anteriores*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 21) & "/" & Day(Dataini - 21) & "/" &
Year(Dataini - 21)
strDataAux2 = Month(Dataini - 22) & "/" & Day(Dataini - 22) & "/" &
Year(Dataini - 22)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst3_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

*****estou lendo o mesmo dia de 4 semanas anteriores*****

```
strDataAux1 = Month(Dataini - 28) & "/" & Day(Dataini - 28) & "/" &
Year(Dataini - 28)
strDataAux2 = Month(Dataini - 29) & "/" & Day(Dataini - 29) & "/" &
Year(Dataini - 29)
strTemp = str0 & strDataAux1 & str1 & strDataAux2 & str2
rst4_ept.Open strTemp, cnn_ept, adOpenKeyset, adLockOptimistic,
adCmdText
```

```

'-----
rst0_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst0_ept.EOF <> True
    R(0).Dataini(j) = rst0_ept.Fields(0).Value
    R(0).Hora(j) = rst0_ept.Fields(1).Value
    R(0).Nivel(j) = rst0_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
    rst0_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 1: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(0).Dataini(j) + R(0).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(0).Hora(i) = R(0).Hora(i - 1)
            R(0).Dataini(i) = R(0).Dataini(i - 1)
            R(0).Nivel(i) = R(0).Nivel(i - 1)
        Next
        R(0).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next
'-----

rst1_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst1_ept.EOF <> True
    R(1).Dataini(j) = rst1_ept.Fields(0).Value
    R(1).Hora(j) = rst1_ept.Fields(1).Value
    R(1).Nivel(j) = rst1_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
    rst1_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 8: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#

```

```

'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(1).Dataini(j) + R(1).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(1).Hora(i) = R(1).Hora(i - 1)
            R(1).Dataini(i) = R(1).Dataini(i - 1)
            R(1).Nivel(i) = R(1).Nivel(i - 1)
        Next
        R(1).Nivel(i + 1) = -1
    End If
    horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
Next

'-----
rst2_ept.MoveFirst
j = 0
Do Until Not rst2_ept.EOF <> True
    R(2).Dataini(j) = rst2_ept.Fields(0).Value
    R(2).Hora(j) = rst2_ept.Fields(1).Value
    R(2).Nivel(j) = rst2_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
    rst2_ept.MoveNext
    j = j + 1
Loop

dataAux = Dataini - 15: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
'reordenar
For j = 0 To 23
    If Trim(Str(R(2).Dataini(j) + R(2).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
0 Then
        For i = 23 To j Step -1
            R(2).Hora(i) = R(2).Hora(i - 1)
            R(2).Dataini(i) = R(2).Dataini(i - 1)
            R(2).Nivel(i) = R(2).Nivel(i - 1)
        Next
        R(2).Nivel(i + 1) = -1
    End If

```

```
horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
```

```
Next
```

```
'-----
```

```
rst3_ept.MoveFirst
```

```
    j = 0
```

```
Do Until Not rst3_ept.EOF <> True
```

```
    R(3).Dataini(j) = rst3_ept.Fields(0).Value
```

```
    R(3).Hora(j) = rst3_ept.Fields(1).Value
```

```
    R(3).Nivel(j) = rst3_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
```

```
    rst3_ept.MoveNext
```

```
    j = j + 1
```

```
Loop
```

```
dataAux = Dataini - 22: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#
```

```
'reordenar
```

```
For j = 0 To 23
```

```
    If Trim(Str(R(3).Dataini(j) + R(3).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>
```

```
0 Then
```

```
    For i = 23 To j Step -1
```

```
        R(3).Hora(i) = R(3).Hora(i - 1)
```

```
        R(3).Dataini(i) = R(3).Dataini(i - 1)
```

```
        R(3).Nivel(i) = R(3).Nivel(i - 1)
```

```
    Next
```

```
    R(3).Nivel(i + 1) = -1
```

```
End If
```

```
horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#
```

```
Next
```

```
'-----
```

```
rst4_ept.MoveFirst
```

```
j = 0
```

```
Do Until Not rst4_ept.EOF <> True
```

```
    R(4).Dataini(j) = rst4_ept.Fields(0).Value
```

```
    R(4).Hora(j) = rst4_ept.Fields(1).Value
```

```
    R(4).Nivel(j) = rst4_ept.Fields(N_Tabela & Ordem).Value
```

```
    rst4_ept.MoveNext
```

```
    j = j + 1
```

Loop

dataAux = Dataini - 29: horaAux = dataAux + HoraIni + #1:00:00 AM#

'reordenar

For j = 0 To 23

If Trim(Str(R(4).Dataini(j) + R(4).Hora(j))) <> Trim(Str(horaAux)) <>

0 Then

For i = 23 To j Step -1

R(4).Hora(i) = R(4).Hora(i - 1)

R(4).Dataini(i) = R(4).Dataini(i - 1)

R(4).Nivel(i) = R(4).Nivel(i - 1)

Next

R(4).Nivel(i + 1) = -1

End If

horaAux = horaAux + #1:00:00 AM#

Next

Titulo = "Não existe dados : " & N_Tabela & "F" & N_campo

NaoAchou.Show 1

Achou = True

rst1_ept.Close

rst2_ept.Close

rst3_ept.Close

End If

Loop

'***** Estou lendo QBASE *****

Close #10

rst0_ept.Close

cnn_ept.Close

Pegar_F = R(0).Nivel(0)

Exit Function

TRATAR_ERRO:

Select Case Err.Number

Case 3021

'BOF ou EOF

Resume Next

Case 1

Beep

Case Else

MsgBox Err.Number & " - " & Err.Description, vbCritical, "Aviso de Erro"

Resume Next

End Select

End Function

ANEXO B
(módulo do modelo de previsão)

*******Módulo Previsional*******

***** última modificação 05/06/03 *****

'modPREVISIONAL - baseado no programa PREVIS11.BAS

'-----Programa para verificacao da correlacao entre consumos-----'

'-----observados e gerados por serie de Fourier com antecedencias variaveis-----'

'----de 1 a 24 horas com correcao de alfa e atualizacao horaria do harmonico.

VERSAO 13-12-89----

Option Explicit

Global V22(), V23(), V24(), V25() As Double

Global V90(), V92(), V94(), V95(), V96() As Double

Dim ALFA As Double

Public Sub AjusteDoHarmonico(NumHarm As Integer)

Dim k, j As Integer

'-----AJUSTE DO HARMÔNICO (M=N. DE HARMÔNICOS) -----'

For k = 1 To NumHarm

a(k) = 0: B(k) = 0

For j = 0 To (2 * N - 1)

a(k) = a(k) + QQ(j) * Cos(k * PI * j / N)

B(k) = B(k) + QQ(j) * Sin(k * PI * j / N)

Next j

a(k) = a(k) / N

B(k) = B(k) / N

Next k

End Sub

Public Sub HarmonicosDasHorasBase(NumHarm As Integer)

Dim L, icont, k As Integer

'-----DEFINICAO DOS HARMÔNICOS DAS HORAS-BASE -----'


```

For L = ((2 * N) - Grau + 1) To (2 * N)
    icont = L - 1
    HARM(L) = a(0)
    For k = 1 To NumHarm
        HARM(L) = HARM(L) + a(k) * Cos(k * PI * icont / N) + B(k) * Sin(k * PI *
    icont / N)
    Next k
Next L

```

End Sub

```

Public Sub AlfaDasHorasBase()
Dim L As Integer

```

```

'-----DEFINIÇÃO DOS ALFA DAS HORAS-BASE-----
ALFA = 0
For L = 0 To Grau - 1
    ALF(L) = QBASE(L) / HARM((2 * N) - L)
    ALFA = ALFA + ALF(L) / Grau
Next L

```

End Sub

```

Public Sub Harmonicos24Horas_Antmax(NumHarm As Integer)
Dim L, icont, k As Integer

```

```

'-----DEFINIÇÃO DOS HARMÔNICOS DA HORA 1 ATE HORA 24 + ANTMAX-----
For L = 1 To 24 + AntMax - 1
    icont = L - 1
    HARM(L) = a(0)
    For k = 1 To NumHarm
        HARM(L) = HARM(L) + a(k) * Cos(k * PI * icont / N) + B(k) * Sin(k * PI *
    icont / N)
    Next k
Next L

```

End Sub

```
Public Sub Geracao_Correcao_Calculo_Consumo(NumHarm As Integer, N_Tabela
    As String)
```

```
Dim L, Hora, Jaux, Laux As Integer
```

```
Dim Flag As Boolean
```

```
Dim CONOBS, CONCAL As Double
```

```
Dim QMED, QAUX, DIF As Double
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim Primeiro_Ciclo As Boolean
```

```
On Error Resume Next
```

```
Primeiro_Ciclo = True
```

```
For Hora = CInt(Left(Entrada.MaskedTextBox3.Text, 2)) + 1 To _
```

```
24 + CInt(Left(Entrada.MaskedTextBox3.Text, 2)) Step Ciclo
```

```
CONOBS = 0
```

```
CONCAL = 0
```

```
'-----GERAÇÃO DOS CONSUMOS COM ANTECEDÊNCIAS VARIÁVEIS-----
```

```
'***** cálculo da vazão de consumo da hora*****
```

```
'***** LAUX com JAUX horas de antecedência*****
```

```
For L = Hora To Hora + AntMax - 1
```

```
    Jaux = L - Hora + 1
```

```
    Laux = L
```

```
    If L > 24 Then Laux = L - 24
```

```
    Y(Laux, Jaux) = HARM(L) * ALFA
```

```
'-----CORREÇÃO DO CONSUMO CALCULADO PARA SITUAR-----
```

```
'-----EM TORNO DE FAIXA % DA MEDIA-----
```

```
    If Abs((Y(Laux, Jaux) - ALFA * SQmed28(Laux)) / (ALFA *
SQmed28(Laux))) > Faixa _
```

```
    Or Primeiro_Ciclo = False Then
```

```
        Y(Laux, Jaux) = ALFA * SQmed28(Laux)
```

```
        ALT(Jaux) = ALT(Jaux) + 1
```

```
    End If
```

***** Cálculo Estatístico *****

```

NEL(Laux, Jaux) = NEL(Laux, Jaux) + 1
S11(Laux, Jaux) = S11(Laux, Jaux) + Q(L)
S21(Laux, Jaux) = S21(Laux, Jaux) + Q(L) ^ 2
SOMA(Laux, Jaux) = SOMA(Laux, Jaux) + Y(Laux, Jaux)
SOMA2(Laux, Jaux) = SOMA2(Laux, Jaux) + Y(Laux, Jaux) ^ 2
SOMAXY(Laux, Jaux) = SOMAXY(Laux, Jaux) + Y(Laux, Jaux) * Q(L)
CONOBS = CONOBS + Q(L) * 3.6
CONCAL = CONCAL + Y(Laux, Jaux) * 3.6
DIF = (CONOBS - CONCAL) * 100 / VolRes
DESV(Laux, Jaux) = DESV(Laux, Jaux) + DIF
DESV2(Laux, Jaux) = DESV2(Laux, Jaux) + DIF ^ 2

```

Dim k As Integer

```

Flag = False
k = 1
While Flag = False And k <= 200
    If Abs(DIF) < 0.5 * k Then
        ERRO(k, Jaux) = ERRO(k, Jaux) + 1
        Flag = True
    Else
        k = k + 1
    End If
Wend
If k = 201 Then
    ERRO(201, Jaux) = ERRO(201, Jaux) + 1
End If
TTOT(Jaux) = TTOT(Jaux) + 1

```

Next L

If Hora <> 24 Then

```

*****Call AtualizacaoVazoesBase(hora + 0, NumHarm)*****
***** preencher as variáveis que serão lidas no epanet *****

For i = Hora To Hora + AntMax - 1
    Jaux = i - Hora + 1
    Laux = i

```

```

If i > 24 Then Laux = i - 24
Select Case N_Tabela
    Case "022"
        V22(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "023"
        V23(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "024"
        V24(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "025"
        V25(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "090"
        V90(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "092"
        V92(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "094"
        V94(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "095"
        V95(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case "096"
        V96(i) = Y(Laux, Jaux)
    Case Else
        Beep
End Select
Next i

```

```

Call AtualizacaoVazoesBase(Hora + 0, NumHarm)

```

```

Else

```

```

    *****escrever os dados do epanet para 1 dia*****

```

```

End If

```

```

Primeiro_Ciclo = False

```

```

Next Hora

```

```

End Sub

```

```

Public Sub AtualizacaoVazoesBase(hr As Integer, NumHarm As Integer)

```

```

    Dim j, k, L, icont As Integer

```

```

'-----ATUALIZAÇÃO DAS VAZOES DE BASE -----
'-----atualiza Qbase-----
For j = 1 To Grau - Ciclo - 1
    QBASE(Grau - j) = QBASE(Grau - Ciclo - j)
Next j
For j = 0 To Ciclo - 1
    QBASE(Ciclo - 1 - j) = Q(hr + j)
Next j

'-----atualiza QQ (1 semana ant)-----
For j = 0 To 167 - Ciclo
    QQ(j) = QQ(j + Ciclo)
Next j
For j = 1 To Ciclo
    QQ(167 - Ciclo + j) = Q(hr + j - 1)
Next j
somaqq = 0
For j = 0 To 167
    somaqq = somaqq + QQ(j)
Next j
a(0) = somaqq / (2 * N)

'-----recalcula Harmônicos-----
Call AjusteDoHarmonico(NumHarm)
'-----recalcula Harmônicos das Horas-Base-----
Call HarmonicosDasHorasBase(NumHarm)
'-----recalcula Alfa-----
Call AlfaDasHorasBase
'-----recalcula Harmônicos da hora 1st hora até 24st+antmax-----
Call Harmonicos24Horas_Antmax(NumHarm)

End Sub

```

ANEXO C
(CD)

ANEXO D
(Topologia com ID dos nós)

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: projeto de reses coletoras de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1986.

ALPEROVITS, E.; SHAMIR, U. **Design of optimal water distribution systems.** Water Resources Research, vol. 13, n. 6, p.885-900, 1977.

AN, A.; CHAN, C.; SHAN, N.; CERCONE, N.; ZIARKO, W. **Applying knowledge discovery to predict water-supply consumption.** Institute of Electrical and Eletronics Engineers – IEEE. Expert, vol. 12, n. 4, p.72-78, 1997.

BENDER, M. J.; HRANISAVLJEVIC, D.; BERNANDIN, R.; BIANCHI, R. **Dynamic operating rules for water supply reservoirs in La Paz.** Water Science and Technology, vol. 46, n. 6-7, p.247-254, 2002.

CABELGUENNE, M.; DEBAEKEO, Ph.; PUECH, J.; BOSC, N. **Real time irrigation management using the EPIC-PHASE model and weather forecasts.** Agricultural Water Management, vol. 32, p.227-238,1997.

CARRIJO, I., B.; RIGHETTO, A.,M. **Otimização de sistemas de distribuição de água com expansão.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 2, tomo 2, p.3-11,1991.

CESARIO, L. **Modeling, analysis, and design of water distribution systems.** American Water Works Association. 1995.

CESARIO, A. L.; DAVIS, J. O. **Calibrating network models.** Journal of the American Water Works Association, vol. 76, n.9, p.66-69, 1984.

COULBECK, B.; ORR, C. **Real-time optimized control of a water distribution system.** Optimizing the resources for water management. Session D1 - Water distribution, ASCE, p.248-251, 1990.

ELETROPAULO. **Tarifas e conceito de tarifas convencional e horo-sazonal.** Material divulgado pela internet – www.eletropaulo.com.br/frameset_home.cfm?conteudo_id=83. 2003.

F. SEADE. **Informações dos municípios paulistas.** Material divulgado pela internet – www.seade.gov.br/cgi-bin/lingcv98/spd_01.ksh. 2001.

GALARA, D.; HENNEBICQ, J. P. **Process control engineering teends.** Annual Reviews in Control, n. 23, p.1-11, 1999.

GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S. **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais.** Ed. Universidade / UFRGS / ABRH. 1999.

GREEN, A.; WIKE, A. **Trends in on-line monitoring and control in utility industries.** Stoner Associates. 1997.

ILICH, N.; SIMONOVIC, S. P. **Evolutionary algorithm for minimization of pumping cost.** Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, vol. 12, n. 4, p.232-240, 1998.

JAIN, A.; ORMSBEE, L., E. **Short-term water demand forecast modeling techniques – conventional methods versus AI.** Journal AWWA, American Water Works Association, vol. 94, n. 7, p.64-72, 2002.

JOO, C. N.; KOO, J. Y.; YU, M. J. **Applcation of short-term water demand prediction model to Seoul.** Water Science and Technology, vol. 46, n. 6-7, p.255-261, 2002.

LAI, P. L.; SHANG, J. C.; FYFE, C. **Power load forecasting using neural canonical correlates.** Institute of Electrical and Eletronics Engineers – IEEE. International Conference on Pattern Recognition, vol. 2, p. 455-458, 2000.

LEON, C.; MARTÍN, S; ELENA, J. M.; LUQUE, J. **EXPLORE-Hybrid system for water networks management.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 126, n. 2, p.65-74, 2000.

KESSLER, A.; SHAMIR, U. **Analysis of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks.** Water Resources Research, vol. 25, n. 7, p.1469-1480, 1989.

LERTPALANGSUNTI, N.; CHAN, C. W.; MASON, R.; TONTIWACHWUTHIKUL, P. **A toolset for construction of hybrid intelligent forecasting systems: application for water demand prediction.** Artificial Intelligence in Engineering, vol. 13, n. 1, p.21-42, 1999.

LIPPAI, I.; HEANEY, J. P.; LAGUNA, M. **Robust water system design with commercial intelligent search optimizers.** Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, vol. 13, n. 3, p.135-143, 1999.

OHTO, T. **Controls, computers and communications: fusion in instrumentation, control and automation of water and wastewater systems in Japan.** Water Science and Technology, vol. 37, n. 12, p.15-19, 1998.

OSHIMA, N.; KOSUDA, T. **Distribution reservoir control with demand prediction using deterministic-chaos method.** Water Science and Technology, vol. 37, n. 12, p.389-395, 1998.

PROTOPAPAS, A. L.; KATCHAMART, S.; PLATONOVA, A. **Weather effects on daily water use in New York city.** Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, vol. 5, n. 3, p. 332-338, 2000.

ROSSMAN, L. A. **Modeling water quality in distribution systems.** Drought management planning in water supply systems. Kluwer Academic Publishers, vol. 32, p.103-127, 1999.

SABESP. **Curva de consumo nos setores na Região Metropolitana de São Paulo.** Relatório Técnico APDA. 1999.

SABESP. **Prospecção tecnológica para modelagem do SCOA.** Relatório Técnico APDA. 1998.

SABESP. **Definição de regras operacionais para redução de custos de energia elétrica.** Relatório Técnico AAOE. 1999.

SAKARYA, A. B. A.; MAYS, L. W. **Optimal operation of water distribution pumps considering water quality.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 126, n. 4, p. 210-220, 2000.

SHAMIR, U.; HOWARD, C. D. D. **Water distribution systems analysis.** Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY 1, p. 219-234, 1968.

STARK, H. L.; STANLEY, S. J.; BUCHANAN, I. D. **Water demand forecasting using artificial neural networks.** OWWA and OWWA Joint Annual Conference. 1999.

STATSOFT. **Time Series Analysis.** Material divulgado pela internet – www.statsoft.com/textbook/sttimser.html. 2002.

USEPA. **EPANET 2.0.** Material divulgado pela internet – www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html. 2001.

WALSKI, T. M. **Technique for calibrating network models.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 109, n. 4, p. 360-372, 1983.

WALSKI, T. M.; BRILL Jr., E. D.; GESSLER, J.; GOULTER, I. C.; JEPPSON, R. M.; LANSEY, K.; LEE, H.; LIEBMAN, J. C.; MAYS, L.; MORGAN, D. R.; ORMSBEE, L. **Battle of the network models: epilogue.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 113, n. 2, p. 191-203, 1987.

WALSKI, T. M.; CHASE, D. V.; SAVIC, D. A. **Water distribution modeling.** Haestad Methods. First edition. Chapter 4. 2001.

WaterCIME. **Projeto da Comunidade Européia.** Material divulgado pela internet – www.linkroma.it/now/now_only/cards/WATERCIM.HTM. 2002

WILLIAMS, M.F.; COULBECK, B. **Dynamic modeling and control optimization in the development of the Wolverhampton water supply and distribution system.** Water Pollution Control. vol. 86, n. 2, p. 272-291, 1987.

WSS – **Water Software Systems.** De Montfort University. Material divulgado pela internet – www.eng.dmu.ac.uk/wssys/netop.htm e www.eng.dmu.ac.uk/wssys/software.htm. 2000.

ZAHED FILHO, K. **Previsão de demanda de consumo em tempo real no desenvolvimento operacional de sistemas de distribuição de água.** Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP. 135p, 1990.

ZESSLER, U.; SHAMIR, U. **Optimal operation of water distribution systems.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 115, n. 6, p.735-752, 1989.

ZHOU, S. L.; MC MAHON, T. A.; WALTON, A.; LEWIS, J. **Forecasting daily urban demand: a case study of Melbourne.** Journal of Hydrology, ASCE, vol. 236, p. 153-164, 2000.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por quaisquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

São Paulo, 02 de fevereiro de 2004.

Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges

E-mail: viviana.borges@poli.usp.br