FABRÍCIO RAMOS DA FONSECA

**MODELO PARA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
HÍDRICO**

São Paulo
2009

FABRÍCIO RAMOS DA FONSECA

**MODELO PARA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção de
título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Automação de Sistemas Elétricos de
Potência e Processos Industriais.

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Mário Dias.

São Paulo
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Fonseca Fabrício Ramos da

**Modelo para automação de sistemas de abastecimento
hídrico / F.R. da Fonseca. -- São Paulo, 2009.**

128 p.

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Auto-
mação Elétricas.**

**1.Abastecimento de água 2.Automação industrial 3.Controle
digital 4.Sistema de aquisição de dados I.Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de
Energia e Automação Elétricas II. t.**

*À minha família, pelo amor, carinho, compreensão e apoio,
desde o início desta caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Mário Dias, pelo apoio, incentivo e orientação.

À Gerência de Educação do SENAI/SP, representada pelo Prof. João Ricardo Santa Rosa.

Aos meus colegas do SENAI/SP, em especial as amigas Prof^ª. Consuelo Fernandez e Prof^ª.

Ivete Palange, pela participação ativa na elaboração deste trabalho e ao amigo Vanderlei Meireles, pelo apoio, incentivo e amizade.

À Gerência de Manutenção da Superintendência do Litoral da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, representada pelo Eng. Renato Cruz.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE UNIDADES

RESUMO

ABSTRACT

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa da pesquisa e objetivo.....	1
1.2	Estrutura do trabalho.....	4
2.	ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO.....	6
2.1	Panorama sobre os sistemas de abastecimento hídrico.....	6
2.2	A automação e a gestão dos recursos hídricos	9
2.3	Sistemas distribuídos de automação e controle	10
2.4	Sistemas geograficamente descentralizados e de arquitetura distribuída	12
2.5	Conceitos básicos envolvidos no controle de sistemas distribuídos.....	15
2.6	Conceitos básicos envolvidos na comunicação de sistemas	20
2.7	Conceitos básicos envolvidos na supervisão de sistemas distribuídos	26
3.	METODOLOGIA.....	36
3.1	Referenciais de pesquisa e estrutura do modelo	36
4.	MODELO DE AUTOMAÇÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO	41
4.1	Referenciais de descrição	41
4.2	Referenciais de análise para automação das estações remotas.....	41

4.2.1	Estações de captação.....	42
4.2.2	Estações elevatórias e <i>boosters</i> (reforços de linhas de adução)	43
4.2.3	Reservatórios	44
4.2.4	Estações remotas de telemetria.....	46
4.2.5	Postos de cloração (PC)	46
4.3	Referenciais de análise para definição do sistema de comunicação	52
4.3.1	Comunicação baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia fixa	53
4.3.2	Comunicação baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia móvel.....	55
4.3.3	Comunicação sem fio (wireless) de infra-estrutura própria	56
4.4	Referenciais de análise para definição dos dispositivos de comunicação	64
4.4.1	Placas geradoras de tons multifrequenciais (“tone”)	64
4.4.2	Modems	67
4.4.3	Servidores <i>web</i>	70
4.4.4	Modems GPRS e 1xRTT	73
4.4.5	Rádio-modems	76
4.5	Referenciais de análise para definição da arquitetura do sistema de supervisão ..	82
4.6	Referenciais de análise para definição do sistema de gestão de informações sobre abastecimento hídrico	88
4.6.1	Desenvolvimento de sistemas de informação	89
4.6.2	O Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico.....	91
4.6.3	Módulo de controle operacional	94
4.6.4	Módulo de solicitações de manutenção	96

4.6.5	Módulo de análise e solução de problemas de perdas	97
4.6.6	Módulo de dados de análises químicas	99
5.	CONCLUSÃO.....	102
5.1	Resultados e proposições	102
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de estações mais comumente utilizadas em sistemas de radiocomunicação para supervisão de sistemas de automação.....	59
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração simplificada de um sistema de abastecimento hídrico - Disponível em < http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/ >. Acesso em: 02 Jul. 2008, 23:12	6
Figura 2 – Representação gráfica de agentes típicos dos sistemas automáticos distribuídos – Fonte: Elaborada pelo autor	13
Figura 3 – Operações básicas de um sistema de controle industrial - Fonte: Elaborada pelo autor	16
Figura 4 – Estratégia de controle realimentado – Diagrama de uma aplicação típica na automação de um sistema de controle de nível de um reservatório - Fonte: Elaborada pelo autor	17
Figura 5 – Estratégia de controle híbrida - Diagrama de uma aplicação na automação de um sistema de controle de nível de um reservatório - Fonte: Elaborada pelo autor.....	19
Figura 6 – Tela de um sistema de supervisão ilustrando a presença de dispositivos de controle redundantes em um posto de cloração - Fonte: Sistema de supervisão da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Superintendência do Litoral, 2000	20
Figura 7 – Representação em diagrama de blocos dos agentes envolvidos em um sistema simplificado de comunicação de dados - Fonte: Elaborada pelo autor.....	21
Figura 8 – Diagrama de blocos ilustrando um modelo básico de um sistema de comunicação - Fonte: Elaborada pelo autor	23
Figura 9 – Fotografia do painel de automação de uma estação remota de telemetria ilustrando os componentes Fonte e Emissor do sistema de comunicação - Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Superintendência do Litoral – Reservatório 1 – Cidade: Guarujá (SP), 1999.....	24
Figura 10 – Esquema ilustrando os componentes mínimos de um sistema automatizado de abastecimento hídrico - Fonte: Elaborada pelo autor	39

Figura 11 – Simbologia de representação de estações de rádiocomunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL.....	59
Figura 12 – Exemplo da representação de uma estação de rádio comunicação fixa, nova, coletora principal da rede e de n.º 01, localizada na cidade de Brasília (DF) - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL.....	61
Figura 13 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL.....	62
Figura 14 - Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação sem localização definida - Figura 14 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL.....	62
Figura 15 - Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação com a designação das frequências no próprio desenho - Figura 14 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL	63
Figura 16 – Representação gráfica de um sistema de aquisição de variáveis por meio de placas geradoras de tons multifrequenciais - Fonte: Elaborada pelo autor	65
Figura 17 - Representação simplificada de um sistema de aquisição de dados de estações de um sistema de abastecimento hídrico por meio de servidores web - Fonte: Elaborada pelo autor	72
Figura 18 – Representação gráfica da arquitetura de um sistema de comunicação baseado nas tecnologias GPRS ou 1xRTT - Fonte: Elaborada pelo autor	75
Figura 19 - Representação gráfica de uma arquitetura envolvendo rádios de frequência fixa, de uso típico em sistemas de abastecimento hídrico - Fonte: Elaborada pelo autor.....	78
Figura 20 – Representação gráfica da arquitetura de um sistema de rádio comunicação com o uso de repetidora - Fonte: Elaborada pelo autor.....	79

Figura 21 – Representação gráfica exemplificando a expansão de uma rede de rádios de frequência fixa por meio da utilização de um enlace de rádios de espalhamento espectral - Fonte: Elaborada pelo autor	82
Figura 22 - Diagrama ilustrando diferentes tipos de estações pertencentes ao sistema de supervisão de arquitetura segmentada adotado na Superintendência do Litoral da SABESP - Fonte: Elaborada pelo autor	83
Figura 23 - Desenho ilustrando uma visão expandida das interfaces de comunicação das estações SCADA - Fonte: Elaborada pelo autor	87
Figura 24 – Planilha de compartilhamento de informações do módulo de controle operacional ilustrando a disposição das informações operacionais obtidas a partir do sistema de supervisão - Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008	96
Figura 25 – Planilha do módulo de análise e solução de problemas de perdas ilustrando a disposição das informações sobre os limites de operação dos principais pontos do sistema - Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008	98
Figura 26 – Planilha do módulo de dados de análises químicas, ilustrando a disposição das informações obtidas a partir dos dados dos analisadores de processo, em comparação com os dados obtidos por meio de análises laboratoriais- Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008.....	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1xRTT – *1 x Round Trip Time* – Tecnologia de comunicação de dados que se utiliza de múltiplos canais de rádio comunicação

3G - Terceira geração de padrões e tecnologias de telefonia móvel

AM – Amplitude modulada

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ATM – *Asynchronous Transfer Mode* - Modo de transferência assíncrono de informação

CCM – Centro de Controle de Motores

CCO – Centro de Controle Operacional

CDMA - *Code Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Código - método de acesso a canais em sistemas de comunicação. É utilizado tanto para a telefonia celular quanto para o rastreamento

CLP – Controlador Lógico Programável

DDC – *Digital Direct Control* – Controle digital direto

EEE – Estação Elevatória de Esgoto

ERP - Sistema Integrado de Gestão Empresarial

ERT – Estação Remota de Telemetria

ETA – Estação de Tratamento de Água

FM – Frequência modulada

Frame Relay – Tecnologia de comunicação usada para transmitir informação digital através de uma rede de dados, dividindo essas informações em frames (quadros) enviados a um ou muitos destinos de um ou muitos *end-points*.

FTP – *File Transfer Protocol* – Protocolo de transferência de arquivos

GPRS - *General Packet Radio Service* – Serviço geral de pacotes de informação digital por rádio comunicação (tecnologia celular).

GSM - *Global System for Mobile Communications* - Sistema Global para Comunicações Móveis

HF – *High frequency* – Frequência alta

IP – *Internet Protocol* – Protocolo de Internet

LC – Linha Comutada

LP – Linha Privativa

MODBUS - Protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial. Criado na década de 1970 pela empresa Modicon

MODEM – Acrônimo de Modulador – Demodulador

OPC – *OLE for Process Control* - Padrão industrial público para conectividade entre sistemas, cujo propósito é fornecer uma infra-estrutura padrão para o controle e troca de dados

PC – Posto de cloração

pH - Símbolo para a grandeza físico-química 'potencial hidrogeniônico'

PID – Controle proporcional, integral e derivativo

PSD - *Spectral Potency Density* – Densidade de potência espectral

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SCADA – *Supervisory Control and Data Aquisition* - Controle Supervisório e Aquisição de Dados

SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído

SMS - *Short Message Service* – Serviço de mensagens curtas disponível em telefones celulares digitais

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SQL - *Structured Query Language* - Linguagem de Consulta Estruturada

TAG – Sigla referente à codificação (que, por sua vez, faz referência ao tipo) de equipamentos ou dispositivos de campo em processos industriais

TCP – *Transfer Control Protocol* – Protocolo de controle de transferência

UHF – *Ultra high frequency* – Frequência ultra alta

VHF – *Very high frequency* – Frequência muito alta

WiMAX- *Worldwide Interoperability for Microwave Access* - Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas

XML - *eXtensible Markup Language* - acrônimo de *Standard Generalized Markup Language*, ou *Linguagem Padronizada de Marcação Genérica* - capaz de descrever diversos tipos de dados. Seu propósito principal é a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet

LISTA DE SÍMBOLOS

AIC – *Analysis Indicator Controller* - Controlador indicador de análise

AT – *Analysis Transmitter* - Transmissor de análise

AY – Relé de análise

FE – Elemento primário de medição de vazão

Fe – Vazão de entrada

FIT – *Flow Indicator Transmitter* – Transmissor Indicador de Vazão

Fs – Vazão de saída

FT – *Flow Transmitter* - Transmissor de vazão

LIC – *Level Indicator Controller* - Indicador controlador de nível

LT – *Level Transmitter* - Transmissor de nível

LV – *Level Valve* - Válvula de nível

RX – Receptor

SW – Chave

TX – Transmissor

Vcc – Tensão de corrente contínua

LISTA DE UNIDADES

BPS – Bits Por Segundo

GHz – Giga Hertz

Hz – Hertz

Kbytes – Kilo Bytes

Km – Quilômetro

mA – Mili amperes

mg/L – Miligrama por litro

MHz – Mega Hertz

RESUMO

Muitos são os motivos para a realização de pesquisas que envolvam o setor de saneamento básico no Brasil, entre estes motivos estão algumas características muito peculiares relacionadas a este setor, características que vão desde a sua concepção e a sua forma de organização até sua susceptibilidade à externalidades como influências naturais, políticas e sociais. Este trabalho oferece uma visão prática sobre a aplicação de tecnologias de automação em sistemas de saneamento e tem como objetivo expor um conjunto de soluções voltadas à automação de sistemas de abastecimento hídrico. Os sistemas automatizados caracterizam-se principalmente pela necessidade de aquisição e envio de informações de um ou mais centros de controle operacionais a estações remotas situadas nas mais diversas localizações como: centros densamente urbanizados, áreas não urbanas, locais de acesso restrito, áreas costeiras, áreas portuárias, localidades subterrâneas e localidades de topografia elevada. Esta diversidade de características demanda um conjunto de soluções de automação, supervisão e gerenciamento de informações para o controle e a gestão do sistema de abastecimento de forma integrada e eficiente. Neste trabalho são descritas algumas destas soluções, aqui denominadas referenciais de análise, com o objetivo de delinear um modelo de automação para sistemas de abastecimento hídrico que possa oferecer subsídios para o desenvolvimento destes sistemas em regiões que ainda não os possuam plenamente automatizados

Palavras chave: Sistemas SCADA, tecnologias de automação, controle distribuído, supervisão de sistemas de abastecimento hídrico.

ABSTRACT

Many are the reasons to carry out researches whom involves the sector of basic sanitation in Brazil, among these reasons are some very peculiar characteristics related to this section, characteristics that goes from its conception and organization to its susceptibility to the to external factors as natural, politics and social influences. This work offers a practical vision about the application of automation technologies in systems of sanitation and has as objective to expose a group of solutions oriented to the automation of hydric supply systems. That automated systems are characterized mainly by the necessity of acquisition and information sending of one or more operational control centers to remote stations located in the most several locations as: densely urbanized centers, non urban areas, restricted access places, coastal areas, port areas, underground places and high topography places. This diversity of characteristics demands a group of automation, supervision and administration of information solutions to the control and the administration of the supply system in an integrated and efficient way. In this work some of these solutions are described, here denominated analysis referentials, with the objective of delineating an automation model for hydric supply systems that could offer subsidies for the development of these systems in areas that still don't possess them fully automated.

Key words: SCADA systems, automation technologies, distributed control, supervision of hydric supply systems.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa da pesquisa e objetivo

Dentre os recursos naturais a água e o ar são os mais importantes por serem vitais para a humanidade. Durante anos, constituiu-se um cenário em que os recursos hídricos foram utilizados despreocupadamente, por serem percebidos como renováveis e, portanto, entendidos como infindáveis.

Com o crescimento demográfico, os agrupamentos urbanos tornaram-se cada vez mais densos e com atividades que exigiam, a cada dia, uma maior quantidade de água. Da crescente consciência sobre o caráter esgotável dos recursos hídricos infere-se a necessidade de gestão eficiente e efetiva destes bens que se já era evidente torna-se, nos dias atuais, imperativa.

Neste contexto, a automação dos procedimentos de coleta de dados sobre o uso de recursos hídricos pode contribuir significativamente para seu melhor aproveitamento, pois possibilita seu acompanhamento e controle. Além disso, a racionalização do uso desses recursos, permite também a gestão de sua distribuição e um controle de perdas mais efetivo.

Silveira (1998, p.23) descreve a automação como sendo um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Já Pereira (1995 apud SOUZA, 2006, p.28) concebe a automação como sendo “a ciência que estuda e aplica

metodologias, ferramentas e equipamentos, objetivando definir quando e como converter o controle de um processo manual para automático.”

Infelizmente, como afirmado por Trojan, Marçal, Resende e Stlader (2005, p.2), ao abordarem as condições de uso dos recursos hídricos, “a automação em saneamento ainda é pontual. Isso é reflexo da falta de recursos das companhias de saneamento, majoritariamente estatais [...]”. Associado a essa carência de recursos, outro entrave enfrentado para a adoção da automação nesse segmento incide sobre o aspecto geográfico, que impõe sérios limites ao uso de meios de comunicação, como recursos de obtenção de dados sobre o funcionamento do sistema de abastecimento hídrico. Geralmente as unidades de monitoração e controle remotos que compõem o sistema estão instaladas em locais que não possuem infra-estrutura de telecomunicação ou energia elétrica, levando ao aproveitamento de estruturas alternativas como postes e torres improvisadas.

A influência da prestação de um bom serviço de saneamento básico¹ tem impacto direto na área da saúde e do meio ambiente, e, é claro, sobre o desenvolvimento e crescimento econômico do país.

Dentro do conjunto de condições urbanas essenciais para a preservação da saúde pública que constitui o termo saneamento básico, que envolve também o condicionamento e destinação do esgoto e o controle da poluição ambiental, as ações de abastecimento hídrico constituem uma vertente de estudo específica.

¹ Saneamento básico é aqui entendido como conjunto de condições urbanas essenciais para a preservação da saúde pública e conexas com águas, esgotos, poluição e afins.

O SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - (2002) aponta que, no Brasil, de 5.561 municípios amostrados, apenas 75,3% são servidos por sistemas de abastecimento de água. A prestação dos serviços de saneamento está centralizada em 25 concessionárias estaduais e sociedades de economia mista, o restante dos municípios é atendido por empresas municipais autônomas. Cerca de 94,3% da população é atendida pelo abastecimento de água. A taxa de crescimento de novas ligações de água e de esgotos em 2002 foi de 8,4% e 15,9%, respectivamente. O consumo per capita de água no país varia entre 67 e 192 litros/habitante/dia.

Os sistemas de abastecimento de água têm por objetivo a prestação de um serviço público fundamental para a saúde e o bem estar das populações, que consiste em satisfazer as necessidades das comunidades em termos de fornecimento de água. No entanto, **o setor de saneamento no Brasil, durante muitos anos, teve uma baixa taxa de investimentos devido a problemas macroeconômicos que implicaram decisões de políticas governamentais que pouco privilegiaram este serviço.**

Por esta razão, **hoje, esse setor sofre as conseqüências desse baixo investimento, o que se reflete no pequeno desenvolvimento tecnológico dos sistemas de automação, cujo papel é fundamental na gestão dos recursos hídricos.**

Nesse contexto de carência de investimentos é de suma importância a propagação de conhecimentos tecnológicos e de boas práticas na gestão dos recursos hídricos, como as definidas por Baptista (1998, p.8), que podem ser resumidas na disponibilidade, por parte da empresa de abastecimento hídrico, de: recursos humanos, tecnológicos e financeiros

suficientes e infra-estrutura de captação, elevação, tratamento, adução, armazenamento e distribuição de qualidade.

Visando a análise de tecnologias para o controle, a supervisão e o gerenciamento dos sistemas de abastecimento hídrico e a sua difusão, optou-se por um estudo de caso, realizado nas dependências da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). **Por meio deste estudo pretende-se apresentar desde um conjunto de soluções simples de automação de sistemas de abastecimento hídrico que demandam pouco investimento, até soluções mais elaboradas para utilização em sistemas de maior porte, cuja necessidade de investimento é maior.**

Objetiva-se com a descrição dessas soluções, aqui denominadas referenciais de análise², estabelecer um modelo de automação para sistemas de abastecimento hídrico tendo em vista fornecer subsídios para sua implantação em regiões em que os sistemas não foram, ainda, objeto de automatização.

1.2 Estrutura do trabalho

Com vistas a delinear um modelo de automação para sistemas de abastecimento hídrico, o trabalho está estruturado em torno dos aspectos indicados a seguir:

² Neste trabalho, o termo “referenciais de análise” é utilizado como equivalente ao descritivo dos métodos e das técnicas empregadas nas soluções de automação para os sistemas aqui apresentados.

Primeiramente, estabelece-se a conceituação básica, por meio da descrição dos sistemas de abastecimento hídrico e da estrutura que constitui estes sistemas. Esta conceituação é seguida pela descrição básica do que são sistemas automatizados, em especial os de arquitetura distribuída, que constituem o enfoque principal neste trabalho.

A partir da base conceitual, descreve-se a arquitetura e as estratégias de controle e de comunicação envolvidas na automação dos sistemas de abastecimento hídrico, para que seja estabelecida uma fundamentação para descrição de modelos práticos para a automação destes sistemas, que constitui o mote deste trabalho.

Estabelecidas as bases conceituais, define-se a metodologia de obtenção, análise e interpretação dos dados que subsidiaram a descrição do modelo de automação apresentado.

A descrição deste modelo é segmentada em referenciais de análise. Estes referenciais são elencados de forma hierárquica dentro do sistema de automação, partindo da descrição dos referenciais para automação das estações remotas - componentes do sistema de abastecimento como, por exemplo: captações, reservatórios ou postos de cloração, monitorados ou supervisionados a distância - até os referenciais para definição do sistema de gestão de informações de abastecimento hídrico.

Por conseguinte, estabelecem-se as conclusões e a avaliação da adoção do modelo descrito, pela companhia cujo caso subsidiou esta pesquisa.

2. ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO

2.1 Panorama sobre os sistemas de abastecimento hídrico

A infra-estrutura de um sistema abastecimento hídrico é composta por diversas estações, desde a origem da água – que constitui a estação de captação - até o local de monitoração do macro-consumo. São elas, na totalidade dos casos, as estações de captação, de elevação, de tratamento, de adução hídrica, de armazenamento e de distribuição pública. Um modelo simplificado desta infra-estrutura pode ser visto na Fig. 1:

Figura 1 – Ilustração simplificada de um sistema de abastecimento hídrico - Disponível em < <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/> >. Acesso em: 02 Jul. 2008, 23:12

O sistema de captação tem por função recolher, em qualquer meio hídrico superficial ou subterrâneo, água em quantidade suficiente e com características físicas, químicas e bacteriológicas minimamente aceitáveis em função da legislação vigente.

O sistema de elevação tem por função transmitir energia à água, de modo a que ela passe não só a circular a uma pressão conveniente, como também a ter a possibilidade de vencer desníveis topográficos e a garantir as pressões necessárias nos pontos de consumo.

O sistema de tratamento tem por função conferir à água características físicas, químicas e bacteriológicas compatíveis com as exigências da legislação atual.

O sistema de adução tem por função transportar a água para as zonas de consumo, por vezes muito afastadas do local de captação.

O sistema de armazenamento tem por função acumular a água por períodos variáveis e em locais especialmente destinados a isso, seja para regularização dos mananciais, seja para garantir reservas de incêndio e de avaria.

O sistema de distribuição pública tem por função fazer a distribuição na zona a abastecer, garantindo que diversos pontos de consumo recebam a água com pressões convenientes.

O ciclo de vida dos sistemas de abastecimento de água é composto por diversas fases, algumas das quais constituem aquilo que pode ser designado por vida útil do sistema. Nesse sentido, o início do ciclo de vida corresponde ao planeamento do sistema, fase em que ele é

imaginado em termos gerais, tendo em conta o contexto físico em que ele irá se inserir e os objetivos que se pretende alcançar.

Após o planejamento, segue-se a fase de elaboração do projeto, em que se detalha e especifica o sistema idealizado. Ela é constituída por diversas etapas, compreendendo, de acordo com a legislação atual, o programa preliminar, o programa base, o estudo prévio, o anteprojeto e o projeto de execução. Aprovado o projeto, efetiva-se então a construção do sistema, a que se segue a sua exploração, compreendendo sua operação e manutenção, permitindo colocá-lo ao serviço dos consumidores, e com uma duração prevista tão longa quanto possível, da ordem das muitas décadas.

Se não houver nenhuma intervenção, o envelhecimento natural e inevitável do sistema e/ou eventualmente o envelhecimento acelerado resultante de planejamento, projeto, construção ou exploração inadequados tenderá gradualmente a dificultar e mesmo a impossibilitar o cumprimento dos seus objetivos de uma forma técnico-economicamente aceitável, conduzindo ao fim do ciclo de vida do sistema.

É, no entanto, possível recorrer à reabilitação de toda a infra-estrutura, com o objetivo de melhorar o seu desempenho por meio da alteração da sua condição física e/ou da sua especificação técnica. Essa fase corresponde, na prática, ao retorno às fases de projeto e construção do sistema, permitindo mantê-lo em exploração por um período de tempo significativamente maior. Este processo envolve a constante atualização tecnológica dos sistemas de automação e considerações sobre modificações nas tecnologias utilizadas na gestão dos cada vez mais preciosos recursos hídricos.

2.2 A automação e a gestão dos recursos hídricos

Como exposto por Carmo e Távora (2003), as empresas de saneamento têm, cada vez mais, necessidade de melhorar seus resultados operacionais devido às novas exigências impostas pela sociedade civil e governamental. Neste contexto, a automação surge como uma ferramenta poderosa na melhoria da gestão do saneamento pois, além de aumentar a qualidade do processo, possibilita a coleta sistemática, integrada e hierarquizada dos dados necessários.

Nesses termos, a automação dos sistemas de abastecimento hídrico consiste, basicamente, em coletar, concentrar e analisar as informações do processo com o uso da tecnologia de informação. Baseados nos resultados obtidos, os sistemas de automação agem de forma autônoma monitorada sobre os estados e as grandezas do processo para obtenção dos resultados desejados.

Mário Filho (2001) explica que o conceito de automação em sistemas de abastecimento de água assemelha-se muito ao que acontece no setor elétrico. Da mesma forma que esse segmento pode ser dividido em geração, transmissão e distribuição de energia, o setor de saneamento envolve o tratamento da água, o transporte para os reservatórios e a distribuição aos consumidores.

Sistemas de automação destinados à supervisão de redes de abastecimento hídrico caracterizam-se pela necessidade de obtenção e envio de informações entre um ou mais

centros de controle operacionais (CCOs) a estações remotas situadas nos mais diversos contextos físicos como, por exemplo, urbanos, rurais, espaços de acesso restrito, zonas costeiras e portuárias, espaços subterrâneos ou de topografia elevada

As tecnologias utilizadas nos sistemas de automação destinados à supervisão de redes de abastecimento hídrico adéquam-se à diversidade de contexto das localidades a que elas devem atender. Toda esta diversidade de tecnologias encontra em sistemas distribuídos de automação e controle, definidos por Coelho e Lobue (2006, p.48) como “[...] sistemas de arquitetura computacional autônoma, independente e hierarquicamente integrada.”, como os de Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA), a possibilidade de ser integrada em uma única arquitetura de sistema, caracterizada principalmente pela sua abertura e ampla capacidade de expansão.

A integração das informações de processo constitui, segundo Cerri (2004), a base para o estabelecimento de um Sistema Integrado de Gestão Empresarial (ERP) que possibilite o gerenciamento e a disponibilização racional da grande quantidade de dados envolvidos na supervisão dos sistemas de abastecimento hídrico.

2.3 Sistemas distribuídos de automação e controle

Segundo Pereira (1995 apud SOUZA, 2006, p.28), “A automação [...] possibilita a coleta metodológica e precisa de dados que podem ser empregados para se obter a otimização do

processo”. Nesse sentido, os sistemas de automação possibilitam, portanto, a redução do custo de todo o sistema produtivo, com o conseqüente aumento dos lucros e a diminuição de perdas.

Paralelamente aos pontos positivos da automação de sistemas, a automação industrial implica também elevados investimentos iniciais e custos de manutenção mais altos, pois depende de mão-de-obra altamente qualificada. Em geral, esses inconvenientes são compensados pela garantia de qualidade da produção que, dessa forma, torna-se mais homogênea, monitorada pelo estabelecimento de padrões mais rígidos a serem atingidos.

De acordo com Coelho e Lobue (2006, p.12), “[...] o desenvolvimento do controle industrial tem sido fortemente influenciado pela tecnologia dos dispositivos microprocessados, que possibilitaram tornar o controle dos processos industriais totalmente distribuído”. Mesmo antes da revolução da eletrônica, o controle automático de processos contínuos já era orientado a um modelo de arquitetura distribuída. Esta arquitetura, no entanto, não era integrada; como resultado disso, os componentes do sistema de automação funcionavam de forma desorganizada por meio de um conjunto de malhas de controle independentes.

As primeiras aplicações do computador no controle de processos foram forçosamente centralizadas devido ao alto custo desse equipamento na época. A tendência encontrada atualmente é a da integração de todo ou grande parte do sistema, permitindo um controle hierarquizado por meio da introdução do conceito de níveis de acesso, que implica modos diferenciados de acesso para operadores de sistemas, engenheiros de processo e engenheiros de desenvolvimento, cada qual com privilégios diferenciados no sistema de controle, caracterizados por meio de senhas ou identificação biométrica.

2.4 Sistemas geograficamente descentralizados e de arquitetura distribuída

Algumas abordagens de arquiteturas distribuídas são descritas na literatura científica em várias áreas de aplicação. Dentre os modelos de sistemas de automação e controle que fazem uso dessa arquitetura destacam-se mais fortemente os baseados em Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCDs) ou nos SCADA. O primeiro modelo vem ao encontro de sistemas de controle concentrados geograficamente como os encontrados em plantas industriais de produção. Já o segundo vem ao encontro de sistemas que possuem suas unidades geograficamente descentralizadas, ou seja, distribuídas em bairros ou cidades como é o caso dos sistemas de abastecimento hídrico.

A maioria das aplicações SCADA usa a tecnologia de agentes que, como proposto por Ebata (2000), fazem uso de intranets, definidas no dicionário eletrônico Houaiss como “redes locais de computadores, circunscritas aos limites internos de uma instituição, nas quais são utilizados os mesmos programas e protocolos de comunicação empregados na Internet”, que são utilizadas como plataformas de comunicação para estes sistemas. Sua argumentação principal baseia-se no desempenho e na confiabilidade em tempo real, os quais constituem fatores para a solução de alguns problemas.

Essas soluções vão ao encontro de uma arquitetura genérica que aplica a metodologia de sistemas multiagentes na automação de sistemas distribuídos. Nesta metodologia os agentes têm a função de prover maior autonomia para cada parte constituinte do sistema de controle.

Nessa arquitetura, os agentes são designados para diferentes funções, tais como monitorar e controlar o sistema de abastecimento hídrico, ler dispositivos, armazenar dados e prover interface gráfica. Um exemplo de agentes típicos dos sistemas automáticos distribuídos pode ser visto na Fig. 2:

Figura 2 – Representação gráfica de agentes típicos dos sistemas automáticos distribuídos – Fonte: Elaborada pelo autor

Os agentes têm que ser identificados, por endereços ou TAGs digitais (sigla referente à codificação de equipamentos ou dispositivos de campo em processos industriais), de maneira inequívoca no ambiente em que operam. Isso possibilita que o controle, a comunicação e a cooperação entre eles ocorra. Um agente pode ser acessado onde quer que esteja, possibilitando a implementação de um mecanismo seguro quanto a falhas.

A motivação para a operação cooperativa autônoma tem sua sustentação na necessidade de executar missões críticas com restrições de tempo, recursos e disponibilidade que, muitas vezes, estão além da capacidade de um único agente. No caso dos agentes estarem

geograficamente descentralizados ou distribuídos, a operação cooperativa é uma abordagem adequada, fornecendo suporte a:

- compartilhamento de informações;
- compartilhamento de recursos;
- alocação eficiente de recursos;
- respostas orientadas a contexto e situação;
- robustez e flexibilidade sob mudanças de condições;
- redundância.

Uma característica chave da arquitetura proposta é a de que todos os agentes são idênticos em relação a como são percebidos por outros agentes, ao processamento de informação, à tomada de decisão e à capacidade de comunicação, independentemente de sua função. Dessa forma, um agente pode ser facilmente substituído no caso de falha.

Uma arquitetura para automação distribuída, de acordo com o modelo apresentado, exige o estabelecimento de um arcabouço tecnológico que abranja desde tecnologias direcionadas à comunicação entre computadores até aquelas direcionadas a sofisticadas técnicas de controle.

2.5 Conceitos básicos envolvidos no controle de sistemas distribuídos

De acordo com a definição do dicionário eletrônico Houaiss, um processo é uma “seqüência contínua de fatos ou operações que apresentam certa unidade ou que se reproduzem com certa regularidade”.

Atualmente estima-se que a vasta maioria dos sistemas de controle de processos contínuos implementa uma estratégia tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativa) para controle de suas malhas. Esta larga utilização se deve ao fato de que o controle baseado no algoritmo PID conduz a soluções bastante satisfatórias a maioria dos sistemas, incluindo os de abastecimento hídrico.

Quatro importantes operações básicas devem estar presentes em todos os sistemas de controle:

- **Medição:** a medida da variável controlada e/ou de distúrbio é usualmente feita por combinação de sensores e transmissores.
- **Comparação:** operação que compara o valor da variável controlada e/ou de distúrbio com um valor específico, que deve orientar a tomada de decisão do sistema de controle.
- **Computação:** operação baseada na medição e na comparação que possibilita ao controlador decidir o que fazer para manter a variável em um valor desejado.

- **Correção:** resultado da decisão do controlador, o sistema é submetido a uma ação. É normalmente executada pelo elemento final de controle.

Estas operações são ilustradas no diagrama de fluxo da Fig. 3 que representa um processo industrial:

Figura 3 – Operações básicas de um sistema de controle industrial - Fonte: Elaborada pelo autor

A Fig. 3 ilustra como a partir da medição da variável de saída do processo (ou variável controlada), é possível efetuar a correção da variável de entrada (ou manipulada), em função de um valor previamente determinado.

Define-se, portanto, como o principal objetivo do controle de processos utilizar a variável manipulada (variável alterada por meio do elemento final de controle) para manter a variável controlada em um valor desejável, valor este também denominado de *setpoint*. Este procedimento deve ocorrer de forma independente às perturbações externas.

Quanto à estratégia de controle, os sistemas de controle automático podem ser classificados em dois tipos:

- **Controle realimentado (*Feedback*):** o valor da variável controlada é medido e comparado com um *setpoint*, sendo a diferença (erro) usada para ajustar a variável manipulada. A desvantagem desta estratégia de controle é o fato da resposta ocorrer após haver desvios na variável controlada. Na Fig. 4 é ilustrada uma aplicação típica desta estratégia de controle na automação de um sistema de controle de nível de um reservatório.

Figura 4 – Estratégia de controle realimentado – Diagrama de uma aplicação típica na automação de um sistema de controle de nível de um reservatório - Fonte: Elaborada pelo autor

- **Controle antecipatório (*Feedforward*):** por meio de medições das variações de carga, modifica-se a variável manipulada de forma a compensar uma alteração antes que ela ocorra. A desvantagem deste método está no fato de não haver medição da variável controlada, que tem a sua estabilidade muito vulnerável, uma vez que tal estabilidade depende apenas da precisão da relação entre as variáveis de carga medidas e da alteração na variável manipulada.

Considerando-se estas duas estratégias, pode-se concluir que o controle realimentado, quando devidamente sintonizado, pode ser empregado, sem prejuízo ao sistema de abastecimento hídrico, em sistemas de capacitância considerável, onde oscilações da variável controlada por um curto período são toleráveis. Exemplos desses sistemas são os de controle de nível de grandes reservatórios e também os de dosagem de produtos químicos em linhas de abastecimento hídrico onde a vazão de adução deságua em um reservatório antes de ser distribuída para consumo.

Os sistemas de pequena capacitância, em contrapartida, demandam uma estratégia de controle que previna o afastamento da variável controlada de seu valor desejável, antecipando distúrbios e compensando modificações do processo de forma a atuar na correção antes que oscilações na variável principal ocorram. Para tanto, adota-se uma estratégia híbrida de controle, onde variáveis de distúrbio são utilizadas para antecipar uma correção.

Este tipo de estratégia, ilustrada na Fig. 5, caracteriza-se por ser um híbrida entre o controle realimentado e o antecipatório e tem seu uso, por exemplo, em sistemas de dosagem de produtos químicos em marcha, em que a vazão de adução vai diretamente para consumo após a dosagem de produtos como cloro e flúor.

Figura 5 – Estratégia de controle híbrida - Diagrama de uma aplicação na automação de um sistema de controle de nível de um reservatório - Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se descrever um algoritmo PID e as estratégias que ele possibilita independentemente do dispositivo que o executa. Um sistema supervisório moderno é capaz de comandar dezenas de malhas de controle que são implementadas em um nível inferior de controle, por meio dos agentes de controle definidos por Controladores Lógico Programáveis (CLPs) e controladores industriais do tipo *single loop* (capazes de controlar uma única malha de controle) e *multi loop* (capazes de controlar mais de uma malha de controle).

Os parâmetros de configuração do algoritmo PID são enviados para a memória do controlador de campo (nível inferior de controle) por meio dos agentes de comunicação do sistema. O operador pode, então, realizar a sintonia da malha durante a sua partida ou durante a parada de subsistemas, guiado por uma tela de tendência que mostra os valores das variáveis.

Importante ressaltar a necessidade de redundância dos dispositivos de controle presentes nas estações remotas dos sistemas de abastecimento hídrico. Tais dispositivos, exemplificados

na Fig. 6, devem possibilitar a troca automática ou o acionamento manual dos elementos finais de controle de forma a estabelecer condições mínimas de controle enquanto a falha no sistema automático principal é sanada. Paralelos a esta contramedida, benefícios inerentes ao sistema de multiagentes como a cooperação entre agentes e comunicação imediata da falha, complementam o sistema de contenção da arquitetura de controle distribuída.

Figura 6 – Tela de um sistema de supervisão ilustrando a presença de dispositivos de controle redundantes em um posto de cloração - Fonte: Sistema de supervisão da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Superintendência do Litoral, 2000

2.6 Conceitos básicos envolvidos na comunicação de sistemas

Desde 1838, quando Samuel F. B. Morse transmitiu, pela primeira vez, uma mensagem telegráfica através de uma linha de cerca de 15 Km, os sistemas elétricos para comunicação estão sendo mais e mais utilizados para permitir a transferência de informação entre homens e máquinas.

A comunicação por meio do telefone, rádio e televisão é considerada corriqueira no dia a dia. Da mesma forma, estão se tornando cada vez mais comuns as ligações entre computadores situados em locais distantes. Dentre as formas de comunicação elétrica, uma das classes que mais se desenvolveu nos últimos anos e que continua crescendo rapidamente é justamente a da área de comunicação de dados.

Em um primeiro momento, a maneira mais simples de representar um sistema de comunicação de dados seria considerar apenas uma fonte e um destino, como representado na Fig. 7:

Figura 7 – Representação em diagrama de blocos dos agentes envolvidos em um sistema simplificado de comunicação de dados - Fonte: Elaborada pelo autor

A fonte é o ente que produz a informação. Para tanto, ela dispõe de elementos simples e símbolos. O elemento é o componente mais simples que entra na composição representativa da informação, letras como A, B, C, ou dígitos como 0 e 1. Por exemplo, na máquina de escrever, os elementos são letras, dígitos e caracteres especiais, situados nas teclas.

O símbolo é um conjunto ordenado de elementos. Por exemplo, dispondo-se dos elementos A, B e C, podem-se compor os símbolos AA, AB, BB, ou ainda símbolos como AAA, BBA, BBB, ... ou, dispondo dos elementos 0 e 1, podem-se compor os símbolos 1, 0, 10, 11, ... , 1000, ... ou ainda, dispondo-se dos elementos 0, 1, 2, ... , 9, v, + e -, podem-se compor os símbolos +5v, -3v, 0v, etc.

Os símbolos são utilizados para representar configurações de um sinal. Como os símbolos podem ser formados por um único elemento, o elemento também pode constituir uma representação de um sinal. Pode-se pensar em um sinal, de forma intuitiva, conforme os seguintes exemplos: "letra do alfabeto", "dígito binário", "fonema da pronúncia", "voltagem", "corrente elétrica", etc.

Para cada um destes exemplos pode-se imaginar diferentes configurações para a composição representativa da informação. Dentro dos sistemas de abastecimento hídrico, tais mensagens constituem informações relacionadas a vazões de adutoras, níveis de reservatórios, concentração de elementos químicos e características químicas da água, entre outras. Estas mensagens são construídas a partir de um conjunto ordenado de símbolos em que a fonte, seja ela uma estação remota ou o sistema de supervisão, seleciona para compor uma informação.

Todos os sistemas de comunicação, independente da natureza da informação transmitida ou dos sinais utilizados, podem ser analisados segundo o modelo da Fig. 8:

Figura 8 – Diagrama de blocos ilustrando um modelo básico de um sistema de comunicação - Fonte: Elaborada pelo autor

Neste modelo podem-se identificar os seguintes componentes:

- **A fonte** que, geralmente, não dispõe de potência suficiente para cobrir as perdas da propagação do sinal. Esta potência é suprida pelo emissor. Nos sistemas de controle de redes abastecimento hídrico, este componente pode ser representado, por exemplo, por um CLP instalado em uma estação remota, exemplificado na Fig. 9.

Figura 9 – Fotografia do painel de automação de uma estação remota de telemetria ilustrando os componentes Fonte e Emissor do sistema de comunicação - Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Superintendência do Litoral – Reservatório 1 – Cidade: Guarujá (SP), 1999

- **O emissor** é o ente que, acionado pela fonte, entrega um sinal de energia adequado à transmissão pelo canal. Nos sistemas de controle de redes abastecimento hídrico este componente pode ser representado, por exemplo, por um modem, como exemplificado na Fig. 9, por um rádio-modem ou por um roteador.

- **O canal (meio)** é o ente que propaga a energia entregue pelo emissor até o receptor, permitindo que o sinal seja transmitido, geralmente cobrindo distâncias razoavelmente grandes. Nos sistemas de controle de redes de abastecimento hídrico este componente pode ser representado, por exemplo, por linhas telefônicas, linhas digitais de transmissão ou por canais de frequência.

- **O receptor** é o ente que retira a energia do meio e recupera os símbolos, de forma tão precisa quanto possível, de modo a reproduzir a mensagem a ser entregue ao destino. Nos sistemas de controle de redes de abastecimento hídrico este componente pode ser representado, por exemplo, pelos dispositivos de comunicação presentes no CCO ou em outras estações remotas.
- **O destino** é para onde se dirige a informação. Nos sistemas de controle de redes de abastecimento hídrico este componente pode ser representado, por exemplo, pelo sistema de supervisão ou por dispositivos de controle presentes em outras estações remotas.

Deste modo, o emissor e o receptor desempenham funções inversas e complementares com relação ao meio que os interliga. Existe um fluxo de sinal entre o emissor e o receptor e este sinal contém os símbolos portadores da informação. Em condições ideais, o sistema deveria se comportar de modo que a mensagem produzida pela fonte conseguisse ser fielmente recuperada pelo receptor. Na prática, isto não ocorre: no processo de transmissão, limitações físicas e outros fatores alteram as características do sinal que se propaga, produzindo o que se chama distorção.

Além disso, no canal, aparecem sinais espúrios de natureza aleatória, que se somam ao sinal, produzindo ruído. Este efeito é representado esquematicamente pela adição de um bloco, correspondendo a uma fonte externa geradora de ruído, simbolizando todos os ruídos presentes no canal, como mostrado na Fig. 9.

Um dos maiores problemas observados nos sistemas de comunicação envolvendo dispositivos de automação consiste em manter tanto a distorção como o ruído em níveis aceitáveis, de modo que, na recepção, a mensagem possa ser recuperada e a informação correta entregue no seu destino.

2.7 Conceitos básicos envolvidos na supervisão de sistemas distribuídos

Os benefícios de uma arquitetura distribuída baseada em multiagentes, como a proposta por Ebata (2000), não podem ser aproveitados sem uma integração adequada de todo o sistema. Tal integração ocorre por meio do núcleo do sistema SCADA, o denominado sistema de supervisão ou supervisório.

Os sistemas de supervisão de processos industriais coletam dados do processo por meio de estações remotas e formatam estes dados e os apresentam ao operador em uma multiplicidade de formas. O objetivo principal dos sistemas de supervisão é o de propiciar uma interface de alto nível ao operador, informando-o "em tempo real" sobre todos os eventos de importância do sistema.

Os sistemas de supervisão oferecem, no mínimo, três funções básicas:

- **Funções de monitoramento:** incluem todas as funções de visualização do processo como: sinóticos animados, gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impressos, etc.

- **Funções de operação:** incluem ligar e desligar dispositivos, parametrização e operação de malhas PID, mudança do modo de operação de equipamentos, etc.
- **Funções de controle:** executadas por meio do tipo de controle DDC (*Digital Direct Control*) ou Controle Digital Direto, inerente aos sistemas de supervisão que, por meio de uma linguagem que permite definir diretamente ações sem depender de um nível intermediário de controle localizado em estações remotas inteligentes, atua diretamente no processo. Todas as operações de entrada e saída são executadas diretamente através de cartões que são comandados pelo sistema de supervisão. Os dados são amostrados, um algoritmo de controle é executado internamente ao computador e o sinal de saída é aplicado ao processo.

A escolha este tipo de controle deve considerar a velocidade de comunicação disponível entre os agentes, que, por meio deste tipo de estratégia, pode tornar o controle contínuo de malhas proibitivo na maioria dos sistemas de supervisão de redes de abastecimento hídrico baseados em arquiteturas distribuídas.

O tipo de controle digital direto é aplicável em sistemas de acionamento remoto orientados a processos descontínuos. Tal tipo de controle, em geral, demanda um determinismo que tolera, em até alguns segundos, a atuação nos dispositivos.

Deve-se, no entanto, considerar que intervenções no sistema de supervisão tendem a desligar, ainda que momentaneamente, os algoritmos de controle que funcionam em sua base de dados. A concentração de muitas malhas de controle em um sistema central

vem de encontro à proposta estabelecida pela arquitetura de controle de sistemas distribuídos, que é a de autonomia de funcionamento em caso de falha de um ou mais agentes do sistema de controle.

Os sistemas de supervisão gerenciam um determinado número de objetos, também denominados TAGs, que espelham o comportamento das variáveis de processo monitoradas e comandadas, além de variáveis auxiliares internas ao sistema de supervisão.

O número de objetos gerenciados varia de acordo com o porte do sistema, porém existe um consenso com relação à necessidade de otimização do gerenciamento desses objetos. Se o número de variáveis supervisionadas e de operações executadas pelo sistema de supervisão for muito grande, a velocidade de processamento e o tempo de varredura podem vir a comprometer a supervisão das estações remotas. Deve-se, portanto, em prol da operabilidade e da rápida intervenção em caso de emergências, definir prioridades de leitura e atuação dos TAGs do sistema. Para tanto, os sistemas de supervisão dispõem de opções em que se pode estabelecer, para cada TAG, índices de prioridade que serão levados em conta em caso de utilização em demasia da capacidade de processamento do sistema. Em geral, os níveis mais altos de prioridade são estabelecidos para TAGs críticos de alarme como detecção de vazamento de produtos químicos, níveis de extravasão de reservatórios, pressões muito altas ou muito baixas de adutoras.

A atividade de configuração de um supervisório compreende resumidamente duas etapas:

- Definir cada variável de processo na base de dados.

- Definir telas gráficas.

A definição da base de dados é criada no modo de desenvolvimento, módulo do software de supervisão que permite ao desenvolvedor a configuração dos TAGs.

Os TAGs, como descrito anteriormente, espelham o comportamento das variáveis de processo monitoradas e comandadas, numéricas ou alfanuméricas, envolvidas na aplicação: podem ser utilizados em funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou strings - sequência ordenada de caracteres ou símbolos escolhidos a partir de um conjunto pré-determinado) e podem também representar pontos de entrada/saída (sensores/atuadores) de dados do processo que está sendo controlado, etc. Neste caso, os TAGs correspondem às variáveis do processo real como por exemplo: nível de um reservatório, vazão de uma adutora, pH da água, etc, comportando-se como a ligação entre o software supervisor e o sistema e controle.

Os sistemas de controle aplicados à supervisão de redes de abastecimento hídrico podem facilmente alcançar a casa dos milhares de TAGs, devendo-se, portanto, adotar uma metodologia de codificação destes TAGs para configuração deles no sistema, de forma que se possa separá-los por área de operação ou por estação remota. Este método facilita a localização dos TAGs na base de dados do sistema. Por exemplo: GJ_ZONA2_LIT_R1. Convencionalmente esta nomenclatura faz referência a um transmissor indicador de nível (LIT) localizado no reservatório 1 (R1) da zona 2 (que pode estar relacionada a um bairro ou região) do município do Guarujá (GJ).

A configuração dos TAGs do sistema envolve também o estabelecimento das faixas dos dispositivos aos quais eles espelham (no caso dos TAGs de campo) e também dos níveis de

alarme relacionados ao sinal enviado por cada dispositivo ou ponto de campo. Cabe aqui a adoção de um critério que leve em conta o número elevado de sinais envolvidos em um sistema de abastecimento hídrico urbano. Como há milhares de pontos monitorados e comandados, devem ser configurados para geração de alarmes, apenas aqueles pontos cujo comportamento excepcional deva, de fato, ser digno de atenção por parte do operador de sistemas. A configuração de níveis de alarme para a maioria dos pontos gera históricos de alarmes muito extensos, muitas vezes impossíveis de serem acompanhados em tempo real.

A definição das telas gráficas ocorre por meio do módulo de desenvolvimento de sinóticos, que são telas do processo que permitem a visualização sintética do funcionamento de uma planta industrial. Estas telas gráficas fornecem uma representação geral do sistema em substituição aos painéis sinóticos tradicionais. Cada sinótico representa uma área do sistema de abastecimento hídrico em um certo nível de detalhe. Para se obter uma visão mais detalhada de uma determinada área pode-se recorrer a um novo sinótico, a um sinótico de hierarquia inferior (sub-sinótico), ou a uma visão de uma outra camada do mesmo sinótico (sistema *multilayer*).

Para alguns tipos de processo, recomenda-se o uso de um sinótico tipo plano infinito que traz a representação global de um sistema distribuído geograficamente, tal como uma rede de adutoras, um sistema de controle de tráfego de uma cidade, um sistema de controle de subestações de energia, etc. Esta técnica é denominada *full-graphics* e requer um poder computacional relativamente elevado.

No módulo de desenvolvimento gráfico, o desenho é formado livremente pela combinação de entidades geométricas fundamentais como retas, retângulos, elipses e círculos, textos e figuras “bitmapeadas” e “vetoradas”, arcos, etc.

Os símbolos definidos são armazenados numa biblioteca. Se a representação armazenada corresponde à descrição das entidades geométricas temos uma biblioteca orientada à geometria. Se o símbolo armazenado corresponde a uma configuração fixa de bits (mapa de bits), temos um editor “bitmapeado”.

Sinóticos com estrutura geométrica de dados (modelados) são mais flexíveis para modificações futuras e parecem ser uma tendência dentre os sistemas SCADA atuais. Sinóticos “bitmapeados” permitem definir um maior nível de detalhe para cada símbolo.

Os sinóticos são formados por elementos estáticos e dinâmicos; estes últimos, geralmente associados a TAGs, constituem animações como barras gráficas (ideais para demonstrar níveis de reservatórios), mudanças de cor (utilizados para indicar mudanças de status de dispositivos discretos como válvulas *ON-OFF*), deslocamento de objetos pela tela e links textuais/numéricos.

Existem ainda elementos de tendência que, uma vez associados a um ou mais TAGs, permitem a visualização do gráfico de comportamento das variáveis de campo ou internas associadas a estes TAGs.

Todos os elementos configurados nas telas gráficas podem oferecer, além da capacidade de monitoramento das variáveis, a capacidade de atuação nos elementos de campo por meio do mouse e do teclado de um computador.

Dentro de uma proposta de metodologia para elaboração de interfaces gráficas para sistemas de controle complexos, como os de abastecimento hídrico, há de se considerar os seguintes fatores:

- O número elevado de variáveis e, conseqüentemente, de telas de sistema deve conduzir o desenvolvedor a representações gráficas do tipo plano infinito, partindo de um mapa geral do sistema focalizando, a cada clique, uma determinada região do mapa, em um plano mais detalhado da região desejada.
- A padronização das telas deve considerar a usabilidade intuitiva do sistema. Para tanto, é imprescindível que a equipe de operação participe do desenvolvimento das telas do sistema de abastecimento hídrico, pois os operadores são os usuários ativos deste sistema.
- A padronização da nomenclatura dos dispositivos e de seus status deve obedecer a codificações normalizadas, de forma que uma representação por meio do sinótico seja a mesma encontrada no campo pela equipe de operação ou manutenção local.
- O sistema de alarmes deve ser idealizado a partir de um conceito de hierarquia, de forma que os mais críticos possam ser visualizados mesmo que o operador esteja em

outra tela do sistema. O deslocamento imediato para a tela que apresenta o alarme deve ser viabilizado por meio de botões e acesso rápido ou de teclas de atalho.

- Os sistemas de atuação que envolvam consequências irreversíveis ou de grande impacto devem contar com botões ou seqüências de confirmação que façam o operador refletir sobre a execução de determinadas ações, como por exemplo, a decisão sobre o fechamento de válvulas de adutoras que se encontrem pressurizadas.
- Todo o nível de operação deve ser hierarquizado, isso significa que ao apresentar-se no posto de supervisão, o operador deve identificar-se no computador entrando com seu nome e senha e, a partir daí, toda operação executada naquela estação passa a ser de sua responsabilidade.

Ao projetar uma interface homem-máquina, o desenvolvedor deve levar em conta a necessidade de:

- Diminuir a chance de erro do operador, principalmente nos momentos de maior demanda operacional que coincide com o aumento do stress físico e mental. Por isso é necessário que as entidades de processo sejam representadas de forma única e consistente, independentemente do tipo de equipamento fisicamente presente no processo. A presença de instrumentos e equipamentos que embora exerçam a mesma função, mas tenham interface e parametrização local diferente, é muito comum em sistemas extensos e expansíveis como os de redes de abastecimento hídrico urbano. Esta representação é possível por meio de instrumentação virtual, em que os

instrumentos representados na estação de operação independem de marca, modelo ou parametrização física dos instrumentos instalados no processo.

- Evitar as situações de monotonia que levam à desconcentração do operador. Sinóticos pouco representativos do processo e sem atrações de animação ou com muitos dados tabulares levam a um cansaço natural. Muitos elementos piscantes na tela também trazem cansaço. O ideal é que ocorra um equilíbrio da interface com cores predominantemente neutras para os elementos de *background*.

Os sinóticos devem ser elaborados levando em conta conceitos ergonômicos relacionados à movimentação dos olhos. Como exposto por Petterson (1989) em seu estudo sobre usabilidade, os olhos tendem a se mover de:

- Uma imagem grande para uma menor;
- Uma cor saturada para uma não saturada;
- Uma cor brilhante para uma cor pastel;
- Uma imagem colorida para outra monocromática;
- Formas simétricas para formas assimétricas;
- Algo que se move e pisca para uma imagem estática.

Há também de se evitar a necessidade de consultas a referências externas ao sistema. Se o operador do sistema de abastecimento hídrico tiver dúvidas quanto à operação de elementos do sistema de supervisão deverá consultar o próprio sistema (*help online*). Se tiver dúvidas com relação à operação do processo deverá consultar um guia operacional *online*. Manuais são difíceis de consultar numa emergência.

3. METODOLOGIA

3.1 Referenciais de pesquisa e estrutura do modelo

O desenvolvimento deste trabalho foi orientado à descrição de sistemas automatizados que visam proporcionar a projetistas e desenvolvedores o acesso a soluções e arquiteturas de sistemas de automação. O objetivo é que esses profissionais possam optar, durante a fase de planejamento, pela configuração mais adequada dentro da diversidade de situações apresentadas na automação de sistemas de abastecimento hídrico.

Para tanto, este trabalho constitui o resultado do estudo de caso de uma situação emblemática no âmbito dos sistemas de abastecimento hídrico: o caso da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Como a SABESP constitui um sistema de grande dimensão, que envolve cerca de 366 municípios e inúmeras configurações de abastecimento hídrico, tornou-se necessária a delimitação de um contexto que oferecesse características amostrais típicas de diferentes arranjos dos elementos que compõem um sistema dessa natureza. Essa delimitação permitiu indicar como foco do estudo a Unidade de Negócio da Baixada Santista por ser esta uma unidade que reúne condições de identificação e estudo de diferentes referenciais de análise orientadores da tomada de decisão acerca de sistemas automatizados de abastecimento hídrico.

A SABESP é uma empresa de economia mista, de capital aberto, que tem como principal acionista o Governo do Estado de São Paulo. É uma concessionária de serviços sanitários,

responsável pelo planejamento, construção e operação de sistemas de água e esgoto (doméstico e industrial) em 366 municípios paulistas.

A SABESP possui atualmente 1.357 unidades de produção, divididas em 198 Estações de Tratamento de Água, 1.078 Poços Profundos e 81 outros sistemas. Essas unidades são responsáveis pela geração de 100 mil litros de água potável por segundo (SABESP, 2008).

Estas unidades de produção estão espalhadas entre os municípios atendidos pela companhia, que são organizados em Unidades de Negócio, gerenciadas por superintendências. Além da região metropolitana da cidade de São Paulo, que possui sete Unidades de Negócio, há ainda os sistemas regionais, distribuídos em dez unidades.

O estudo de caso relatado neste trabalho faz referência a dados coletados na Unidade de Negócio da Baixada Santista, gerenciada pela Superintendência do Litoral, que abrange 9 municípios: Cubatão, Santos, São Vicente, Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém, Peruíbe, Guarujá e Bertioga. Estes sistemas têm a capacidade total de produção de 8.500 litros por segundo, o suficiente para abastecer a população fixa e flutuante da Baixada Santista e Litoral Sul, calculada atualmente em cerca de 3 milhões de pessoas. Fora da temporada de férias, a produção/consumo cai para 5.900 litros por segundo no atendimento a cerca de 1.500.000 pessoas.

Os mananciais que compõem o sistema de abastecimento da Baixada Santista têm como característica a captação a fio d'água, ou seja, a captação que é feita diretamente no manancial abastecedor, inexistindo represas de acumulação. Para um melhor gerenciamento destes mananciais, a superintendência do litoral dividiu seus sistemas de abastecimento em gerências

regionais, ora denominadas: Gerência Regional Norte, que gerencia os municípios de Guarujá, incluindo o distrito de Vicente de Carvalho, e Bertioga; Gerência Regional Centro, que abrange os municípios de Santos, São Vicente e Cubatão; e Gerência Regional Sul, para os municípios de Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe.

Estas gerências possuem autonomia operacional supervisionada, ou seja, cada gerência tem um CCO regional responsável pelo controle operacional local das cidades que as compõem. Este CCO estabelece os parâmetros operacionais de válvulas redutoras de pressão, reservatórios e vazão de adutoras secundárias, de forma a administrar os recursos hídricos da sua área a partir das linhas principais de adução que são de responsabilidade do CCO principal, localizado na gerência regional Centro, na cidade de Santos.

Para a estruturação do modelo de automação de sistemas de abastecimento hídrico, optou-se pela organização de diferentes referenciais de análise que possam contribuir para a realização de um processo de tomada de decisões mais racional, eficiente e produtivo. Para que o modelo estruturado seja aplicável a diferentes contextos é necessário que ele se caracterize, primeiramente, como abrangente e flexível. Essas características podem ser conseguidas mediante a identificação de critérios de decisão referentes aos componentes de um modelo dessa natureza. Nesse sentido, os componentes mínimos de um sistema automatizado de abastecimento hídrico estão representados no esquema da Fig. 10.

Figura 10 – Esquema ilustrando os componentes mínimos de um sistema automatizado de abastecimento hídrico
- Fonte: Elaborada pelo autor

Cada um desses componentes constitui uma categoria que inclui diferentes elementos os quais, ao serem reunidos de forma organizada, resultam em referenciais de análise para a estruturação de um modelo para sistemas de abastecimento hídrico.

O estabelecimento de referenciais de análise contribui para maior produtividade e menor esforço na tomada de decisões na medida em que oferece critérios diante dos quais é possível avaliar as condições objetivas de cada componente do sistema a ser configurado a partir disso efetivar as escolhas mais adequadas a cada condição.

A realização deste estudo está baseada nas informações coletadas em mais de cinco anos de vivência na Unidade da Baixada Santista da SABESP no desenvolvimento e na implementação de soluções voltadas a automação de sistemas abastecimento hídrico. Essas informações foram confrontadas com referenciais teóricos resultantes de estudos no campo da automação industrial, da análise de sistemas de controle, da arquitetura de sistemas distribuídos e foram ampliadas e aprofundadas por meio de estudo investigativo sobre novas técnicas de automação de sistema que, embora na sua maioria ainda não tenham larga

aplicação na base de sistemas instalados, apresentam-se como promissoras candidatas à superação de alguns dos problemas ainda existentes na automação de sistemas distribuídos.

Contou-se, ainda, com informações obtidas por meio de entrevistas com especialistas de diversas áreas da SABESP, como técnicos e engenheiros do setor de manutenção e operação do sistema de abastecimento hídrico, técnicos do setor de tecnologia da informação, engenheiros do setor de pitometria (macromedição) e também técnicos do setor administrativo de tarifação e do departamento de análise e controle de perdas hídricas.

Todas as informações obtidas foram analisadas e dispostas no formato de referenciais de análise, passando a constituir descritivos dos métodos e das técnicas empregadas nas soluções de automação para os sistemas apresentados.

Estes referenciais, por sua vez, são elencados neste trabalho de forma hierárquica dentro do sistema de automação, partindo da descrição dos referenciais de análise para automação das estações remotas, passando pelos referenciais para definição do sistema de comunicação e de supervisão, até os referenciais para definição do sistema de gestão de informações de abastecimento hídrico.

4. MODELO DE AUTOMAÇÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO

4.1 Referenciais de descrição

O modelo descrito neste trabalho foi baseado nas soluções e tecnologias adotadas pela Superintendência do Litoral da SABESP para automação das principais estações remotas que constituem o sistema de abastecimento hídrico de boa parte da região litorânea do Estado de São Paulo. A arquitetura do sistema de supervisão utilizado para monitoramento e controle destas estações remotas e o sistema de gestão de informações sobre abastecimento hídrico é o utilizado pela Unidade de Negócio da Baixada Santista da SABESP.

4.2 Referenciais de análise para automação das estações remotas

As estações remotas constituem a planta industrial do sistema de abastecimento hídrico. O sistema de automação e as variáveis monitoradas e controladas de cada estação variam de acordo com a função que ela exerce no sistema. O impacto ocasionado pela perda eventual de uma estação determina também a quantidade de redundâncias, sejam elas de comunicação ou de instrumentação.

4.2.1 Estações de captação

O sistema de captação tem por função recolher água em quantidade suficiente e, como já foi apontado, com características físicas, químicas e bacteriológicas minimamente aceitáveis para consumo em função da legislação vigente.

A automação das estações de captação começa pela monitoração da qualidade da água. Em geral, a qualidade do manancial é verificada em pontos localizados a alguns quilômetros do local da captação. Tal verificação é feita por meio de análises químicas de amostragem. Em casos específicos em que possa haver despejo de material químico no manancial, o que pode comprometer todo o processo de tratamento, sensores de detecção contínua são posicionados. Tais sensores, no entanto, constituem um desafio com relação à sua escolha, pois são dimensionados de acordo com uma gama muito pequena de componentes químicos que se propõem a detectar. Em mananciais localizados à beira de estradas, por exemplo, a escolha destes sensores deve ocorrer levando-se em conta os produtos químicos transportados por aquela via que, na ocorrência de algum acidente, possam vir a ser despejados no manancial.

A capacidade de adução do manancial está diretamente ligada ao seu nível. Transmissores de nível do tipo sonda, devidamente instalados em caixas de desvio do manancial, medem a lâmina de água do rio ou represa enviando este sinal para a estação de controle local. Anteparos de proteção, além dos filtros de entrada das caixas de desvio, devem ser colocados para proteger as sondas de partículas que naturalmente ficam depositadas no fundo da câmara de captação.

A captação do fluido é feita por bombas de sucção, horizontais, verticais ou semi-submersas. A velocidade destas bombas pode ser controlada por meio de *drivers* inversores de frequência dependendo de seu porte. No controle da velocidade destas bombas, o algoritmo deve ter como referência, além do sinal enviado pelo CCO, o nível disponível na caixa de captação e a pressão da linha de bombeamento, de forma a otimizar o aproveitamento do manancial.

O status referente ao comando das bombas também deve ser monitorado quanto à situação ligada, desligada ou em manutenção.

Todo comando enviado pelo CCO deve ter um acionamento local correspondente na estação remota. O chaveamento para o modo local deve também emitir um sinal detectável pelo CCO. Devem ser previstos comandos de partida direta das bombas e acionamento manual das válvulas. Outros sinais que devem ser enviados ao CCO são: falta de fase, invasão da estação e falha no link de comunicação.

4.2.2 Estações elevatórias e *boosters* (reforços de linhas de adução)

As estações elevatórias (que conduzem a água para reservatórios) e os *boosters* têm estrutura de automação semelhante. Ambos os sistemas são baseados em conjuntos moto-bomba que recalcam o fluido para um ponto mais adiante do sistema de adução.

A estrutura de automação destes componentes do sistema deve compreender todos os status referentes à monitoração e controle dos conjuntos, incluindo o status de ligado/desligado, velocidade das bombas, pressão à montante e à jusante do *booster*/elevatória e a vazão de bombeamento, além de falta de fase, invasão da estação e falha no link de comunicação.

O acionamento das bombas deve contar com um sistema especial de admissão de água para que seja garantida uma partida com carga dos conjuntos, tal admissão é feita por meio de válvulas solenóides que preenchem as câmaras de bombeamento para depois então permitir o seu acionamento.

Assim como no referencial de automação proposto para as captações, todo comando remoto enviado pelo CCO deve ter um correspondente local na estação remota. O chaveamento para o modo local deve também emitir um sinal detectável pelo CCO. Devem ser previstos comandos de partida direta das bombas e acionamento manual das válvulas.

4.2.3 Reservatórios

Os reservatórios são os responsáveis por suprir as demandas do sistema abastecimento hídrico em caso de falta momentânea do sistema de adução. Alguns sistemas de reserva conseguem abastecer municípios inteiros durante dias, se totalmente preenchidos, na falta de condições de captação ou tratamento de água.

A estrutura de automação de reservatórios não se resume apenas na medição de seu nível. Todos os reservatórios contam, em sua saída e entrada, com válvulas que, na grande maioria das vezes, são telecomandadas. A possibilidade de determinação da posição destas válvulas, que em geral são graduadas, são de suma importância para o gerenciamento do volume de água estocado no reservatório.

Muitos reservatórios contam com algoritmos de controle automático do nível em sua estação de controle local, tal controle pode ser feito em função da vazão de entrada do sistema, em função da pressão de saída para suprimento das demandas de abastecimento hídrico ou simplesmente em função do próprio nível do reservatório.

Importante ressaltar a necessidade de proteção do sistema de automação dos reservatórios. Muitos deles localizam-se no alto de morros ou em pontos elevados do relevo. Tal condição expõe o sistema de automação a freqüentes descargas atmosféricas, o que torna necessária a implementação de dispositivos de proteção ainda mais efetivos do que os utilizados em outras estações do sistema.

Os reservatórios devem operar de forma integrada a outros componentes do sistema de abastecimento hídrico. Para tanto, a troca de informações entre estações remotas da região a qual ele abastece bem como também com a estação elevatória que o supre é necessária, para que as possibilidades de controle em função destes sinais sejam garantidas.

4.2.4 Estações remotas de telemetria

Este tipo de estrutura é o mais numeroso em todo o sistema de abastecimento hídrico. Estas estações têm a função de enviar sinais, em geral de pressão e vazão, de pontos referenciais do sistema de abastecimento hídrico como, por exemplo, pressão de adução de pontos finais das linhas e vazões intermediárias localizadas a partir de derivações das adutoras principais do sistema, para o CCO e para outras estações como *boosters* e reservatórios.

As estações remotas de telemetria são, em geral, de pequeno porte e ficam instaladas em cubículos distribuídos por todo o perímetro urbano. Podem ser alimentadas por concessionárias de energia ou por meio de painéis solares.

4.2.5 Postos de cloração (PC)

Os PC são os elementos do sistema de abastecimento hídrico que condicionam a água para o estabelecimento de padrões de consumo indicados pelo Ministério da Saúde.

Tal condicionamento implica o acréscimo na água de produtos químicos que visam garanti-la potável, além da adição de flúor para reposição de minerais e prevenção de cáries na população.

Os PC oferecem um tratamento muito menos efetivo do que as estações de tratamento de água (ETAs). Estes sistemas de maior porte têm a função de condicionar a água para consumo a partir da captação de mananciais onde um tratamento mais complexo é demandado. Tal tratamento envolve as seguintes etapas:

- **Pré-cloração:** Adição de cloro assim que a água chega à estação para facilitar a retirada de matéria orgânica e metais.
- **Pré-alcalinização:** Adição de cal ou soda à água para ajustar o pH aos valores exigidos para as fases seguintes do tratamento.
- **Coagulação:** Adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma agitação violenta da água para provocar a desestabilização elétrica das partículas de sujeira, facilitando sua agregação.
- **Floculação:** Mistura lenta da água para provocar a formação de flocos com as partículas.
- **Decantação:** Passagem da água por grandes tanques para decantar os flocos de sujeira formados na floculação.
- **Filtração:** Passagem da água por tanques que contêm leito de pedras, areia e carvão antracito para reter a sujeira que restou da fase de decantação.

- **Pós-alcalinização:** Correção final do pH da água para evitar problemas de corrosão ou incrustação das tubulações.
- **Desinfecção:** Adição de cloro à água antes de sua saída da estação de tratamento para manter um teor residual, até a chegada na casa do consumidor, e garantir que a água fornecida fique isenta de bactérias e vírus.
- **Fluoretação:** Adição de flúor à água para a prevenção de cáries.

A automação envolvida no sistema de tratamento de água por meio de ETAs é de grande complexidade e demanda uma pesquisa específica para ser relatada, razão pela qual este assunto não será detalhado nesta pesquisa.

Dentre as etapas desempenhadas pelas ETAs, também executadas pelos PCs estão: a pós-alcalinização, a desinfecção e a adição de flúor, além de sistemas de medição contínua de turbidez (característica que reflete o grau de transparência da água), vazão e pressão da linha de abastecimento hídrico.

A medição contínua de turbidez tem especial necessidade, principalmente, em locais formados por mananciais de serra, que em períodos de chuvas sofrem significativas mudanças das características físico-químicas de suas águas obrigando à interrupção momentânea do processo abastecimento hídrico.

O sistema de dosagem trabalha com bombas injetoras (para inclusão de soda e flúor) e com cloradores a gás (para inclusão de cloro), que dosam os produtos diretamente na adutora

por meio de um processo denominado “dosagem em marcha”, as malhas de controle de cada produto, que controlam o sistema de dosagem, trabalham, cada uma, de uma forma específica:

- **Malha de controle de dosagem de cloro:** o dispositivo de controle local recebe o sinal de vazão enviado pelo transmissor de vazão da adutora e também um sinal proveniente do analisador contínuo de cloro residual livre, cujo ponto de amostra localiza-se a 200 metros do ponto de dosagem. Esta distância é função da vazão do posto de cloração e é uma medida necessária, pois o gás cloro demanda um período para ser absorvido pela água.

A estratégia de controle adotada é a híbrida. Ela envolve um controle antecipatório que tem como sinal de referência a vazão da adutora e também um controle realimentado que visa corrigir o *offset* resultante a partir do sinal de referência enviado pelo analisador de cloro. A dosagem do produto é feita por ejetores de cloro gás ligados a equipamentos denominados cloradores. Estes equipamentos demandam a instalação de bombas que proporcionam o deslocamento da água por uma via periférica à adutora principal para prover sucção suficiente para o funcionamento dos ejetores. Esta linha periférica se liga novamente à adutora depois de passar pelo sistema de cloração.

Os valores aceitáveis para concentração final de cloro na água estão entre 2,0 mg/L e 5,0 mg/L

- **Malha de controle de dosagem de flúor:** o flúor, diferentemente do cloro, não demanda um tempo elevado de absorção pela água, razão pela qual o ponto de amostragem pode se localizar a poucos metros do dosador.

De forma semelhante à dosagem de cloro, a estratégia de controle adotada no controle de dosagem de flúor é a híbrida e envolve um controle antecipatório que tem como sinal de referência a vazão da adutora e também um controle realimentado que visa corrigir o *offset* resultante a partir do sinal de referência enviado pelo analisador de flúor. A dosagem do produto é feita por meio de bombas cuja velocidade de *stroke* é função do sinal enviado pelo controlador. Estas bombas possuem ainda um ajuste de abertura que pode ser feito manualmente a fim de possibilitar o uso destes equipamentos em sistemas de diferentes vazões. Há ainda bombas de dosagem que trabalham com sistemas peristálticos de injeção.

Os valores aceitáveis para concentração final de flúor na água estão entre 0,6 mg/L e 0,8 mg/L.

- **Malha de controle de dosagem de soda:** Esta malha de controle possui, em geral, um tempo morto de 10 a 30 minutos de resposta, devido ao tempo necessário à correção do pH da água que é influenciado também pela sua absorção do cloro. Esse tempo morto, em associação às características químicas de evolução da concentração de hidroxilas na água que evoluem rapidamente perto do nível de pH neutro, torna esta malha de controle uma das mais sensíveis a instabilidades.

Devido a esta sensibilidade, torna-se necessária a adoção, assim como nas malhas de dosagens de cloro de flúor, de uma estratégia de controle híbrida, que envolve um controle antecipatório cujo como sinal de referência é a vazão da adutora e também um controle realimentado que visa corrigir o *offset* resultante a partir do sinal de referência

enviado pelo analisador de pH. Esta malha de controle, no entanto, deve ser provida de um sistema de ganho adaptativo, de forma a modificar continuamente as constantes de proporcionalidade e de integração do sistema, para compensar as diferenças de resposta da curva de modificação do pH da água.

A dosagem de soda para correção do pH é feita por bombas semelhantes às de dosagem de flúor e os níveis aceitáveis de pH da água para consumo estão entre 6 e 8.

Todos os elementos de dosagem de produtos químicos devem contar com uma unidade de *backup*. Esta unidade visa suprir as necessidades de dosagem em caso de falha ou de parada para manutenção da unidade principal. A comutação entre as unidades deve fazer parte do algoritmo de controle da estação, de forma que uma perda de rendimento detectada pelo sistema de medição ocasione automaticamente a mudança dos componentes de dosagem do sistema.

Os algoritmos de controle de dosagem devem também conter recursos de contenção do tipo *anti-reset windup*³, que previnem dosagens excessivas caso haja uma diferença muito grande entre o *setpoint* da malha e o valor da variável controlada.

Os postos de cloração devem contar ainda com equipamentos de lavagem de gases. Estes equipamentos, que fazem parte do sistema de segurança do posto, têm a função de tornar inertes gases oriundos de possíveis vazamentos do sistema de dosagem de cloro. O sistema de lavagem de gases conta com exaustores que sugam os gases de locais confinados dentro do

³ Recurso que limita a acumulação do termo integral, o pólo de limitação de ganho em altas frequências para o controlador derivativo e a ponderação de referência do termo proporcional.

posto de cloração para um ambiente externo. Antes de ser expurgado, o gás passa por um chuveiro de soda, provido por bombas ejetoras. Todo o sistema de lavagem deve ser automático e o seu acionamento ocorre por meio de sensores espalhados em diversos pontos do posto de cloração. Os sinais de detecção de vazamento de cloro são enviados ao CCO e têm condição de alarme prioritário.

Todo o sistema de custódia de produtos químicos também conta com dispositivos redundantes, que entram em ação cada vez que o tanque principal esvazia. Estes dispositivos também têm chaveamento automático e emitem sinais de seu status ao CCO cada vez que são acionados.

Finalmente, todo o posto deve possuir alimentação paralela dos sistemas principais de dosagem e medição, provida por um gerador, que assume automaticamente a alimentação destes sistemas em caso de falta de energia da concessionária.

4.3 Referenciais de análise para definição do sistema de comunicação

Tendo como base a Superintendência do Litoral da SABESP, a escolha das tecnologias de comunicação para supervisão das estações remotas que compõem o sistema de automação de abastecimento hídrico leva em conta, além da localização da estação a ser supervisionada, fatores como o tipo e quantidade de variáveis a serem adquiridas, a distância e tempo para aquisição dos dados e envio dos comandos, a facilidade de expansão e de manutenção do

sistema, o custo envolvido, a infra-estrutura disponível e a integração do sistema de comunicação a esta infra-estrutura.

As tecnologias utilizadas nestes sistemas envolvem diversos de meios de comunicação que vão desde a infra-estrutura provida por empresas operadoras de sistemas de telefonia fixa e móvel, até sistemas proprietários (de tecnologia pertencente à companhia que o desenvolveu) de transmissão e recepção de dados através de *links* de telemetria.

4.3.1 Comunicação baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia fixa

As tecnologias que adotam a infra-estrutura de operadoras de telefonia fixa fazem uso de meios de comunicação disponibilizados por empresas de telecomunicações, que atuam no serviço de telefonia e transmissão de dados destinados ao atendimento residencial e comercial. Dentro da infra-estrutura disponibilizada por estas empresas, os seguintes meios de comunicação podem ser utilizados de acordo com a aplicação:

- **Linha privativa (LP):** É um enlace de comunicação reservado para uso exclusivo de um cliente que o aluga, estabelecendo uma ligação permanente entre dois pontos geográficos distintos.

- **Linha comutada (LC):** É um enlace de comunicação no qual o caminho físico pode variar conforme o uso, tal como uma rede de telefones públicos. Fornece conexão para os usuários do mesmo modo que nas linhas telefônicas residenciais.

- **Frame relay e redes ATM:** São tecnologias de comunicação de dados, projetadas para oferecer comunicação em alta velocidade utilizando a infra-estrutura de linhas digitais fornecidas pelas empresas de telefonia. O *frame relay* é uma tecnologia baseada na comunicação por meio de pacotes digitais de informação, ideal para tráfego de dados por meio de protocolos de controle de transferência (TCP) e é, atualmente, a tecnologia mais utilizada na comunicação de dispositivos digitais de aquisição de dados em redes de abastecimento hídrico.

As tecnologias que fazem uso da infra-estrutura disponibilizada por empresas de telefonia fixa podem ser utilizadas onde há cobertura destas empresas, com a presença de postes, torres e cabeamento. Porém, em casos específicos, é possível a implementação de uma infra-estrutura própria visando a interligação de dois pontos distintos em áreas que não possuem cobertura, por meio de uma linha privativa da própria empresa de saneamento.

4.3.2 Comunicação baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia móvel

A comunicação baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia móvel, que utiliza sinais de rádio-frequência para comunicação em sistemas de automação industrial, conta atualmente com dois padrões tecnológicos mais fortemente consolidados:

- **GPRS (*General Packet Radio Service*):** É uma tecnologia de comunicação de dados disponível em redes de telefonia móvel que utilizam o padrão TDMA (*Time Division Multiple Access*) e, de forma mais comum, em redes de telefonia móvel que utilizam o padrão GSM (*Global System for Mobile Communications*).
- **1xRTT (*single carrier radio transmission technology*):** É uma tecnologia de comunicação baseada nas redes de telefonia móvel que utilizam o padrão CDMA (*Code Division Multiple Access*).

Ambas as tecnologias funcionam com o envio e recebimento de mensagens, de forma semelhante ao SMS (*Short Message Service*), embora se tratem de um serviço diferenciado. A conexão possibilitada por estas tecnologias emula uma disponibilidade quase que contínua do meio de comunicação, o que é desejável em sistemas de aquisição e envio de dados voltados à automação industrial. O baixo custo destes sistemas constitui também uma vantagem.

Embora a troca de informações entre o CCO e as estações remotas possa ocorrer, por meio destas tecnologias, apenas em áreas que possuam cobertura por redes de telefonia

móvel, uma vez que o monitoramento das variáveis é efetuado, os dados podem ser disponibilizados a qualquer localidade que possua conexão com a Internet devido à integração deste sistema com a rede mundial de computadores.

A adoção dessas tecnologias de comunicação, porém, não é uma solução aplicável a sistemas que tenham a necessidade de um controle determinístico mais efetivo. Em geral, a comunicação entre os dispositivos ocorre no período de alguns segundos, tendo sua velocidade afetada pela demanda de uso das frequências disponibilizadas que, por fazerem parte de um sistema compartilhado, acabam por caracterizar este sistema de comunicação como probabilístico.

4.3.3 Comunicação sem fio (wireless) de infra-estrutura própria

O uso da infra-estrutura de comunicação sem fio apresenta aspectos que vêm ao encontro de necessidades não supridas pelas redes de telefonia móvel. A princípio, a comunicação sem fio de infra-estrutura própria da empresa de saneamento constitui uma opção para supervisão de pontos remotos cujas localidades não são cobertas pelas redes de telefonia móvel, mas seus benefícios vão além:

- A detenção da infra-estrutura permite controle total sobre a manutenção dos sistemas que a compõem, sem a dependência de empresas prestadoras de serviço, cuja disponibilidade e atuação nem sempre atendem a necessidade de uma intervenção emergencial no sistema de comunicação.

- A capacidade de escolha da região a ser integrada e de características técnicas como a velocidade dos *links* de comunicação, permitem adequar a infra-estrutura às necessidades do sistema de controle.
- O investimento inicial é compensado ao longo do tempo com a isenção de custos mensais para concessão do sistema, caso a tecnologia *wireless* adotada seja de uso livre (isenta do pagamento de licença de uso de canais de frequência).

Os projetos técnicos das redes de radiocomunicação devem ser submetidos à apreciação da Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL – e obedecer às seguintes orientações:

- Deve ser elaborado um projeto técnico específico para cada uma das modalidades de serviço em que se deseja atuar; as modalidades são classificadas segundo o caderno de projetos disponibilizado pela ANATEL.
- Os projetos devem ser independentes quanto ao seu propósito. É comum que as empresas possuam diferentes redes de radiocomunicação atuando em diferentes áreas necessárias ao seu funcionamento. Por exemplo: na comunicação entre viaturas, para troca de informações entre os seus diversos *sites* do sistema (*boosters*, estações de tratamento, estações elevatórias, reservatórios, etc.) e para troca de dados de automação.

- Além das orientações estabelecidas no manual da ANATEL, os projetos técnicos devem atender às normas e instruções relativas aos serviços de telecomunicações pretendidos.

Dependendo da extensão da área de atuação da empresa de saneamento, o sistema de radiocomunicação por ela idealizado pode envolver várias redes, operando em uma mesma faixa de frequências concentradas numa determinada região, podendo abranger uma ou mais unidades da federação. Neste caso, deve ser anexado ao projeto, para melhor visualização do sistema, um mapa em escala apropriada, onde constem todas estas redes.

Objetivando melhor controle do espectro radioelétrico, cada rede deve ser constituída de estações que estejam diretamente ligadas entre si e devem ser consideradas em conjunto, quando da análise técnica das frequências. Assim, uma rede deve possuir frequências dentro de uma mesma faixa (HF, VHF, UHF, etc.), exceto para sistemas com repetidoras, como por exemplo VHF e UHF.

Cada estação deve ser representada da seguinte forma:

- Um símbolo indicando se ela é nova, existente ou alterada (de acordo com a simbologia demonstrada na Fig. 11).

Figura 11 – Simbologia de representação de estações de radiocomunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL

- Sigla(s), indicando a(s) classe(s) (de acordo com a Tabela 1).

SIGLA	CLASSE DA ESTAÇÃO
BB	Estação FB e BR alternadamente
BR	Estação de base repetidora
FB	Estação de Base
FR	Estação exclusivamente receptora
FX	Estação fixa
TE	Estação terrena transmissora
TP	Estação terrena receptora
TX	Estação exclusivamente transmissora
XR	Estação fixa repetidora

Tabela 1 – Classes de estações⁴ mais comumente utilizadas em sistemas de radiocomunicação para supervisão de sistemas de automação - Fonte: Elaborada pelo autor

⁴ As definições e outras classes de estação podem ser obtidas no Cap. 1 da Norma Geral de Radiocomunicações – NG - 01/75 ou no Regulamento de Radiocomunicações – UIT.

A classe BB indica que uma estação pode operar como de base ou repetidora, na mesma frequência, possuindo condições de passar de repetidora para base, com um chaveamento do equipamento.

- Um número e um nome que a identifiquem.
- A indicação da sua função na rede.

A função da estação na rede deve ser representada logo acima do símbolo da estação, à direita da sigla da classe da mesma. Esta indicação visa evitar que a representação gráfica das ligações resulte em diagramas complexos.

A estação, numa rede, deve possuir uma das seguintes funções:

- **CP – Estação Coletora Principal:** Estação principal de uma rede. Comunica-se com uma estação coletora intermediária e, na inexistência desta, com estações coletadas ou coletadas interligadas.
- **CM – Estação Coletora Intermediária:** Estação repetidora que interliga uma estação coletora principal a uma estação coletada e/ou coletada interligada.
- **CI – Estação Coletada Interligada:** É uma estação terminal que mantém comunicações com uma estação principal, diretamente ou através de uma estação coletora intermediária, comunicando-se normalmente com as demais estações coletadas interligadas da rede.
- **CL – Estação Coletada:** É uma estação terminal que mantém comunicações com uma estação coletora principal, diretamente ou através de uma estação coletora intermediária, podendo, excepcionalmente, comunicar-se com outras estações da rede.

- **RT – Estações de Rota:** Estações interligadas sequencialmente, formando rota de telecomunicações com três ou mais estações. Cada derivação deve ser considerada uma rota distinta, exceto se as derivações terminais forem um conjunto de estações fixas e/ou móveis. A função da estação deve ser representada por sua posição na rota (01, 02, ..., n) , seguida de um número sequencial para cada estação, iniciando com 01 em cada rota e não podendo se superior a 99.

A Fig. 12 ilustra a representação de uma estação fixa, nova, coletora principal da rede e de n.º 01, localizada em Brasília –DF.

Figura 12 – Exemplo da representação de uma estação de rádio comunicação fixa, nova, coletora principal da rede e de n.º 01, localizada na cidade de Brasília (DF) - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL

Os enlaces radioelétricos entre as estações devem ser representados da seguinte forma:

- Uma linha interligando as estações.
- Informação da distância entre as estações.

- Informação das frequências utilizadas no enlace.

As dimensões dos enlaces entre as estações devem ser indicadas sobre a linha da união entre as mesmas. Para indicação da distância entre as estações terrestres e móveis ou entre as estações fixas e fixas sem localização definida, deve-se utilizar um círculo ou semicírculo em torno da estação terrestre ou fixa, fornecendo o raio máximo de alcance destas.

As Fig. 13 e 14 ilustram alguns exemplos de representações.

Figura 13 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL

Figura 14 - Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação sem localização definida - Figura 14 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL

As frequências pretendidas para os enlaces devem ser indicadas junto à linha que liga as estações ou, por legenda, identificando as frequências e sua ordem de grandeza ou seus valores específicos, no caso de frequências já consignadas pela ANATEL. As frequências de cada sistema também devem ser identificadas pela letra “F”, seguida de um número,

utilizando, para tanto, uma numeração sequencial a partir de 01. As frequências devem ser indicadas com as seguintes unidades:

- KHz: quando inferiores a 28.000 KHz;
- MHz: quando compreendidas entre 28 e 10.500 MHz;
- GHz: quando superiores a 10,5 GHz.

A Fig. 15 ilustra mais um exemplo de representação.

Figura 15 - Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação com a designação das frequências no próprio desenho - Figura 14 – Exemplo de representação de distâncias entre estações fixas de rádio comunicação - Fonte: Manual de projetos técnicos da ANATEL

4.4 Referenciais de análise para definição dos dispositivos de comunicação

As tecnologias dos dispositivos de comunicação dos sistemas de controle destinados à supervisão de redes de abastecimento hídrico, devem estar adequadas ao meio que estes dispositivos utilizam e também às condições que este meio possa vir a apresentar. Estas condições incluem desde ruído excessivo nas linhas de comunicação até grande interferência de radiofrequência, comuns em localidades próximas a áreas portuárias.

4.4.1 Placas geradoras de tons multifrequenciais (“tone”)

As placas geradoras de tons multifrequenciais são componentes de um sistema de transmissão de variáveis que se caracteriza, principalmente, pela sua simplicidade. O sistema de transmissão por placas de tons multifrequenciais faz uso de linhas privativas, pois demanda uma conexão de disponibilidade contínua para transmissão de dados de telemetria.

A transmissão da informação começa por um método simples de conversão, em que sinais de telemetria padronizados são transformados em faixas de frequência, incluídas dentro do espectro para o qual as linhas telefônicas foram projetadas. Isto garante a propagação destes sinais, a qualquer ponto coberto pela infra-estrutura de telefonia fixa, possibilitando o uso desta tecnologia em qualquer área de abrangência deste sistema.

O funcionamento do sistema consiste no seguinte: a placa conversora pulso-frequência recebe um sinal proveniente de um circuito que converte sinais padronizados de 1 a 5 Vcc (ou

4 a 20 mA por meio de um resistor de 250 ohms) de um transmissor (de pressão, nível ou qualquer outra variável) em pulsos. Este sinal é transformado em uma frequência audível, com período de transmissão de 3 a 15 segundos. O tempo de permanência do tom na via de comunicação é equivalente à amplitude do sinal de saída do transmissor.

O tom de saída gerado pela placa é transmitido através da linha privativa e recebido, do outro lado, por uma outra placa receptora que o converte, por meio de um relê mecânico ou de estado sólido, em um sinal de continuidade (resistivo), de período equivalente ao de permanência do tom na via de comunicação. Este sinal de continuidade pode ser enviado a um CLP ou mesmo a um circuito conversor, com capacidade de transformá-lo de pulso em tensão ou corrente. Uma representação gráfica do sistema descrito pode ser visto na Fig. 16:

Figura 16 – Representação gráfica de um sistema de aquisição de variáveis por meio de placas geradoras de tons multifrequenciais - Fonte: Elaborada pelo autor

A reconversão do valor da variável em um sinal padrão pode ser interpretado por uma entrada analógica de qualquer dispositivo que possa vir a fazer uso deste sinal para indicação, registro ou mesmo controle.

Em geral, as frequências utilizadas estão na faixa de 700 Hz a 1400 Hz sendo possível, por uma mesma linha de transmissão, a utilização de até três frequências distintas para transmissão dos dados.

Considerando que as linhas de transmissão apresentam, ocasionalmente, ruídos que possam vir a comprometer a integridade do sinal, utiliza-se um espaçamento de pelo menos 150 Hz entre as frequências adotadas, com nível de tensão flutuante de 12 Vcc, que é provido pela própria placa moduladora. A linha privativa de comunicação utilizada por este sistema não deve, portanto, ter nenhum nível tensão, constituindo-se apenas de um par resistivo.

É preciso considerar que constantes conversões de sinais, por meio de diferentes transdutores, acarretam a soma das imprecisões de cada dispositivo conversor, o que acaba por distorcer o valor da variável medida. O sistema que fará uso desta tecnologia deve, portanto, tolerar distorções de até 2% no valor desta variável.

Já na utilização do sinal transmitido para controle, deve-se considerar que o tempo de resposta do sistema tem um acréscimo considerável, inerente ao método de transmissão por tons multifrequenciais.

Estas características restringem o uso desta tecnologia a sistemas constituídos por grandes capacitâncias, tolerantes, portanto, em relação a diferenças no valor da variável medida e a

considerável aumento no “tempo morto” inserido pelo método de transmissão. Em geral, esta tecnologia é utilizada em sistemas de abastecimento hídrico na medição de nível de grandes reservatórios.

Como vantagem, deve-se considerar sua facilidade de implantação, simplicidade, baixo custo e facilidade de manutenção.

4.4.2 Modems

Os modems são dispositivos que, como as placas geradoras de tons multifrequenciais, também fazem uso da infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia fixa, têm como vantagem o uso estendido às linhas comutadas e privativas além de realizarem a transferência das informações por meio de um método de comunicação muito mais elaborado, a partir de protocolos de comunicação.

Os modems têm como princípio de funcionamento a conversão de sinais digitais em analógicos e a modulação, a partir destes sinais, de uma onda portadora que tem a função de transportar a informação coletada no campo a um outro modem localizado, em geral, no CCO ou em estações concentradoras de dados.

Os modems funcionam sempre em pares e em conjunto com equipamentos digitais de aquisição de dados, sendo pré-requisito para que estes equipamentos possam se comunicar,

que eles possuam pelo menos uma porta de comunicação compatível com o padrão serial do modem utilizado ou que usem um conversor para estabelecer esta compatibilidade.

Os modems empregados em sistemas industriais de controle devem possuir robustez e garantia de boa performance, mesmo em condições extremas de utilização, além de recursos de redundância e de diagnóstico, propriedades imprescindíveis para uma operação segura e para uma rápida restauração do sistema em caso de falhas na via de comunicação ou no próprio dispositivo.

Estas propriedades são operacionalmente traduzidas em características como:

- Emprego de sofisticadas técnicas de modulação que modificam simultaneamente mais de uma característica da onda portadora e utilização de tecnologias de compressão de dados e correção de erros de transmissão. Obtém-se, assim, velocidade de comunicação com garantia de integridade das informações transmitidas e recebidas.
- Utilização de recursos como o *Dial Backup*, que permite ao modem a monitoração do estado da via de comunicação utilizada e, em caso de falha desta, comutação automática para uma outra via, na tentativa de restabelecer a comunicação.
- Sistemas de diagnóstico local e remoto por meio de laços de comunicação, que torna possível detectar se um problema no sistema de comunicação localiza-se na interface digital ou analógica do modem local, na via de transmissão ou no modem remoto.

Os sistemas de comunicação que fazem uso de modems têm larga aplicação em sistemas de controle de redes de abastecimento hídrico, exercendo a troca de informações principalmente entre o CCO e os CLPs localizados nas estações remotas. Os modems possibilitam o envio de parâmetros para o funcionamento adequado destas estações, uma vez que seu controle é feito localmente, conferindo ao sistema uma característica de autonomia, inerente à filosofia dos sistemas SCADA.

A tecnologia de comunicação por meio do uso de modems possibilita, além do envio de parâmetros de controle, também a coleta de valores de variáveis como pressão e vazão da rede de abastecimento hídrico, velocidade de motores de bombas, níveis de reservatórios, pH, quantidade de cloro e flúor na água, turbidez, e outras.

Em estações remotas de abastecimento hídrico que não utilizam controle automático realimentado, o uso do CLP pode ser dispensado, uma vez que os comandos de acionamento das bombas podem ser enviados diretamente a módulos remotos de aquisição e atuação por meio de modems.

É importante ressaltar que os modems consistem em equipamentos de comunicação de dados, e, como tais, devem ser transparentes às regras de troca de informações seguidas pelos dispositivos que se comunicam por meio deles. Estes dispositivos devem, portanto, trocar dados em um protocolo comum, compatível com a interface serial de comunicação utilizada pelo modem. Os programas que definem estes protocolos são denominados, nos softwares supervisórios, de “*drivers* de comunicação”, ou, simplesmente, *drivers*.

Deste modo, ao se associar um *driver* a uma porta de comunicação do computador onde o software supervisor encontra-se instalado, praticamente se reserva o uso desta porta para comunicação exclusiva com os dispositivos que conversem na mesma linguagem estabelecida por este *driver*.

É fácil perceber que, se o sistema SCADA possuir uma gama variada de equipamentos conectados ao sistema de supervisão e se estes equipamentos se comunicarem por meio de protocolos distintos, a exigência de portas de comunicação disponíveis nas estações de aquisição deverá ser proporcional à diversidade de equipamentos conectados ao sistema.

Por esta razão, usam-se estações concentradoras de dados para coleta das informações de campo. Estas estações podem ser, por exemplo, CLPs ou computadores industriais concentram, em um mesmo equipamento, todas as informações de uma determinada área do sistema de abastecimento hídrico, para que possam ser enviadas por um único canal de comunicação, ao centro de controle operacional.

4.4.3 Servidores *web*

Os servidores *web*, que fazem uso de páginas HTML ou XML para disponibilização de valores de variáveis, quando utilizados em redes de abrangência metropolitana, utilizam a infra-estrutura de linhas digitais disponibilizadas por operadoras de telefonia fixa, por onde trafegam informações organizadas por meio de “protocolos de comutação de pacotes”.

Estes protocolos são parte integrante de várias tecnologias de comunicação, dentre as quais a mais difundida atualmente, em sistemas de controle de abastecimento hídrico, é a denominada *frame relay*, já mencionada anteriormente.

A tecnologia *frame relay*, que utiliza uma forma simplificada de chaveamento de pacotes, é adequada a dispositivos industriais de aquisição de dados que operam com protocolos de controle de transferência, como os servidores *web*. A conversão dos dados destes servidores para o *frame relay* é feita pelos chamados “equipamentos de acesso”, em geral roteadores, que podem ter sua instalação, configuração e gerenciamento efetuados pela própria operadora de telefonia por meio de uma taxa mensal de locação do equipamento.

Os servidores *web* podem incorporar a função de aquisição de dados e atuação remota, possuindo neste caso, entradas e saídas, analógicas ou discretas, incorporadas. Podem ainda funcionar, apenas como interface, entre equipamentos como CLPs e redes baseadas em protocolos de controle de transferência, possibilitando a disponibilização de valores de variáveis, presentes em áreas de memória do controlador, em páginas *web*. Este tipo de interface permite ainda que comandos provenientes da rede sejam executados pelo controlador.

A capacidade de armazenamento de telas dos servidores *web* no formato HTML gira em torno de 150 a 500 Kbytes, podendo ser expandida conforme a necessidade, o que permite a implementação de sistemas de supervisão simples, que podem ser acessados por meio de um *browser* – software para acesso à Internet - convencional, sem qualquer configuração ou aplicativo especial instalado no computador remoto. O acesso às páginas ou a funções de atuação no processo pode ser restringido por meio de senhas.

Com o uso da linguagem XML, é possível a construção de páginas dinâmicas, a partir da comunicação com operandos do CLP. Os comandos XML disponíveis, permitem que se use não apenas *browsers*, mas também aplicativos especiais para acesso ao controlador. A integração com bancos de dados relacionais como o Oracle ou o Sysbase, é facilitada, já que estes bancos podem trabalhar com comandos XML.

A integração da arquitetura com a Internet, incluindo os servidores *web*, é possível, porém, não é obrigatória. O acesso via *browser* pode ser limitado a intranets corporativas ou mesmo a redes locais de supervisão. A atualização das páginas é feita por meio dessas redes, utilizando-se um protocolo de transferência de arquivos (FTP). Uma representação simplificada da arquitetura de um sistema de aquisição de dados de estações de um sistema de abastecimento hídrico por meio de servidores *web* pode ser vista na Fig. 17.

Figura 17 - Representação simplificada de um sistema de aquisição de dados de estações de um sistema de abastecimento hídrico por meio de servidores web - Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.4 Modems GPRS e 1xRTT

Na prática, os equipamentos que fazem uso das tecnologias dos modems GPRS e 1xRTT têm aplicações semelhantes, embora conceitualmente funcionem de forma diferente.

Os modems GPRS proporcionam acesso a uma rede de pacotes para tráfego de dados em *links* GSM. Teoricamente, estes *links* podem alcançar velocidades da ordem de 128 Kbps, mas na prática, a maioria dos equipamentos com suporte a GPRS alcança velocidades entre 30 Kbps e 50 Kbps.

O 1xRTT, também chamado de CDMA2000, consiste em uma versão do CDMA tradicional aprimorada para alcance de velocidades de acesso de 144 Kbps a 2048 Kbps. Na prática, alcança-se entre 90 Kbps e 110 Kbps.

O GSM é uma tecnologia aberta, enquanto o CDMA é de propriedade da empresa de telecomunicações Qualcomm. Por ser uma tecnologia aberta, o GSM é mais susceptível às inovações e estimula a concorrência entre os fabricantes de aparelhos, o que traz as vantagens inerentes a um mercado competitivo. Devido a estas razões, o GPRS encontra-se mais difundido nas aplicações de supervisão de redes de abastecimento hídrico.

Os modems GPRS/1xRTT, utilizados em sistemas de comunicação industrial, podem incorporar uma variedade de recursos, dependendo do fabricante, como por exemplo entradas e/ou saídas, analógicas e digitais. O próprio modem pode constituir um recurso incorporado a

um equipamento, como um CLP ou um computador industrial. Neste caso, as variáveis do sistema de abastecimento hídrico transmitidas ou recebidas são controladas por meio de um programa presente na memória do controlador lógico ou do computador.

Em versões independentes, o modem opera por meio de regras pré-estabelecidas, em um programa presente em seu próprio *firmware* e controladas por um processador responsável por gerenciar a comunicação *wireless*.

A comunicação entre o modem e os dispositivos de aquisição de dados conectados a ele, geralmente, é feita através de um canal serial e por meio de protocolos abertos de comunicação, como o MODBUS, por exemplo. A configuração do modem também é feita por este mesmo canal serial, por meio do uso de softwares proprietários (fechados ou de tecnologia de propriedade da empresa que o desenvolveu) ou mesmo do software para interfaces seriais Hyper Terminal, presente no sistema operacional Windows.

A configuração destes dispositivos envolve basicamente o estabelecimento da operadora de telefonia utilizada, no caso do GPRS, que deve ser compatível com o chip (SIM Card) presente nos modems que irão compor o sistema. Uma troca de operadora envolve a mudança desta configuração além, obviamente, da troca de todos os chips presentes e dos números de identificação de cada modem configurado.

Características do canal serial como *baud rate*, paridade e bits de parada, também devem ser estabelecidas, além do endereço IP do servidor de gerenciamento de mensagens, uma vez que este sistema é integrado, por meio da rede das operadoras de telefonia, à Internet. Uma representação gráfica da arquitetura do sistema citado pode ser vista na Fig. 18.

Figura 18 – Representação gráfica da arquitetura de um sistema de comunicação baseado nas tecnologias GPRS ou 1xRTT - Fonte: Elaborada pelo autor

A comunicação entre os controladores, e entre eles e o sistema de supervisão, é feita por meio de identificadores únicos e padronizados, contidos nos modems celulares. Estes identificadores são cadastrados em um servidor que gerencia a permissão de acesso e a troca de informações entre os dispositivos por eles identificados. Um software servidor de tecnologia *Object Linking and Embedding* (OLE) para controle de processo (OPC), presente na estação do sistema de supervisão, também recebe uma identificação devidamente cadastrada no servidor. Neste sistema, a comunicação sempre começa pela conexão de todos módulos ao servidor que, uma vez identificados e sem restrições de acesso, iniciam a troca de dados.

A comunicação de dados *wireless* baseada em modems celulares agrega vantagens como taxas de comunicação adequadas ao serviço de envio e recebimento de valores de variáveis e status de equipamentos, conexão virtualmente permanente e integração à Internet, o que permite, dentro das áreas de cobertura, a expansão e a integração deste sistema de forma transparente com muitas outras tecnologias.

As restrições ao uso deste sistema são relacionadas principalmente à área de cobertura, em geral, determinada pelas operadoras de telefonia móvel, e também à sua falta de determinismo, o que torna seu uso proibitivo em aplicações que envolvam controle estabelecido por algoritmos localizados em dispositivos remotos.

Aspectos sobre a tarifação deste serviço também devem ser considerados. A contabilização para estabelecimento da tarifa ocorre, em geral, pela quantidade de bytes que trafegam pelo sistema e não pelo tempo de conexão.

Considerando estes aspectos, é conveniente o condicionamento do envio das informações, o que pode ser feito por meio do uso de estruturas paramétricas de dados, que estabelecem o envio de uma informação apenas se alguns critérios pré-estabelecidos forem atendidos, como por exemplo, alteração do valor de uma variável acima de uma faixa pré-configurada ou alteração do status de um algum equipamento.

4.4.5 Rádio-modems

Os rádio-modems são constituídos por equipamentos tranceptores com modems incorporados. Seu funcionamento, de modo análogo aos modems convencionais, baseia-se na conversão de sinais digitais em analógicos e na modulação, a partir destes sinais, de uma onda portadora. Os rádio-modems, no entanto, fazem uso de ondas eletromagnéticas para troca de

informações entre os dispositivos a eles conectados, não precisando de meios físicos para transmissão dos dados.

Muitas arquiteturas de comunicação podem ser implementadas por meio de sistemas que envolvam radiocomunicação. Para montagem dessas arquiteturas, devem ser considerados a área de abrangência do sistema, as tecnologias dos equipamentos utilizados e os modos de comunicação por eles permitidos.

Os equipamentos utilizados nos sistemas de radiocomunicação para supervisão de redes de abastecimento hídrico da Superintendência do Litoral da SABESP podem ser divididos em dois grupos: os que utilizam frequência fixa e os que utilizam tecnologia de espalhamento espectral.

Os equipamentos que trabalham com frequência fixa possuem maior potência de transmissão (da ordem de 5 Watts) e, por consequência, têm maior área de abrangência (da ordem de 25 a 40 Km). Esta característica e o fato desses equipamentos ocuparem continuamente uma faixa do espectro de frequências disponível para transmissão de dados impõem a necessidade de uma licença de uso da faixa de frequência utilizada, na região em que o sistema for operar. Esta licença é provida, no Brasil, pela ANATEL. Uma representação gráfica de uma arquitetura envolvendo rádios de frequência fixa, de uso típico em sistemas de abastecimento hídrico, pode ser vista na Fig. 19:

Figura 19 - Representação gráfica de uma arquitetura envolvendo rádios de frequência fixa, de uso típico em sistemas de abastecimento hídrico - Fonte: Elaborada pelo autor

A arquitetura demonstrada na Fig. 19 constitui um sistema de radiocomunicação em que várias estações remotas se comunicam, por meio de antenas direcionais, com uma estação central localizada no CCO, que possui uma antena omnidirecional.

Em regiões em que a área de cobertura do sistema é prejudicada pela presença de morros ou edifícios, pode ser incorporada à arquitetura, uma estação repetidora. Esta estação tem a função de prover sinal a áreas em que ocorre uma “zona de silêncio” devido a estes bloqueios.

As repetidoras podem ser utilizadas, também, para aumentar a área de abrangência do sistema. Deve-se, no entanto, considerar que, em uma aplicação que envolva o uso de repetidoras, pode ser necessária a aquisição de licenças de uso de mais de uma frequência, como mostrado no esquema da Fig. 20:

Figura 20 – Representação gráfica da arquitetura de um sistema de rádio comunicação com o uso de repetidora -
Fonte: Elaborada pelo autor

Como opção ao sistema de radiocomunicação com frequência fixa, faz-se uso de sistemas baseados em rádio-modems que utilizam a tecnologia de espalhamento espectral ou *spread spectrum*.

O sistema de espalhamento espectral tem como principal vantagem, o compartilhamento de canais de frequência com um índice de interferência reduzido. A técnica envolvida neste sistema consiste em codificar e modificar o sinal de informação executando o seu espalhamento em um espectro de frequências. O sinal espalhado ocupa uma banda maior do que a informação original ocuparia sem a implementação desta técnica, possuindo também baixa densidade de potência.

Esta tecnologia produz uma baixa relação sinal/ruído no sinal transmitido, uma interferência quase imperceptível nos receptores convencionais. Como os transceptores alternam continuamente os canais de transmissão, permanecendo pouco tempo em cada canal,

eles possibilitam o compartilhamento de outras redes nos mesmos canais por meio de sistemas semelhantes.

Esta característica é desejável em áreas que apresentam grande índice de interferência eletromagnética, como zonas portuárias, por exemplo.

Os rádios *spread spectrum* apresentam ainda a vantagem de não necessitarem de licença de uso, desde que sejam atendidos os requisitos das Resoluções 282 e 305 da ANATEL, pois operam com baixos níveis de potência (até 1 Watt) e fazem uso de frequência livres, denominadas internacionalmente como bandas ISM (*Instrumentation, Scientific & Medical*) definidas nas faixas de 900 MHz, 2,4 GHz e 5,8 GHz.

Os métodos de espalhamento espectral mais utilizados, tanto em equipamentos de emprego militar como civil, são o por salto de frequência (*frequency hopping*) e o por sequência direta (*direct sequence*).

No método por salto de frequência, o sinal é transmitido, alternadamente, em vários canais de frequência, numa sequência pseudo-aleatória. Esta sequência é determinada por um circuito gerador de códigos que, na verdade, trabalha num padrão pré-estabelecido.

A recepção, por sua vez, deve estar sincronizada com a transmissão, ou seja, o receptor deve saber previamente a sequência de canais transmitidos para poder sintonizar estes canais e receber os pacotes de informações.

No método por sequência direta, o sinal a ser transmitido é multiplicado por um sinal codificador com característica pseudo-aleatória, conhecido como pseudo-*noise* (pseudo-ruído) ou PN-*code*. O sinal codificador é um sinal binário, gerado numa frequência muito maior do que a do sinal de informação. Ele é usado para modular a onda portadora da informação de modo a expandir a largura da banda do sinal de rádio-frequência transmitido.

No receptor, o sinal de informação é recuperado por meio de um processo complementar, usando um gerador de código local similar e sincronizado com o código gerado na transmissão.

Os sistemas de radiocomunicação por espalhamento espectral podem ser utilizados, em sistemas SCADA, para supervisão de redes de abastecimento hídrico, em arquiteturas ponto-multiponto e ponto a ponto.

A arquitetura ponto-multiponto funciona de forma análoga ao sistema de radiocomunicação com frequência fixa. Já a arquitetura ponto a ponto pode constituir um enlace isolado entre duas estações ou a expansão de uma rede de rádios de frequência fixa, por meio da utilização de um enlace de rádios de espalhamento espectral, com o intuito de alcançar uma região não coberta por esta rede.

A Fig. 21 mostra uma representação gráfica exemplificando esta arquitetura:

Figura 21 – Representação gráfica exemplificando a expansão de uma rede de rádios de frequência fixa por meio da utilização de um enlace de rádios de espalhamento espectral - Fonte: Elaborada pelo autor

4.5 Referenciais de análise para definição da arquitetura do sistema de supervisão

A grande revolução nos sistemas SCADA se deu com a introdução de dois padrões: o OPC para comunicação com os CLPs e demais dispositivos de controle, e os padrões da *web* para disseminar informações a baixo custo para todas as áreas da companhia.

Desde 1998 os supervisórios oferecem estações clientes leves que podiam exibir quaisquer dados da planta em um computador pessoal convencional dotado de um *browser*. Numa primeira fase as informações eram disponibilizadas para leitura, mas o usuário não podia interagir com o sistema. Uma vez vencidas as barreiras iniciais de segurança, hoje não existem mais limitações e uma planta pode ser supervisionada a quilômetros de distância de sua localidade geográfica.

Hoje em dia, como já exposto, os meios e os dispositivos de comunicação disponíveis para o estabelecimento de uma arquitetura de automação e controle são de uma enorme diversidade.

Esta gama de possibilidades, no entanto, deve ser encarada com cautela no planejamento da arquitetura de um sistema de automação aplicado a redes de abastecimento hídrico.

A arquitetura apresentada na Fig. 22, utilizada na Superintendência do Litoral da SABESP, ilustra diferentes tipos de estações pertencentes a um sistema de supervisão.

Figura 22 - Diagrama ilustrando diferentes tipos de estações pertencentes ao sistema de supervisão de arquitetura segmentada adotado na Superintendência do Litoral da SABESP - Fonte: Elaborada pelo autor

Dentro de uma proposta de segmentação da estrutura do sistema SCADA com vistas a aplicação em um sistema voltado à supervisão de redes de abastecimento hídrico, cada estação deve possuir privilégios específicos, de forma a organizar as atribuições pertinentes a cada tipo de usuário do sistema.

As estações 1 e 2, representadas na Fig. 22, são reservadas à operação do sistema, destinadas aos controladores de processo que possuem privilégios de monitoramento e atuação nos componentes do sistema de abastecimento hídrico. O acesso a essas estações acontece por meio de senha pessoal ou de biometria, estabelecendo um sistema de segurança e responsabilidade. Em alguns CCOs destinados à supervisão de grandes sistemas de abastecimento hídrico, o número de estações e de operadores pode chegar a quatro ou cinco, incluindo o engenheiro de processos. É comum, também, a projeção em painéis de grandes dimensões das telas de sinótico referentes à visão global de todo o sistema ou de uma área específica.

A estação 6, representada na Fig. 22, é reservada ao monitoramento remoto do sistema. Interligada a uma intranet, possibilita acesso às telas do sistema de abastecimento hídrico de uma região específica. Embora as tecnologias atuais possibilitem, como já descrito, a atuação em dispositivos remotos do sistema de abastecimento hídrico por meio desta estação, recomenda-se fortemente que tal privilégio seja restrito apenas aos controladores de processo presentes no CCO. Entretanto, com o aumento do tamanho e da complexidade do sistema de abastecimento hídrico, admite-se a distribuição das atividades de supervisão atribuídas ao CCO principal a CCOs secundários, que na Superintendência do Litoral da SABESP são denominados CCOs regionais. Tal distribuição, entretanto, deve vir acompanhada das seguintes condições:

- A supervisão dos CCOs secundários deve ser restrita ao subsistema de sua responsabilidade.

- A supervisão destes subsistemas deve ser subsidiada por um sistema integrado de informações operacionais de forma que os CCOs secundários disponham também de informações aos sistemas a eles associados.
- Os CCOs secundários devem operar em caráter de autonomia monitorada, orientados pelo CCO principal, gestor do macro-sistema.

A estação 3, representada na Fig. 22, reservada ao engenheiro de processos ou ao gerente de sistemas, pode ou não possibilitar a atuação nos componentes do sistema de abastecimento hídrico. No caso da habilitação deste privilégio, recomenda-se que esta estação encontre-se no mesmo ambiente físico das estações de operação, constituindo mais uma deste tipo, porém com a capacidade de emissão e impressão de relatórios.

A estação 4, representada na Fig. 22, é a estação de engenharia. Por meio desta estação é possível obter acesso a todos os módulos do sistema de supervisão. Esta estação é destinada aos desenvolvedores do sistema e, devido às amplas possibilidades a ela permitidas, em geral é de acesso restrito, ficando localizada em uma sala próxima ao CCO, porém separada dele.

As estações 5a e 5b, representadas na Fig. 22, que são o núcleo do sistema de supervisão, são as denominadas estações SCADA. Por meio destas estações é que é feito o acesso aos dispositivos de controle localizados nas estações remotas. Todas as intervenções, sejam elas de operação ou de engenharia (desenvolvimento), têm reflexo direto nestas estações. Nelas estão localizados a base de dados do sistema de supervisão, os históricos de comportamento das variáveis e o núcleo de gerenciamento de todo o sistema. Apenas uma estação opera de cada vez, fazendo a varredura e atualizando o valor de todos os dispositivos de campo na sua

base de dados. Enquanto isto, a outra estação aguarda em *stand-by* por alguma falha da estação principal e, caso isto ocorra, toma imediatamente o lugar desta por meio de um sistema de chaveamento automático, que transfere todo o aparato de comunicação para suas entradas de dados. Uma visão expandida das interfaces providas por estas estações podem ser vistas na Fig. 23 onde as estações SCADA são representadas pela nomenclatura “ESC”.

Figura 23 - Desenho ilustrando uma visão expandida das interfaces de comunicação das estações SCADA - Fonte: Elaborada pelo autor

4.6 Referenciais de análise para definição do sistema de gestão de informações sobre abastecimento hídrico

Nos anos 90, foram percebidos grandes avanços nas telecomunicações e informática. Nesse período, houve o surgimento da Rede Mundial de Computadores ou Internet e com isso, tornou-se possível às empresas, independentemente do local de suas instalações físicas, trocarem informações de uma forma bastante ágil.

Cerri (2004, p.27) afirma que a “problemática da ausência de integração das informações internas e dos sistemas de *software* departamentais foi praticamente extinta com o surgimento das redes de comunicação de dados e dos Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP)”. Medeiros e Ferreira (2003, p.141) expõem que “o grande ganho do ERP está na integração entre seus módulos. Diferentemente dos sistemas convencionais, em que os técnicos de desenvolvimento devem preocupar-se com a integração, os ERP encarregam-se disso naturalmente”.

Caracteriza-se, assim, o ERP como um conjunto de sistemas integrados de informação, que se utiliza de uma base de dados centralizada e que atende, em grande parte, às necessidades de democratização das informações operacionais de uma companhia, disponibilizando estas informações aos vários setores que a compõem.

Tendo-se por base a grande diversidade das companhias potenciais usuárias de sistemas ERP, é de se esperar que tais sistemas ofereçam grande flexibilidade para atendimento às necessidades diversificadas. Sabe-se, no entanto, que por maior que seja a flexibilidade

apresentada por tais sistemas, a escolha pela adoção de um pacote ERP comercializado por empresas fornecedoras desta solução, implica esforços de adaptação, da companhia que fez aquisição, ao pacote adquirido.

4.6.1 Desenvolvimento de sistemas de informação

Os Sistemas de Informação⁵ são definidos como “[...] os sistemas que permitem a coleta, o armazenamento, o processamento, a recuperação e a disseminação de informações” (BARRELLA; BRUNSTEIN, 2000, p.3).

Cerri (2004, p.27) explica que “[...] não existe a melhor forma ou uma única maneira de projetar um Sistema de Informação (SI). Aspectos como aplicabilidade, flexibilidade, tamanho, complexidade, e tecnologia não são comuns a todas as empresas. Ademais, as empresas que vão desenvolver um SI diferem em termos de capacidade, experiência, gestão e infra-estrutura tecnológica. Desta forma, torna-se imperativo que o desenvolvimento seja precedido de uma compreensão do negócio para o qual ele será utilizado[...]”.

Com base nesta necessidade de conhecimento aprofundado sobre os subsistemas internos à companhia e dos processos a serem integrados, é que muitas empresas que detêm a expertise no desenvolvimento de sistemas de integração de informações, optam por desenvolver os seus próprios, ao invés de optarem por soluções de mercado que acabariam por acarretar

⁵ Conceitua-se Sistema de Informação, como todo sistema que utiliza ou não recursos de informática para tratamento, geração e/ou manipulação de informações. Porém, neste trabalho, ao se discutir SI, o termo se refere àqueles que utilizam Tecnologia de Informação.

problemas como: conseqüente dependência do fornecedor do sistema de integração, falta do conhecimento sobre o pacote ERP e necessidade de eventuais alterações em processos internos para adaptação ao sistema adquirido.

Tais problemas podem alimentar a resistência à mudança na postura operacional dos setores que serão envolvidos no sistema ERP. De acordo como SACCOL (2003, p.329), “a utilização do ERP por si só não torna uma empresa verdadeiramente integrada. Da mesma forma, para que ela se torne orientada a processos, será necessária uma mudança de ordem cultural e, principalmente, comportamental. Algumas empresas não possuem um histórico, cultura e clima que permitam a adoção dessa atitude, enquanto que em outras empresas o ERP simplesmente contribuirá para operacionalizar uma postura já adotada.”

Ponderando-se os aspectos sobre a compra de uma solução ERP de mercado e o desenvolvimento de uma própria, a Superintendência do Litoral da SABESP optou por esta última.

O desenvolvimento de um Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico, que teve seu início na Superintendência do Litoral da SABESP no início de 2005, contribuiu para superar a morosidade do sistema causada pelo fato de que, até então, as informações de processo coletadas pelo CCO eram compartilhadas por meio de planilhas “físicas”, preenchidas a partir das informações obtidas do sistema de supervisão, da coleta de dados via radiocomunicação e por meio do contato via telefone com os operadores das estações remotas que não se encontravam integradas ao sistema de automação.

Uma vez que as informações coletadas pelo processo utilizado estão armazenadas em uma base de dados do sistema de supervisão, o desenvolvimento de um sistema de compartilhamento deve envolver, basicamente, a exportação contínua das informações para um banco de dados compartilhado pelos diversos setores que as utilizam.

A pré-existência de uma intranet corporativa também veio ao encontro da difusão das informações operacionais às diversas gerências que compõem a Superintendência do Litoral da SABESP.

4.6.2 O Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico

Este sistema incorpora aspectos demandados por diversos setores especializados da Superintendência. Entre eles estão:

- **Segmentação das atribuições do CCO principal:** a extensão do sistema de abastecimento gerenciado pela Superintendência do Litoral da SABESP explica a necessidade de divisão das atividades operacionais entre as gerências regionais que a compõem. A inexistência de um sistema integrado de informações operacionais, no entanto, impossibilita esta divisão, pois, uma vez que o sistema de bacias hídricas é integrado (as diversas cidades que integram o sistema compartilham os mesmos recursos), para que as atividades operacionais sejam distribuídas, é necessário que os CCOs regionais disponham também de informações sobre os sistemas a eles associados.

- **Integração de produção e consumo em um único sistema:** a inexistência de um vínculo contínuo de informações entre o sistema comercial de micro-medição e tarifação e o sistema de macro-medição (produção) determinam que a solicitação de dados ao CCO principal e ao departamento de hidrometria seja pontual e que o fornecimento se faça em planilhas “físicas”. A implantação de um sistema de gerenciamento e compartilhamento da informação permite que os dados solicitados possam ser disponibilizados de forma contínua e instantânea. Desta forma, os reflexos que as atitudes operacionais causam em outras instâncias da companhia podem ser analisados de uma forma muito mais efetiva.

- **Integração das atividades de manutenção em um único sistema:** considerando-se a estreita ligação da manutenção à operação do sistema de abastecimento hídrico, a demora em identificar a razão de eventuais quedas no desempenho de determinados setores do sistema de abastecimento hídrico, bem como a impossibilidade de priorizar a manutenção de um sistema em relação a outros, exige que, para atuar de forma mais ágil e efetiva, o setor de manutenção possa tanto obter informações de necessidades de intervenção integradas aos dados operacionais do sistema, quanto identificar os impactos causados pela perda de sistemas.

- **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de perdas hídricas:** a falta de informações organizadas e sistemáticas sobre as perdas de recursos hídricos no sistema impede a realização de um trabalho articulado por parte dos controladores de saneamento dos diversos CCOs e a priorização do equilíbrio do sistema. A estruturação de um sistema com a função de orientar as atitudes operacionais a partir de informações

por ele disponibilizadas permite que os resultados obtidos possam ser transformados em subsídios operacionais como faixas ótimas de operação de reservatórios, vazões e pontos de pressão nas principais adutoras, e superar com isso o problema de desarticulação dos diversos setores envolvidos.

- **Implementação de um sistema de comparação entre os dados obtidos pelo processo de análises químicas e da instrumentação analítica de processo:** a impossibilidade de exercer a análise contínua de variáveis químicas que determinam a qualidade da água em um número maior de pontos do processo é suprida por coletas periódicas de água em diversos pontos do sistema de saneamento. A falta de integração entre as informações obtidas a partir da análise contínua das variáveis químicas, feita pela instrumentação de processo, e as informações provenientes da análise laboratorial, acaba por comprometer a percepção da possível necessidade de aferição de algum analisador de processo ou da contaminação da água em pontos intermediários do sistema. Subsidiar o setor de manutenção dos sistemas de instrumentação de processo mediante a implementação de um sistema de comparação com os dados obtidos pelo processo laboratorial de análises químicas representa a possibilidade de superação desse problema, bastando que, para isto, os dados oriundos da instrumentação de campo sejam disponibilizados no sistema de gestão ao lado dos dados resultantes do departamento de análises químicas.

A clareza na exposição das necessidades de cada setor usuário do Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico e o envolvimento direto destes setores no desenvolvimento deste sistema possibilita a construção de uma arquitetura integrada de fácil adaptação com relação à sua operação, fato que poderá colaborar para a mudança cultural de uma visão departamental para a uma visão de processos.

O resultado do desenvolvimento desta arquitetura envolve um sistema modular, em que cada setor da companhia é responsável pela entrada de dados referentes à sua área de competência. Estes dados ficam disponíveis a outros setores que, por sua vez, também disponibilizam os seus dados.

A partir do caso da Superintendência do Litoral da SABESP observa-se que o acesso aos diversos módulos do Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico é feito por meio da intranet corporativa da companhia. O acesso a esta intranet, restrito a apenas localidades internas à companhia, em conjunto com medidas de proteção como *firewalls* e sistemas de *backup* implementados nos servidores de dados, garantem a segurança das informações.

Cada setor usuário das informações possui acesso apenas aos módulos de sua competência, cuja entrada de dados é de sua responsabilidade. Quando os dados são de interesse coletivo, o acesso também é permitido mesmo aos módulos cuja responsabilidade é de outros setores, desde que com o uso de senhas, que habilitam apenas a visão das informações, e em situações específicas, também a sua edição.

4.6.3 Módulo de controle operacional

Este módulo é integrado diretamente com a base de dados do sistema de supervisão do CCO principal da companhia. As informações de processo do sistema de abastecimento

hídrico são obtidas dessa base de dados e armazenadas no servidor SQL do Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico.

O módulo de controle operacional tem também seu banco de dados alimentado por informações inseridas pelos operadores dos CCOs regionais. Estas informações ficam disponíveis a todos os CCOs regionais, além do CCO principal, e subsidiam as decisões operacionais de cada CCO. A partir do aumento ou da diminuição da demanda de abastecimento de cada região, é possível, por meio de consulta às informações de cada subsistema, avaliar o que implica o desvio de recursos hídricos de uma região para outra, atitude tomada pelo gestor do macro-sistema, o CCO principal. É possível também que o CCO principal, a partir das informações disponibilizadas pelos CCO regionais, reoriente a operação de cada subsistema para que não sejam afetados por intervenções nas linhas principais de adução que os alimentam.

A planilha de compartilhamento de informações do módulo de controle operacional do Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico, que ilustra como as informações são disponibilizadas, pode ser vista na Fig. 24.

FIX	Geral	Suporte	Peruibe	Itanhaém	Mongaguá	Praia Grande	São Vicente	Cubatão	Santos	V. Carvalho	Guarujá	Bertioga	MASPP	Compl											
Planilha - Peruibe					5/11/2008	ddmmaaaa	Pesq	Impr	Correções: Digitação						Relatório	Ocorrências									
Se a impressão não couber na página, configure a escala para melhor visualização de no mínimo 60% em:																									
Arquivo/Imprimir/Layout/Paisagem/Avançado/Gráfico/Colocar em escala																									
NI:Leituras não informadas pelos operadores para o controle FO:Fora de Operação RN:Ronda																									
5/11/2008	Ind. Pluv.	Vazão l/s	Leitura Macro Produzido m³	Volume Produzido m³	Nível m	Cloro ppm	Fluór ppm	Turb Bruta uT	Turb Final uT	pH	Cor uC	Nível m	Vazão l/s	Press Suc mca	Press Rec mca	Press Escritório mca	Vazão l/s	Leitura Macro Produzido m³	Volume Produzido m³	Cloro ppm	Fluór ppm	Turb uT	pH	Cor uC	
(0)	Conform. Produto	(35)	(1)	(43)	(45)	(2)	(3)	(4)	(5)	(42)	(6)	(29)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(25)	(44)	(46)	(30)	(31)	(33)	(32)	(34)
0		212,82			6,38	3,71	FO	0,32	0,39	6,94	3,53	6,74	0,37	38,24	66,12	12,00	5,97			3,17	0,70	0,49			
1		214,27			6,87	3,70	FO	0,34	0,37	7,54	3,51	6,52	0,37	18,68	66,23	12,00	5,67			3,20	0,75	0,49			
2		213,76			7,33	3,70	FO	0,34	0,34	7,75	3,57	6,97	0,37	30,87	65,97	12,00	5,49			3,43	0,76	0,49			
3		FO			7,20	FO	FO	FO	FO	FO	FO	7,08	0,37	25,71	65,97	12,00	5,42			3,50	0,77	0,49			
4		FO			7,02	FO	FO	FO	FO	FO	FO	6,97	0,37	21,29	66,01	12,00	5,58			3,32	0,73	0,49			
5		FO			6,83	FO	FO	FO	FO	FO	FO	6,97	0,37	20,27	66,01	NI	5,64			3,31	0,72	0,46			
6		FO			6,52	FO	FO	FO	FO	FO	FO	7,08	0,37	22,27	66,04	20,00	5,68			2,85	0,73	0,49			
7		FO			6,07	FO	FO	FO	FO	FO	FO	6,97	0,37	24,15	66,04	NI	6,29			2,42	0,65	0,49			
8		FO			5,46	FO	FO	FO	FO	FO	FO	7,08	0,37	23,13	66,04	20,00	7,46			2,24	0,56	0,54			
9		FO			4,73	FO	FO	FO	FO	FO	FO	7,08	0,37	38,61	66,01	20,00	8,37			2,97	0,57	0,68			
10		211,80			4,11	3,77	FO	0,78	0,37	6,79	3,58	7,08	0,37	31,80	65,97	20,00	9,36			2,97	0,62	0,54			
11		210,68			3,86	3,73	FO	0,59	0,34	7,98	FO	6,97	0,37	13,21	65,97	20,00	8,51			3,10	0,66	0,54			
12		210,09			3,64	3,72	FO	0,44	0,37	8,08	0,00	6,85	0,37	11,06	65,97	20,00	8,62			3,98	0,70	0,49			
13		210,17			3,61	3,75	FO	0,37	0,34	8,11	0,00	6,18	0,37	13,75	66,01	20,00	8,08			3,98	0,82	0,49			
14		209,49			3,63	2,74	FO	0,39	0,34	8,89	0,00	5,73	0,37	10,89	66,41	20,00	8,12			3,74	0,68	0,49			
15		210,00			3,66	3,69	FO	0,39	0,37	8,05	0,00	5,28	0,37	13,72	66,37	20,00	7,97			2,39	0,69	0,46			
16		208,97			3,72	3,71	FO	0,39	0,37	8,00	0,00	4,83	0,37	21,98	66,37	20,00	6,72			2,42	0,67	0,49			
17		208,97			3,79	3,68	FO	0,39	0,37	7,99	0,00	4,38	0,37	39,02	65,97	20,00	7,76			2,07	0,63	0,49			

Figura 24 – Planilha de compartilhamento de informações do módulo de controle operacional ilustrando a disposição das informações operacionais obtidas a partir do sistema de supervisão - Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008

4.6.4 Módulo de solicitações de manutenção

Este módulo é integrado ao módulo de controle operacional e tem seu banco de dados abastecido por entradas de dados provenientes tanto dos CCOs regionais e principal quanto do departamento de manutenção central da Superintendência do Litoral da SABESP.

Na ocorrência de problemas com as estações remotas que comprometam a operação do sistema de abastecimento hídrico, o CCO responsável pela operação do setor onde o problema ocorra, após tomar as contramedidas operacionais de contorno do problema, insere no módulo de solicitações de manutenção a ocorrência. A integração desta informação com o módulo de controle operacional está no fato da informação de solicitação de manutenção permanecer vinculada à planilha de dados operacionais do setor em que o problema ocorreu. Com as duas

informações vinculadas, a detecção de uma queda significativa no desempenho do sistema de abastecimento hídrico possibilita a tomada de decisão que oriente à equipe de manutenção na priorização da restauração de um sistema em relação a outro, que não venha causando um impacto de mesma amplitude no sistema de abastecimento.

Depois de realizada a solicitação de manutenção, o departamento de manutenção faz o agendamento da intervenção, colocando a data em que ela ocorrerá ao lado da solicitação. Desta forma, os CCOs têm uma dimensão melhor do tempo em que precisam operar em caráter de contenção, otimizando assim o uso dos recursos hídricos para a situação que se apresenta.

Uma vez realizada a manutenção do sistema defeituoso, o departamento de manutenção sinaliza a “baixa” da ocorrência no sistema, orientando ao CCO responsável que passe a operar em condições normais.

4.6.5 Módulo de análise e solução de problemas de perdas

Embora o estudo de problemas de perdas hídricas seja feito regularmente, nem sempre os resultados deste estudo têm significativo reflexo operacional.

A partir da implantação do módulo de análise e solução de problemas de perdas no sistema ERP da companhia, os resultados destes estudos, depois de transformados em

parâmetros operacionais, podem ser difundidos aos diversos CCOs, orientando as tomadas de atitudes dos operadores.

Este módulo consiste em uma planilha que indica os limites de operação dos principais pontos de produção, reserva e abastecimento do sistema, como os níveis, as vazões e pressões máximas e mínimas admitidas em cada ponto. Como o sistema de abastecimento hídrico é dinâmico e sazonal, tais limites variam com relativa frequência, influenciados pela construção de novas estações remotas (captações, elevatórias ou reservatórios) ou mesmo pelo deslocamento da população às cidades litorâneas nos finais de semana ou em período de férias.

Os dados que alimentam esta planilha, que pode ser vista na Fig. 25, são inseridos nos estudos de perdas hídricas da Superintendência do Litoral da SABESP e ficam disponíveis a todos os setores operacionais desta superintendência, que os utilizam como parâmetros de controle do sistema.

Definição de Limites de Controle												
Implantação: 2/1/2008 Período: 1/1/2007 à 31/1/2007 Ponto: Nivel R1 (TXT1)												
Gráfico	Limite Superior Controle	Limite B+	Limite A+	Limite Médio	Limite A-	Limite B-	Limite Inferior Controle	Meta Técnica	Auto correlação	Observação	Editar	Exc
DESVIO	0,79	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,30	0,00	0,000000	*	✓	✗
X-BARRA-S	3,56	3,44	3,33	3,22	3,10	2,99	2,88	0,00	0,000000	*	✓	
Implantação: 4/12/2007 Período: 1/12/2006 à 31/12/2006 Ponto: Nivel R1 (TXT1)												
Gráfico	Limite Superior Controle	Limite B+	Limite A+	Limite Médio	Limite A-	Limite B-	Limite Inferior Controle	Meta Técnica	Auto correlação	Observação	Editar	Exc
DESVIO	0,79	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,30	0,00	0,000000	*	✓	✗
X-BARRA-S	3,86	3,74	3,63	3,52	3,41	3,29	3,18	0,00	0,000000	*	✓	
Implantação: 6/11/2007 Período: 1/1/2007 à 6/1/2007 Ponto: Nivel R1 (TXT1)												
Gráfico	Limite Superior Controle	Limite B+	Limite A+	Limite Médio	Limite A-	Limite B-	Limite Inferior Controle	Meta Técnica	Auto correlação	Observação	Editar	Exc
DESVIO	0,87	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,33	0,00	0,000000	*	✓	✗
X-BARRA-S	3,41	3,28	3,16	3,03	2,91	2,79	2,66	0,00	0,000000	*	✓	

Figura 25 – Planilha do módulo de análise e solução de problemas de perdas ilustrando a disposição das informações sobre os limites de operação dos principais pontos do sistema - Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008

O módulo de análise e solução de problemas de perdas possui também um componente de quantificação das perdas no sistema e inter-relação entre o volume hídrico produzido e o efetivamente consumido. Para tanto, este componente do módulo recebe dados do departamento de macro-medição da companhia, responsável pela quantificação do volume hídrico produzido, e do departamento de micro-medição, ou hidrometria, responsável pela quantificação do volume hídrico consumido. A partir destas informações, o sistema ERP faz o cruzamento dos dados, produzindo planilhas e gráficos das perdas totais do sistema ou separadas por setor. Tal informação subsidia a busca por soluções no controle de perdas de setores em que estas são elevadas, ou mesmo o alerta caso algum setor venha a apresentar um aumento significativo no seu volume de perda, fato que pode estar relacionado ao rompimento de adutoras ou a desvios operacionais.

4.6.6 Módulo de dados de análises químicas

Os dados operacionais sobre a qualidade da água são providos por sistemas contínuos de análise, constituídos por analisadores de processo que operam nas estações remotas do sistema de abastecimento hídrico, fornecendo informações sobre o pH e a turbidez da água, bem como sobre a concentração de cloro e flúor, entre outras variáveis químicas medidas. Estes analisadores, apesar da sua constante manutenção e aferição, podem sofrer desvios de indicação.

O departamento de análises químicas da Superintendência do Litoral da SABESP realiza a coleta de amostras de água nos diversos pontos do sistema para análises laboratoriais e emissão de relatórios para certificação da qualidade da água coletada e distribuída.

No Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico as informações disponibilizadas pelos analisadores de processo juntamente com a resultante das análises laboratoriais possibilitam maior eficácia na evidência dos seguintes aspectos:

- Na necessidade de aferição, manutenção ou troca dos analisadores de processo que apresentam desvios em relação à análise laboratorial.
- Na detecção de contaminações ocasionadas em pontos intermediários do sistema de abastecimento. Tal fato é evidenciado quando o local de coleta laboratorial, em pontos do sistema por onde a água passa após a análise dos analisadores contínuos de processo, apresenta desvios em relação à leitura destes. Após a verificação destes analisadores contínuos e a constatação de que se encontram em perfeitas condições, basta delimitar o espaço entre eles e o ponto em que foi constatado o desvio laboratorial para que se possa realizar uma busca pela causa do problema.

As informações que alimentam o módulo de dados de análises químicas do ERP são provenientes da base de dados do sistema de supervisão, que faz a coleta dos dados dos analisadores contínuos de processos, e do departamento de análises químicas da Superintendência do Litoral da SABESP, que insere no ERP os resultados das análises, de acordo com a data em que elas foram efetuadas. O sistema de gestão aloca estes dados na

mesma planilha que inclui as informações provenientes dos analisadores de processo, permitindo a comparação. A Fig. 26 a seguir ilustra a disposição dos dados.

Dados dos analisadores de processo

(0)	(1)	(2)	(63)	(3)	(66)	(67)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(64)	(65)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
Conform.			1,00				3,00/0,60/	0,60/6,50/	6,50/5,00	0,80	9,00	5,00	1,00			3,00/0,60/	0,60/6,50/	6,50/5,00	0,80	9,00	1,50/5,00	
0	54,52	2,77	0,53	614,95			4,28	0,56	7,33	4,50	0,30	621,17			4,37	0,68	8,23	60,00	0,00	0,00	27,34	0,00
1	53,64	2,77	0,53	744,88			4,23	0,61	7,48	4,00	0,41	762,47			4,35	0,68	7,74	57,00	0,00	0,00	20,78	0,00
2	53,73	2,77	0,53	737,94			4,56	0,73	7,55	4,90	0,54	747,09			4,76	0,70	7,59	57,00	0,00	0,00	46,45	0,00
3	53,77	2,77	0,53	728,50			4,55	0,67	7,45	5,00	0,41	739,16			4,52	0,71	7,57	53,00	0,00	0,00	46,90	0,00
4	32,05	3,11	0,53	535,28			4,73	0,71	7,43	4,80	0,37	536,94			4,52	0,68	7,79	37,00	0,00	0,00	25,23	0,00
5	30,60	3,10	0,53	519,53			4,64	0,72	7,49	4,30	0,34	521,99			4,53	0,69	7,92	36,00	0,00	0,00	24,45	0,00
6	29,90	3,09	0,53	523,98			4,54	0,75	7,51	4,00	0,33	527,79			4,27	0,69	7,79	34,00	0,00	0,00	13,89	0,00
7	28,24	3,08	0,53	534,61			4,50	0,69	8,11	4,20	0,34	536,64			4,53	0,71	7,85	34,00	0,00	0,00	18,67	0,00
8	27,73	3,08	0,53	536,87			4,40	0,68	7,81	4,00	0,37	542,13			4,60	0,71	7,89	33,00	0,00	0,00	17,89	0,00
9	32,67	2,98	0,53	617,13			4,59	0,71	7,73	4,00	0,35	599,20			4,55	0,72	7,90	45,00	0,00	0,00	25,12	0,00
10	51,17	2,78	0,53	787,33			4,47	0,77	7,67	4,10	0,36	799,89			4,49	0,61	7,71	54,00	0,00	0,00	41,45	0,00
11	52,58	2,78	0,53	798,44			4,74	0,71	8,08	4,40	0,37	813,93			4,77	0,72	7,64	55,00	0,00	0,00	42,89	0,00
12	52,53	2,79	0,53	805,26			4,45	0,70	7,97	4,70	0,37	820,34			4,59	0,72	7,75	55,00	0,00	0,00	32,23	0,00
13	52,12	2,79	0,53	803,08			4,20	0,71	7,97	0,70	0,36	818,51			4,63	0,72	7,82	54,00	0,00	0,00	29,56	0,00
14	52,60	2,80	0,53	799,43			4,44	0,70	7,98	4,50	0,44	812,83			4,51	0,72	7,83	55,00	0,00	0,00	33,56	0,00
15	53,06	2,80	0,53	791,18			4,61	0,71	7,94	4,30	0,37	812,53			4,36	0,72	7,79	55,00	0,00	0,00	35,12	0,00
16	53,30	2,80	0,53	785,94			4,29	0,71	7,95	4,20	0,35	807,22			4,54	0,73	7,80	55,00	0,00	0,00	34,00	0,00
17	53,40	2,80	0,53	787,53			4,73	0,71	7,92	4,00	0,36	806,91			4,05	0,73	7,80	55,00	0,00	0,00	32,56	0,00
18	53,75	2,79	0,53	743,18			4,14	0,60	7,87	4,10	0,37	756,07			3,43	0,65	7,63	57,00	0,00	0,00	37,78	0,00
19	53,64	2,78	0,53	747,14			4,59	0,74	7,47	4,30	0,35	762,96			4,63	0,75	7,37	57,00	0,00	0,00	34,00	0,00
20	41,28	3,15	0,53	624,07			4,66	0,76	7,70	4,50	0,34	633,38			5,00	0,72	7,53	48,00	0,00	0,00	39,34	0,00
21	28,17	3,08	0,53	538,18			4,90	0,84	8,30	4,60	0,46	542,44			5,00	0,79	7,86	33,00	0,00	0,00	28,56	0,00
22	27,61	3,07	0,53	538,46			4,68	0,69	7,52	4,20	0,36	540,91			4,44	0,69	8,41	33,00	0,00	0,00	20,67	0,00
23	27,34	3,07	0,53	535,01	70.656,80	0,00	4,67	0,73	7,55	4,50	0,34	541,52	8.131,61	57.893,00	4,65	0,71	7,77	33,00	0,00	0,00	17,78	0,00
NetCentral - RSO																						
28/10/2008	J.MIRIM				PIAÇAGUERA										VICENTE CARVALHO							
Hora	Press mca	Nível m	Turbidez uT	Vazão l/s	Leitura Macro Produzido 8/36 m³	Volume Produzido 8/36 m³	Cloro ppm	Fúor ppm	pH	Cor uC	Turb uT	Vazão l/s	Leitura Macro Produzido 25/36 m³	Volume Produzido 25/36 m³	Cloro ppm	Fúor ppm	pH	Press mca	Vazão l/s	Nível m	Press mca	Válvula By Pass %
09:19	*	*	*	*	Val/1000	*	4,10	0,65	7,70	1,20	0,60	*	Val/1000	*	4,10	0,64	7,70	*	*	*	*	*

Dados do departamento de análises químicas

Figura 26 – Planilha do módulo de dados de análises químicas, ilustrando a disposição das informações obtidas a partir dos dados dos analisadores de processo, em comparação com os dados obtidos por meio de análises laboratoriais- Fonte: Sistema Integrado de Compartilhamento e Gestão de Informações de Abastecimento Hídrico da SABESP - Superintendência do Litoral, 2008

5. CONCLUSÃO

5.1 Resultados e proposições

As soluções apresentadas nesta pesquisa foram sendo implementadas na Superintendência do Litoral da SABESP no decorrer de mais de oito anos. Este tempo permitiu que as técnicas e os métodos apresentados atingissem o grau de maturação necessário para que fosse estabelecido um modelo de automação confiável, não apenas no que tange a aspectos tecnológicos, mas também a seu gerenciamento e manutenção.

As estações remotas, que em grande número apresentavam necessidade de operação local, por meio de um sistema automático de monitoração e controle de variáveis, puderam funcionar de forma autônoma, permitindo a liberação dos operadores para outros setores da empresa, como os de manutenção, responsável por manter o sistema de automação em funcionamento e o de operação volante, encarregado de obter amostras de água em diversos pontos do sistema de abastecimento para garantir a qualidade do recurso hídrico provido.

A variada gama de recursos de comunicação disponíveis, possibilitou a expansão dos benefícios da automação e da monitoração remota a praticamente todas as localidades do sistema de abastecimento hídrico, em especial aos locais de difícil acesso, como captações de água e reservatórios no alto de morros.

Uma arquitetura de supervisão segmentada veio ao encontro da inevitável necessidade de expansão do sistema de automação, possibilitando um controle mais efetivo de todo o sistema de abastecimento, por meio da difusão de dados operacionais proporcionada pela implementação de um sistema de gestão de informações que veio facilitar o acesso dos CCOs regionais a informações sobre os sistemas de abastecimento hídrico associados às suas regiões de atuação.

Tal sistema de difusão de informações possibilitou também a melhora de diversos aspectos relacionados ao sistema de abastecimento hídrico, como mais eficácia na comunicação das necessidades de manutenção de componentes do sistema, integração entre os setores de produção e consumo e melhoria no controle de perdas hídricas, diminuindo o índice destas, segundo informações do departamento de estudos de perdas hídricas da Superintendência do Litoral da SABESP, de um patamar próximo a 40% para valores por volta de 32%. Este índice vem caindo a cada ano e estima-se que, com a expansão na implementação dos recursos de automação e gestão dos sistemas de abastecimento hídrico, ele chegue a valores próximos de 24%.

No entanto, a realidade pela qual passa o setor de saneamento básico em muitas partes do Brasil ainda não reflete tais índices de melhoria. As dificuldades são várias como: baixo índice de cobertura, qualidade ruim dos serviços, problemas de interferência política, baixos investimentos do governo (por falta de disponibilidade financeira), etc.

Desta forma, devem-se buscar mecanismos que possibilitem o desenvolvimento de pesquisas para este setor, de forma que as soluções desenvolvidas e as técnicas implementadas possam ser difundidas e disponibilizadas, constituindo um *set* de tecnologias

que, se utilizadas corretamente, implicam a melhor gestão de distribuição e controle de perdas dos recursos hídricos.

A evolução das tecnologias é cada vez mais rápida, e o surgimento de novas técnicas e equipamentos proporciona cada vez mais opções para a integração de sistemas de grande porte e para os de proporção reduzida, como os presentes em pequenas cidades.

Tecnologias que já são realidade nos sistemas de telecomunicações como o WiMAX e redes de telefonia celular 3G ainda têm sua aplicabilidade pouco explorada no setor de automação de sistemas distribuídos e podem constituir o mote de novas pesquisas quanto à sua utilização na automação de sistemas de abastecimento hídrico.

A importância da divulgação destas soluções e conhecimentos tecnológicos se dá, também, em função da constante e crescente evolução e da aplicabilidade natural destas técnicas na diversidade de configurações, topologias e arquiteturas existentes nas redes de abastecimento de água.

Espera-se, portanto, que este trabalho forneça indicadores da necessidade de aprofundamento de pesquisas no setor de saneamento e que venha contribuir para a difusão de conhecimentos tecnológicos disponíveis nesta área.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL **Manual de Projetos Técnicos (SITAR)**. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalRedireciona.do?caminhoRel=Empresas&codigoDocumento=60402>>. Acesso em: 14 ago. 2008.

ANDRADE, A. A. **Emprego de Sistemas Especialistas em Sistemas Supervisórios de Automação Industrial**. São Paulo: Dissertação (Mestrado) – EPUSP, 2001.

BAPTISTA, J.M. Como Melhorar a Qualidade em Sistemas de Abastecimento de Água. In: 4º CONGRESSO DA ÁGUA, 1998, Lisboa (Portugal), **Anais eletrônicos...** 1998. Disponível em <www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/c71.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2008.

BARRELLA, W.D.; BRUNSTEIN, I. Necessidades e tendências dos sistemas ERP, 2000. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO UNESP, 2000, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru, 2000. Disponível em: <<http://www.simpep.feb.unesp.br/anais7/ana7c.html>>. Acesso em: 14 nov. 2008, p.1-3.

BERGE, J. **Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation, Maintenance**. Carolina do Norte, EUA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1998.

BERG, O. BERG, T. HJELMSTAD, J.F. HAAVIK ,S. SKAUG, R. **Spread Spectrum in Mobile Communication**. Nova Jersey (EUA): IET, 1998.

CARDOSO, C. A. **GPRS, EDGE, 1XRTT e Porque Não Wi-Fi.** Disponível em <www.wince.com.br/cgi-bin/comparacoes/03.idc?IDComparacoes=30>

Acesso em: 02 ago. 2008.

CERRI, M, L. **Enterprise Resource Planning: Um estudo sobre estratégias de implantação.** São Paulo: Dissertação (Mestrado) – EP-USP, 2004, p.20-33.

CARMO, C. M. TÁVORA JÚNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 2003, Porto Seguro, **Anais...** 2003, p.3-5. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2003/artigos/D32.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2008.

COELHO, M.S. FONSECA, F. R. **Apostila de Instrumentação Digital.** São Paulo: SENAI, 2006.

COELHO, M.S. LOBUE F. S. **Apostila de Sistemas Digitais de Controle.** São Paulo: SENAI, 2006, p.10-50.

CORRIPIO, A. B. **Tuning of Industrial Control Systems.** Carolina do Norte, EUA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2000.

DI BERNADO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** São Paulo: RIMA, 2005.

EBATA, Y. Development of the Intranet based SCADA (supervisory control and data acquisition system) for power system. In: POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER

MEETING, 2000, Cingapura, **Anais...** 2000, p.20-80. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/6841/18401/00847593.pdf?arnumber=847593>>. Acesso em: 08 fev. 2008.

FILHO, M. Automação no saneamento básico: diferentes necessidades para um mesmo objetivo. **Controle & Instrumentação**, São Paulo ed. 61, 2001, p.50-62.

MEDEIROS, A.C.M.; FERREIRA, S.B.L. Administração de projetos complexos: ERP na Petrobras, São Paulo, 2003. In: SOUZA, C.A.; SACCOL, A.Z. (Org.). **Sistemas ERP no Brasil: teoria e casos**. São Paulo, 2003.

HOUAISS - **Dicionário online**. Disponível em : <<http://houaiss.uol.com.br/>>. Acesso em: 06 dez. 2008.

MOLLENKAMP, R. A. **Controle Automático de Processos**. São Paulo, Ebras, 1995.

MURRILL, P. W. **Fundamentals of Process Control Theory**. Carolina do Norte, EUA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1998.

PEREIRA, S. L. **Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação**. Tese de Doutorado, EP-USP, 1995.

PEREIRA, S. L. SOUZA, M. Instrumentação inteligente empregada na gestão de sistemas de tratamento de água e análise de benefícios e vantagens. **Controle e Instrumentação**, São Paulo, Ano 10, n.117, 2006, p.58-66.

PETTERSON, R, **Visuals for Information: Research and Practice**. California , EUA: Educational Technology Publications, 1989.

SABESP – **Site da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. Disponível em <<http://www.sabesp.com.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2008.

SACCOL, A.Z. Um olhar crítico sobre modismos em tecnologia da informação: analisando o discurso dos vendedores de pacotes ERP, 2003. In: SOUZA, C.A. SACCOL, A.Z. (Org.). **Sistemas ERP no Brasil: teoria e casos**. São Paulo: Atlas Paulo, 2003. p.324-347.

SILVEIRA, P.R. & SANTOS, W.E. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo: Érica, 1998, p.20-24.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**, 2002. Brasília, DF. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diag_2002_ae.htm>. Acesso em: 01 nov. 2008.

SVERZUT, J. U. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS - Evolução a Caminho da Terceira Geração (3G)**. São Paulo: Érica, 2005.

TROJAN, F. MARÇAL, R. RESENDE, L.M. STLADER, C.C. Automação em sistemas urbanos de abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas de produção. In: I ENCONTRO ESTADUAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO E I SIMPÓSIO DE GESTÃO INDUSTRIAL, 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, PR, 2000.