



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

Antônio Sérgio Spolaor

Automação nos sistemas de abastecimento de água.
Caso do controle da reservação de distribuição

Campinas

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Antônio Sérgio Spolaor

**Automação nos sistemas de abastecimento de água.
Caso do controle da reservação de distribuição**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior

Campinas

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

Sp65a Spolaor, Antônio Sérgio
Automação nos sistemas de abastecimento de
água. Caso do controle da reservação de
distribuição. / Antônio Sérgio Spolaor. --Campinas,
SP: [s.n.], 29/0.

Orientador: Edevar Luvizotto Junior.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual
de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo.

1. Automação industrial. 2. Abastecimento de
água. 3. Controladores programáveis. 4.
Inteligência artificial. I. Luvizotto Junior, Edevar. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III.
Título.

Título em Inglês: Automation in water supply systems. Case of the
reservation control distribution.

Palavras-chave em Inglês: Industrial automation, Water supply,
Programmable controlers, Artificial intelligence

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Miguel Mansur Aisse, Bruno Coraucci Filho

Data da defesa: 29-08-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Automação nos sistemas de abastecimento de água.
Caso do controle da reservação de distribuição.**

Antônio Sérgio Spolaor

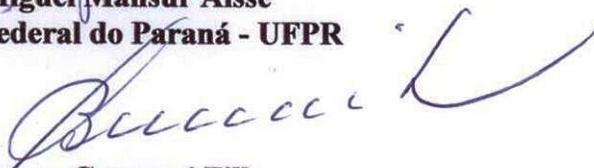
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior
Presidente e Orientador – Universidade Estadual de Campinas - FEC**



**Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná - UFPR**



**Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
Universidade Estadual de Campinas - FEC**

Campinas, 29 de agosto de 2011.

Dedico este trabalho:

Aos meus pais, Mário Spolaor (*in memorian*) e Nair Maria Spolaor, pelo amor e pela dedicação com que me educaram e pela formação que conseguiram me dar.

Ao meu pai, Mário Spolaor (*in memorian*), que foi uma lição de vida, uma referência de dignidade e de amor.

À minha mãe, Nair Maria Spolaor, que é a principal causa de minha formação.

À minha esposa Orleida, por seu amor, carinho, amizade, apoio e compreensão.

Aos meus queridos filhos Maria Clara e Lucas, minhas riquezas. Dois presentes de Deus.

Aos meus irmãos, irmãs, cunhados e cunhadas pelo apoio incondicional.

A todos os meus amigos.

Agradecimentos

A Deus, pela vida, pela realização deste trabalho e pela paciência e amor com que nos ensina.

Ao Prof. Dr. Edevar Luvizotto Junior, pela orientação, apoio, e pelos ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pelo apoio, e pelos ensinamentos;

Ao Eng. José Paulo Zamarioli e a Eng^a. Mizue Terada pelo apoio e colaboração;

Ao Eng. Nathanael Silva Jr, pela colaboração e apoio na etapa final do trabalho;

Ao Eng. Caio Augusto Rocha Abreu, pela colaboração;

Ao amigo MSc Fernando Colombo pelo incentivo e colaboração;

Aos amigos Eng. Dr. Luciano Reami, e Eng. MSc Alex Henrique Veronêz, pelo apoio e colaboração;

Aos amigos e companheiros de ida a Campinas, Eng. MSc Orlando Antunes Cintra Filho, Eng. MSc Alex Henrique Veronêz, Eng. Dr. Luciano Reami, Quím. Luis Antonio Salomão, Econom. Vanderlei Pim e Quím. Márcia Aparecida Bortoliero;

Aos amigos de trabalho, Técn. Clécio Juliano de Oliveira, Técn. Sidney Inácio de Almeida e a Secr^a. Rafaela Teixeira Guimarães;

Aos amigos MSc Luccas Erickson de Oliveira Marinho e Dr^a.Daniele Tonon Dominato pelo apoio;

Aos funcionários da Unidade de Santa Rosa de Viterbo - Sabesp, regional de Franca pela colaboração no trabalho;

A todos os profissionais da RG que não foram citados e que colaboraram de alguma forma com este trabalho.

A Paula e toda sua equipe, da secretaria da pós-graduação, que sempre me atendeu prontamente, com muita competência e dedicação.

“Quem conduz e arrasta o mundo não são as máquinas, mas as idéias.”

Victor Hugo

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isto fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”

Isaac Newton

Resumo

SPOLAOR, Antônio Sérgio, **Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2011. 121p. Dissertação (Mestrado), 2011.

A automação industrial aplicada em sistemas de abastecimento de água até pouco tempo atrás era bastante simples. Com o advento dos Controladores Programáveis, associado ao desenvolvimento da moderna teoria de controle, permitiu uma automação maior e mais efetiva destes sistemas. Este trabalho discute a utilização da automatização em sistemas de saneamento implementando “inteligência artificial” para tomada de decisão operacional, visando uma melhor distribuição de água entre reservatórios de distribuição. A aplicação dos resultados pode trazer ganhos relacionados ao atendimento das demandas diárias de água do sistema de distribuição. Esta dissertação sob o título de “Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição” foi aplicada em um projeto desenvolvido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, na cidade de Santa Rosa de Viterbo, no qual vários conceitos de automação foram utilizados com sucesso. O sistema integrado resultante empregando CLPs e um sistema de controle e aquisição de dados (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) contribuiu para uma melhoria significativa do sistema de armazenamento e distribuição. A “inteligência artificial” implantada neste trabalho para a tomada de decisão operacional pode ser verificada através dos resultados apresentados.

PALAVRAS CHAVE: Automação industrial; Abastecimento de água; Controladores programáveis; Inteligência artificial.

Abstract

SPOLAOR, Antônio Sérgio, **Automation in water supply systems. Case of the reservation control distribution.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2011. 121p. Dissertação (Mestrado), 2011.

Industrial automation systems applied in water supply were quite simple until recently. The advent of Programmable Controllers, associated with the development of modern control theory, allowed a greater and more effective automation of these systems. This paper discusses the use of automation in sanitation systems implementing "artificial intelligence" for operational decision making, seeking a better distribution of water between distribution reservoirs. The application of the results can bring benefits related to meeting the daily demands of water of the distribution system. This dissertation under the title "Automation in water supply systems. Case of the reservation control distribution" was applied in a project developed by Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP in the city of Santa Rosa de Viterbo, in which various automation concepts have been used successfully. The resulting integrated system using PLCs and a system to control and acquire data (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) contributed to a significant improvement in the storage and distribution system. The "artificial intelligence" implanted in this work for operational decision making can be verified through the presented results.

KEYWORDS: Industrial automation; Water supply; Programmable controllers; Artificial intelligence.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 – Diagrama esquemático de uma aplicação genérica com Controlador Lógico Programável (CLP) – Fonte: Autor, 2010.	9
Figura 3.2 – Diagrama em bloco de um Controlador Lógico Programável (CLP) – Fonte: SIMPSON, 1994.	13
Figura 3.3 – Exemplo de um Controlador Lógico Programável (CLP) – Fonte: Autor, 2011.	15
Figura 3.4 – Unidade de memória – Fonte SILVEIRA 1998.	19
Figura 3.5 – Exemplo de uma IHM. Fonte: weintek, 2011.	25
Figura 3.6 - Exemplo de uma tela típica de um sistema SCADA – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	28
Figura 3.7 - Arquitetura SCADA Ponto a ponto – Fonte: Autor, 2010.	35
Figura 3.8 - Configuração típica de rede local em um sistema SCADA – Fonte: Autor, 2010.	37
Figura 3.9 - Arquitetura SCADA de última geração – Fonte: Autor, 2010.	39
Figura 3.10 - Exemplo de tela para configuração de um TAG do tipo analógico – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	40
Figura 3.11 - Sistema de conversão de um sinal analógico em um sistema SCADA analógico – Fonte: Autor, 2010.	42

Figura 3.12 - Tela de uma Estação de Tratamento de Água (Município de Águas da Prata – S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	43
Figura 3.13 - Típica tela de tendências (Município de São João da Boa Vista – S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.....	45
Figura 3.14 - Tipos de fibras ópticas – Fonte: TORRES, 2001.	50
Figura 4.1 - Mapa de localização de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	56
Figura 4.2 – Vista aérea de Santa Rosa de Viterbo Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	57
Figura 4.3 – UGRH 4 – Bacia do Rio Pardo – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.....	58
Figura 4.4 - Croqui do sistema de abastecimento de água existente em Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.	60
Figura 4.5 - Diagrama do sistema antigo de distribuição de água de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Autor, 2010.	61
Figura 4.6 - Diagrama do sistema de controle proposto para a operação do sistema – Fonte: Autor, 2010.	62
Figura 4.7 - Croqui do sistema de distribuição de água de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Autor, 2011.	63
Figura 4.8 - Medidor magnético de vazão, marca Danfoss, modelo MAG5000 – Fonte: Autor, 2010.....	75

Figura 4.9 - Transmissor de nível hidrostático, marca mca, modelo TNH-01-P – Fonte: Autor, 2010.....	76
Figura 4.10 - Válvula Motorizada – Fonte: Autor, 2010.....	77
Figura 4.11 - Rádio-modem de 900 MHz, marca MDS, modelo TransNET900 – Fonte: Autor, 2011.....	78
Figura 4.12 - Antenas Omnidirecional e Yagi – Fonte: TSM, 2011.	79
Figura 4.13 – Configuração da unidade remota da Zona Alta (Estação de Tratamento de Água) – Fonte: Autor, 2011.....	80
Figura 4.14 - Configuração da unidade remota da Zona Média – Fonte: Autor, 2011....	81
Figura 5.1 - Diagrama esquemático do sistema inserido no WaterCAD – Fonte: Autor, 2011.	83
Figura 5.2 – Gráfico do nível do reservatório da Estação de Tratamento de Água – Zona Alta – Fonte: Autor, 2011.	84
Figura 5.3 – Gráfico do nível do reservatório da Zona Média – Fonte: Autor, 2011.....	85
Figura 5.4 – Gráfico da pressão na Zona Alta 1 – Fonte: Autor, 2011.	86
Figura 5.5 – Gráfico da pressão na Zona Alta 2 – Fonte: Autor, 2011.	86
Figura 5.6 - Tela dos níveis dos reservatórios das Zonas Alta e Média (Município de Santa Rosa de Viterbo - S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.....	87

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 3.1 - Resumo do sistema de memória do Controlador Lógico Programável (CLP).....	19
Tabela 3.2 - Lista de dispositivos de entradas/saídas digitais.....	21
Tabela 3.3 - Lista de dispositivos de entradas/saídas analógicas.....	22
Tabela 3.4 - Principais campos de um TAG de Entrada Analógica.....	41
Tabela 3.5 - Vantagens e desvantagens do cabo de par trançado.	47
Tabela 3.6 - Vantagens e desvantagens do cabo coaxial.	48
Tabela 3.7 - Vantagens e desvantagens do cabo de fibra ótica.....	51
Tabela 3.8 - Vantagens e desvantagens do rádio-modem.....	53
Tabela 3.9 - Vantagens e desvantagens da telefonia móvel.....	54
Tabela 4.1 – Parâmetros dos níveis dos reservatórios.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI - Analog Input (Entrada Analógica)

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

AO - Analog Output (Saída Analógica)

CIB – Computer Integrated Business

CIM – Computer Integrated Manufacturing

CLP - Controlador Lógico Programável

CPU - Central Processor Unit (Unidade Central de Processamento)

DDC - Digital Direct Control

DI - Digital Input (Entrada Digital)

DO - Digital Output (Saída Digital)

DSP - Digital Signal Processor (Processador Digital de Sinal)

E/S - Entrada-Saída

EAM - Enterprise Asset Management

EEAB - Estação Elevatória de Água Bruta

EEPROM - Electrically Programmable Read-Only Memory

EPROM - Erasable Programmable Read-Only Memory

ETA - Estação de Tratamento de Água

FBD - Function Block Diagram – Uma das linguagens de programação utilizadas pelo padrão IEC 61131-3.

FUZZY LOGIC – Lógica Fuzzy (Difusa) – Lógica que tem por objetivo modelar modos de raciocínio aproximados ao invés de precisos.

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.

I/O - Input/Output (Entrada/Saída)

IEC - International Electrotechnical Committee

IHM - Interface Homem Máquina

IL - Instruction List – Uma das linguagens de programação utilizadas pelo padrão IEC 61131-3.

IP - Internet Protocol – Protocolo de Internet

ISM - Instrumentation, Scientific & Medical

ISO - International Organization for Standardization

KPI - Key Performance Indicators

LAN - Local Area Network

LED - Light Emission Diode – Diodo Emissor de Luz

LP - Linha Privativa

MES - Manufacturing Execution System

MMF - Multiple Mode Fiber – Fibra de Modo Múltiplo

MMI - Man Machine Interface – Interface Homem Máquina

MODBUS – Protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial.

MODICON - Modular Digital Controller – Empresa responsável pela criação do protocolo MODBUS.

MTU - Master Terminal Unit

OSI - Open System Interconnection

PC - Personal Computer

PID – Controle proporcional, integral e derivativo

PIMS - Plant Information Management System

PROM - Programmable Read Only Memory

PSN - Public Switched Network

RA - Reservatório Apoiado

RAM - Random Access Memory

RS - Reservatório Semi-enterrado

RS-232 - Recommended Standard #232

RS-422 - Recommended Standard #422

RS-485 - Recommended Standard #485

RTU - Remote Terminal Unit – Unidade Terminal Remota

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition – Controle Supervisório e Aquisição de Dados.

SFC - Sequential Function Chart – Uma das linguagens de programação utilizadas pelo padrão IEC 61131-3.

SMF - Single Mode Fiber – Fibra de Modo Único.

TAG – Sigla referente à codificação, expressão utilizada nos softwares supervisórios para denominação de uma variável de processo, seja ela de entrada ou de saída, analógica ou digital.

TCP – Transmission Control Protocol – Protocol de Controle da Transmissão.

TCP/IP – Junção dos protocolos TCP e IP

TDMA - Time Division Multiple Access

UTR - Unidade Terminal Remota

WAN - Wide Area Network

WLAN - Wireless Local Area Network

LISTA DE UNIDADES

bps	bits por segundo	Unidade de transmissão de dados
dB	decibel	Unidade física de intensidade de sinal
Hz	hertz	Unidade de medida de frequência
m	metro	Unidade de medida de comprimento
Ohm	ohm	Unidade de medida da resistência elétrica
Watt	watt	Unidade de medida de potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo Geral	5
2.2	Objetivos Específicos.....	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1	Controlador Lógico Programável	7
3.1.1	Histórico	9
3.1.2	Arquitetura Básica dos Controladores Lógicos Programáveis.....	15
3.1.2.1	CPU - Unidade Central de Processamento.....	16
3.1.2.2	Sistema de Memória	16
3.1.2.3	Funções desempenhadas por memórias em um CLP	17
3.1.2.3.1	Memórias do Sistema Operacional.....	17
3.1.2.3.2	Memória de Aplicação.....	17
3.1.2.4	Dispositivos de Entradas e Saídas.....	20
3.1.2.4.1	Entradas/Saídas Digitais (Discretos)	21
3.1.2.4.2	Entradas/Saídas Analógicas (Numéricas).....	21
3.1.2.5	Fonte de Alimentação	22
3.1.2.6	Portas de Comunicação	23
3.2	SCADA.....	24
3.2.1	IHM - Interface Homem Máquina.....	24
3.2.2	Sistemas de Supervisão e Controle	26
3.2.2.1	Principais características de um sistema SCADA	29

3.2.2.2	Softwares disponíveis em um Sistema SCADA	31
3.2.2.3	Redes de Comunicação	32
3.2.2.4	Arquiteturas de redes nos sistemas SCADA.....	34
3.2.2.4.1	Redes Ponto a Ponto	34
3.2.2.4.2	Redes Locais	35
3.2.2.4.3	Redes Globais	37
3.2.2.5	Variáveis dos sistemas SCADA	39
3.2.2.5.1	Exemplo de utilização de TAGs digitais e analógicos em redes de distribuição.....	41
3.2.2.6	Características dos sistemas SCADA	42
3.2.2.7	Alarmes dos sistemas SCADA	44
3.2.2.8	Telas de tendências	44
3.2.2.9	Implantando sistemas SCADA	46
3.2.2.10	Meios Físicos de Transmissão	46
3.2.2.10.1	Cabo de par trançado metálico	46
3.2.2.10.2	Cabo coaxial metálico.....	47
3.2.2.10.3	Cabo de fibra ótica.....	48
3.2.2.11	Transmissão sem fio.....	51
3.2.2.11.1	Rádio-modem	51
3.2.2.11.2	Telefonia Móvel – Celular	53
4	MATERIAI E MÉTODOS.....	55
4.1	Caso em estudo.....	55
4.2	Descrição do sistema.....	58

4.3	Método de trabalho	62
4.3.1	Algoritmo de operação	63
4.4	Implantação do Sistema Automatizado.....	71
4.4.1	Computador.....	72
4.4.2	Software do Sistema de Supervisão e Controle	72
4.4.3	Painel do CLP.....	73
4.4.3.1	Controlador Lógico Programável (CLPs).....	73
4.4.3.2	Módulos de Entradas e Saídas	73
4.4.3.3	Protetores contra descargas atmosféricas	74
4.4.3.4	Fontes de alimentação	74
4.4.3.5	Isoladores galvânicos e Interfaces digitais	75
4.4.4	Sensores e atuadores	75
4.4.4.1	Medidor Magnético de Vazão.....	75
4.4.4.2	Transmissor de nível hidrostático.....	76
4.4.4.3	Válvula Motorizada.....	76
4.4.5	Rádio Modem	77
4.4.6	Antenas	78
5	RESULTADOS.....	83
5.1	Simulação do sistema.....	83
6	CONCLUSÃO	91
7	RECOMENDAÇÕES.....	93
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

A automação de sistemas de abastecimento de água era até pouco tempo atrás bastante simples. O controle de nível dos reservatórios, por exemplo, era exercido de forma local, por intermédio de bóias de nível mínimo e máximo que atendiam as condições operacionais limites dos reservatórios. O advento dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), associado ao desenvolvimento da moderna teoria de controle, permitiu uma automação maior e mais efetiva destes sistemas.

Os CLPs permitem através de lógica previamente programada, exercer comando sobre atuadores de dispositivos hidromecânicos, tais como válvulas e bombas, obter o controle de acordo com objetivos estabelecidos e, com base em informações obtidas através de sensores que supervisionam (monitoram) as variáveis de estado de interesse.

Assim, pode-se definir de forma simples o CLP, como um dispositivo que controla processos através de uma lógica digital programada, combinando sinais de entrada provenientes de sensores (digitais e/ou analógicos), gerando sinais de saída para os atuadores.

O conjunto das atividades de supervisão, controle e aquisição de dados como sistema SCADA (“Supervisory Control and Data Aquisition”). A tradução livre dos termos que originam a sigla SCADA em inglês resulta em português em; Supervisão Controle e Aquisição de Dados, que expressa adequadamente a orientação desses

sistemas para; monitorar e controlar equipamentos e plantas industriais de praticamente todos os segmentos. Esses sistemas são responsáveis pela integração das Unidades Remotas Terminais (RTU como é conhecida pela abreviatura obtida dos termos em inglês).

Pode-se destacar a aplicação dos sistemas SCADA em refinarias de petróleo, telecomunicações, siderúrgicas, usinas de álcool e açúcar, empresas de saneamento (água e esgoto) e, de geração e distribuição de energia elétrica.

A despeito das inúmeras vantagens que possam ser obtidas da automação e controle dos sistemas de abastecimento, talvez a “indústria da água” e a do saneamento de forma geral, tenham sido uma das últimas dentre as anteriormente citadas a empregar efetivamente esta tecnologia. Este fato talvez seja o maior responsável pela defasagem que ocorre entre as reais possibilidades da automação e controle e a prática atual. Alia-se a este fato, o pouco conhecimento das inúmeras possibilidades proporcionadas por esta tecnologia ao setor do saneamento. Cabe ressaltar as iniciativas isoladas de sucesso na automação de sistemas de abastecimento, embora o lugar comum, para a maior parte dos abastecimentos do Brasil, seja o de atraso tecnológico com relação ao emprego desta tecnologia.

Neste sentido, valendo-se da experiência profissional do autor, que exerce atividades relacionadas ao tema, há anos no setor de automação da SABESP- Regional de Franca(R.G.), terá como orientação principal descrever os principais aspectos da automação, controle e supervisão em sistemas de abastecimento de água, no sentido de nortear a implementação destes sistemas em locais que se vislumbre sua possível aplicação.

Descreve-se o estado da arte da automação em sistemas de abastecimento de água, utilizando sistemas SCADA para supervisão remota, fornecendo alarmes e

informações para os sistemas de planejamento corporativo e controle operacional otimizado.

Como estudo de caso descreve-se o emprego dos CLPs no controle de reservatórios de distribuição e um sistema SCADA para monitoramento e controle. Os CLPs dos reservatórios comunicam-se entre si por intermédio de um CLP mestre que controla e integra as informações recebidas. A troca de dados deste sistema se dá através de rádios que transmitem e recebem informações através de um protocolo de comunicação denominado MODBUS RTU.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é dissertar sobre o estado da arte da automação em geral e em sistemas de abastecimento de água em particular, utilizando CLPs nas estações remotas obtendo e atuando nas variáveis de campo, um sistema SCADA para monitorar as informações obtidas pelos CLPs em tempo real ou como dados históricos e rádios-modem como dispositivo de comunicação para integrar todo sistema.

Através da monitoração de seus respectivos níveis em tempo real e da utilização de um algoritmo na programação dos CLPs, pôde-se atuar no sistema de distribuição visando sua melhoria operacional, permitindo uma melhor distribuição da água armazenada nos diversos reservatórios, garantindo que estes fiquem com níveis equalizados, evitando a falta de abastecimento nesta localidade ou eventuais transbordamentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Simular a operação do sistema de abastecimento de água antigo sem a utilização da automatização através do programa WaterCAD.

- Implantar inteligência artificial no sistema através de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), software de supervisão e controle (SCADA) e verificar o desempenho do sistema de abastecimento de água após implantação.
- Relatar e discutir a implantação do sistema de automatização em sistemas de abastecimento de água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP), apresenta uma arquitetura básica, que será apresentada neste capítulo, bem como as configurações mais utilizadas nas implementações de Sistemas Automatizados, as ferramentas e linguagens de programação e também o sistema interno de operação deste dispositivo.

De acordo com CAPIEL citado por WARNOK (1997), um CLP é definido como “um sistema eletrônico de operação digital desenvolvido para uso em ambiente industrial que possui memória programável para armazenamento interno de instruções e que implementa funções específicas de lógica, sequenciamento, temporização e aritmética para controle através de módulos de entradas/saídas digitais ou analógicos de vários tipos de máquinas ou processos.”

A ABNT define Controlador Programável como “um equipamento eletrônico-digital, com hardware e software compatíveis com as aplicações industriais”.

O National Electrical Manufacturers Association (NEMA), define CLP como sendo “Um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções que implementam funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar máquinas

ou processos através de módulos, digital ou analógico, de entrada ou saída para vários tipos de máquinas ou processos”.

O Controlador Lógico Programável (CLP) ou PLC (Programmable Logic Controller), nada mais é do que um computador industrial dedicado, possuindo um software próprio, para implementar funções de controle, realizar operações lógicas e aritméticas, possuindo interfaces de comunicação para efetuar a troca de informações entre outro(s) CLPs ou entre um ou mais sistema(s) SCADA, sendo largamente utilizados no controle de Sistemas Automatizados.

A idéia que norteou o desenvolvimento do CLP foi a de substituir os painéis que possuíam vários relés, eliminando assim a complexidade da fiação existente, bem como reduzir a dificuldade de modificar uma lógica existente, uma vez que qualquer modificação na lógica de funcionamento de uma máquina, implicaria em modificar toda fiação existente. Com o CLP, a mudança na lógica de funcionamento de uma máquina, seria executada através de um programa de computador específico, facilitando eventuais alterações que se fizessem necessárias. A Figura 3.1, apresenta um diagrama esquemático de uma aplicação genérica com Controlador Lógico Programável (CLP).

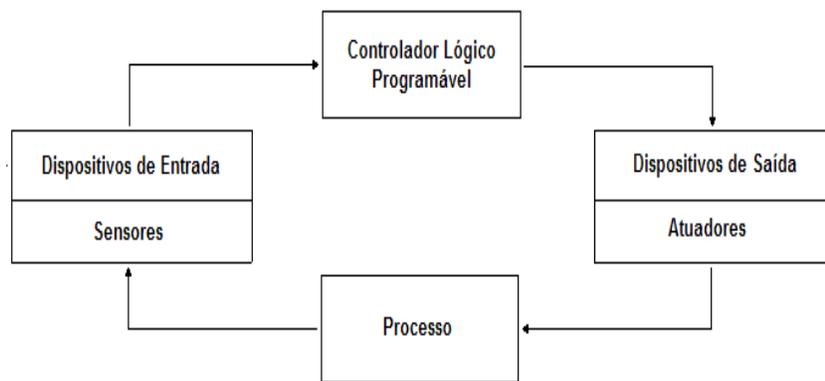


Figura 3.1 – Diagrama esquemático de uma aplicação genérica com Controlador Lógico Programável (CLP) – Fonte: Autor, 2010.

3.1.1 Histórico

Durante a década de 1950, a utilização de dispositivos eletromecânicos era praticamente a única opção para efetuar controles lógicos nas linhas de produção e em máquinas isoladas. Esses dispositivos baseados principalmente em relés detinham especial importância em indústrias onde a complexidade dos processos produtivos exigia instalações em cabines de controle e painéis com centenas de relés e inumeráveis interconexões entre eles.

Embora funcionais, o ponto vulnerável desses sistemas de controle era a sua manutenção, pois quando algum painel apresentava falha, o tempo para identificação e resolução desta, demorava horas ou até mesmo dias. Como eram constituídos basicamente de relés, que apresentavam dimensões significativas, os painéis ocupavam um grande espaço físico.

Outro problema dessas instalações era que eventuais modificações na lógica de funcionamento, por conta de alguma alteração no processo, acarretavam muito tempo de trabalho, sem contar com o tempo de interrupção do processo produtivo.

No final da década de 1950 e início dos anos 1960, com o advento dos dispositivos semicondutores, e posteriormente com o surgimento dos componentes eletrônicos integrados, novas fronteiras se abriam para a automação industrial.

Segundo SIMPSON (1994), o primeiro CLP foi desenvolvido a partir da necessidade da divisão de hidráulica da General Motors em 1968, que buscou uma empresa interessada em produzir um equipamento com as seguintes características:

1. Ser facilmente programado e ter sua seqüência de operação prontamente modificada, preferencialmente na própria planta;
2. Ter manutenção e reparo facilitados usando uma montagem de módulos interconectáveis (“plugáveis”);
3. Ter capacidade de operar na planta de modo mais confiável que um painel de controle de relés;
4. Ser fisicamente menor do que um painel de controle de relés para minimizar o custo de ocupação do “chão de fábrica”;
5. Produzir dados para um sistema central de coleta de informações;
6. Ser competitivo quanto a custo em relação a painéis de controle de relés e de estado sólido, então em uso.

De acordo com FAUSTINO (2005), em 1969, a Bedford Associates, uma empresa de consultoria em engenharia, foi a selecionada para o fornecimento. Mais tarde, esta empresa alterou o seu nome para Modicon (*Modular Digital Controller*).

Segundo KISSEL (1986), citado por FAUSTINO (2005), o produto apresentado se chamava 084, por ter sido desenvolvido depois de 83 modificações de projeto.

FAUSTINO (2005) cita ainda que outras empresas que participaram daquela licitação (entre as quais se pode destacar a Allen-Bradley, hoje reconhecidamente como

uma das maiores e melhores fabricantes de CLPs), apesar de não terem sido escolhidas, logo estavam oferecendo seus produtos a outros clientes.

Durante a década de 1970, com o advento dos microprocessadores, os CLPs da primeira geração receberam melhorias, tais como:

- 1972 - Funções de temporização e contagem;
- 1973 - Operações aritméticas, manipulação de dados e comunicação com computadores;
- 1974 - Comunicação com Interfaces Homem-Máquina;
- 1975 - Maior capacidade de armazenamento de memória, controles analógicos, e controle PID;
- 1979/80 - Módulos de entradas/saídas remotos, módulos inteligentes e controle de posicionamento.

De acordo com CORETTI (1998), citado por PUPO (2002), no final da década de 1970, os CLPs incorporaram recursos de comunicação que, embora limitados, proporcionaram a integração entre controladores distantes, tornando-os parte do sistema integrado de fabricação e operação de uma planta individual e criando vários protocolos de comunicação incompatíveis entre eles. Estes dispositivos obtiveram grande aceitação no mercado norte-americano com vendas aproximadas de 80 milhões de dólares.

A década de 1980 foi marcada pela possibilidade de comunicação em rede (1981) que é hoje uma característica indispensável na indústria e pela diminuição do tamanho físico dos CLPs (a partir de 1982), que possibilitou o fornecimento de minis e micro CLPs. A programação por software também foi introduzida nesta década assim como uma tentativa de padronização nesta programação.

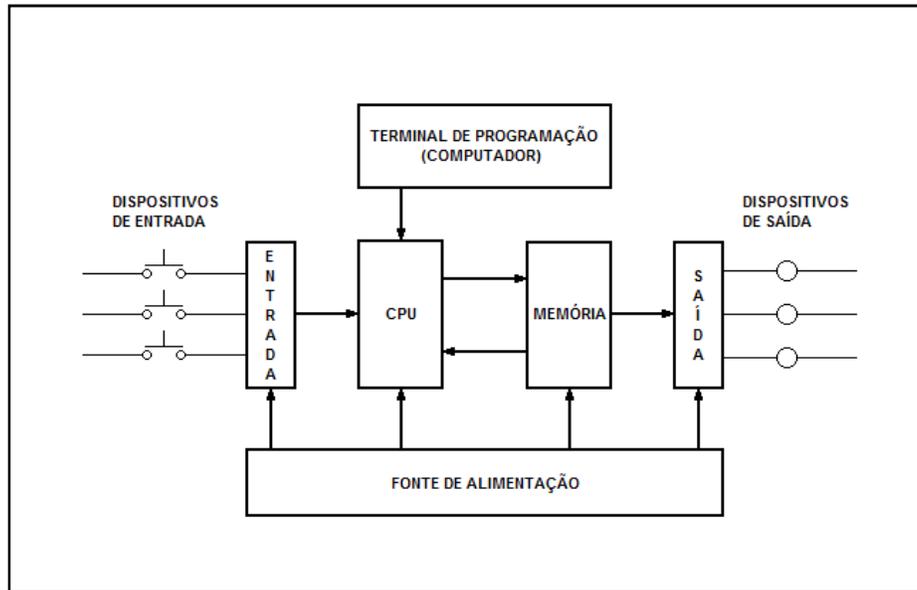
Mas foi na década de 1990 que através do padrão IEC 1131-3, que se introduziu a melhor tentativa de padronização das linguagens de programação, pois, embora com outras modificações, este padrão está sendo utilizado até hoje (IEC 61131-3) e com grande aceitação dos diferentes fabricantes de CLPs. Também nesta década houve a introdução de IHM (Interface Homem Máquina) dos softwares supervisórios e de gerenciamento e de módulos de controle analógicos incorporados como o PID (Proporcional, Integral e Derivativo) para controle em malha fechada.

AGUIRRE (2007), cita que entre os anos de 1995 e 2006 houve redução de custos da tecnologia e novas técnicas aplicadas ao controle, que deixaram os CLPs com as seguintes características:

- Técnicas de inteligência artificial;
- Interfaces baseadas em lógica nebulosa;
- Aumento de recursos aritméticos;
- Maior densidade de E/S por módulo;
- Interfaces inteligentes; e,
- Esforços de padronização.

De acordo com SIMPSON (1994), todo CLP possui partes básicas, independentemente de sua complexidade. Algumas partes são itens de hardware e outras representam características do software do CLP. Todo controlador programável contém interfaces de entradas e saídas, memória, um modo de programação, uma unidade central de processamento, e uma fonte de alimentação. Essas funções podem

ser vistas no diagrama em bloco de um Controlador Lógico Programável (CLP) na Figura 3.2 abaixo



**Figura 3.2 – Diagrama em bloco de um Controlador Lógico Programável (CLP) –
Fonte: SIMPSON, 1994.**

As principais características de um CLP são:

- Módulos de E/S de alta densidade (grande número de pontos de E/S por módulo);
- Módulos remotos controlados por uma mesma CPU;
- Módulos inteligentes (co-processadores que permitem realização de tarefas complexas: controle PID, posicionamento de eixos, transmissão via rádio ou modem, leitura de código de barras);
- Softwares de programação em ambiente Windows, que atenda a norma de programação IEC 61131-3 (facilidade de programação);
- Integração com outros aplicativos para comunicação com outros CLPs;

- Eficientes recursos de monitoramento e depuração do programa, com diagnósticos e detecção de falhas;
- Instruções avançadas que permitem operações complexas (ponto flutuante, funções trigonométricas);
- *Scan Time* (tempo de varredura) reduzido (maior velocidade de processamento) devido à utilização de processadores dedicados;
- Processamento paralelo (sistema de redundância) proporcionando confiabilidade na utilização em áreas de segurança;
- Conectividade de CLPs, para que CLPs de diferentes fabricantes possam se comunicar entre si, através de protocolos de comunicação “abertos”, e;
- Facilidade para se conectar em rede TCP/IP.

A Figura 3.3, ilustra um Controlador Lógico Programável (CLP).

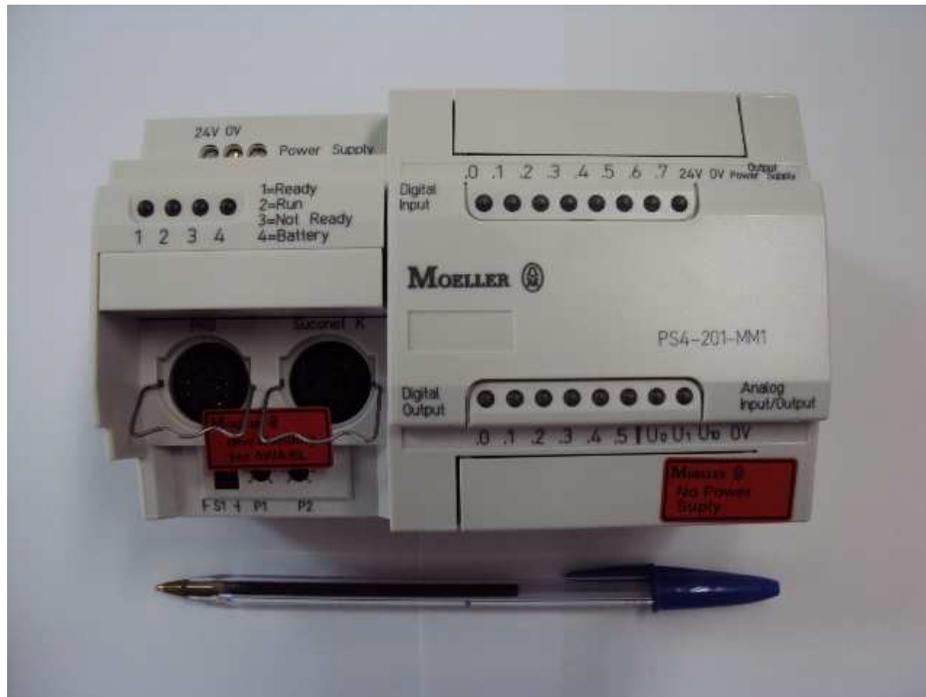


Figura 3.3 – Exemplo de um Controlador Lógico Programável (CLP) – Fonte: Autor, 2011.

3.1.2 Arquitetura Básica dos Controladores Lógicos Programáveis

Os componentes básicos de um CLP são:

- CPU – Unidade Central de Processamento;
- Sistema de Memória;
- Dispositivos de entradas e saídas;
- Fonte de alimentação, e;
- Portas de Comunicação.

3.1.2.1 CPU - Unidade Central de Processamento

A CPU segue padrões similares às arquiteturas dos computadores digitais, é onde ficam o microprocessador, o sistema de memória e os circuitos de controle.

O processador interage continuamente com o sistema de memória para interpretar e executar o Programa de Aplicação (desenvolvido pelo usuário), para controle do processo. Os circuitos de controle atuam sobre os barramentos de dados (*data bus*), de endereços (*address bus*) e de controle (*control bus*), conforme solicitado pelo processador.

3.1.2.2 Sistema de Memória

Tipos de Memórias (volátil e não volátil)

Memórias voláteis são aquelas que na falta de energia, perdem a informação nelas contida. Por outro lado as memórias não voláteis mantêm sua informação mesmo durante a ausência de alimentação.

Inicialmente foram usadas as memórias RAM (*Random Access Memory*), mas por serem *voláteis*, necessitavam de baterias que as mantinham permanentemente alimentadas, porém as baterias sempre foram um elo fraco na confiabilidade de dados críticos e um problema de manutenção.

Posteriormente, memórias PROM (*Programmable Read Only Memory*), passaram a ser utilizadas, o problema era que essas memórias não eram reprogramáveis. O próximo passo foi a utilização de memórias EPROM (*Erasable*

Programmable Read Only Memory), que eram memórias *não voláteis* que só podiam ser apagadas pela exposição à luz ultravioleta. Com o surgimento de memórias que podiam ser apagadas eletricamente (*EEPROM Electrically Erasable Read Only Memory*), o uso de EPROM's foi praticamente abolido.

3.1.2.3 Funções desempenhadas por memórias em um CLP

3.1.2.3.1 Memórias do Sistema Operacional

- Programa de Execução – Firmware: Programa desenvolvido pelo fabricante do CLP, que é responsável pela “tradução” do programa desenvolvido pelo usuário (LADDER, GRAFCET, IL (Instruction List), FBD (Function Block Diagram), SFC (Sequential Function Chart), para instruções em linguagem de máquina, que o microprocessador ou microcontrolador do CLP possa executar). O firmware é armazenado em memória não-volátil tipo PROM, normalmente EEPROM.
- Rascunho do Sistema: É uma área de memória de acesso rápido reservado para o armazenamento de uma quantidade pequena de dados, utilizados pelo sistema operacional para cálculos ou controle (relógios internos, sinalizadores de alarmes e erros, etc.), sendo do tipo RAM.

3.1.2.3.2 Memória de Aplicação

- Programa de Aplicação – Nesta área é armazenado o programa desenvolvido pelo usuário para a execução do controle desejado. Normalmente se utiliza a memória tipo EEPROM ou RAM.

- Tabela de Dados: Possui memória do tipo RAM, utilizada para armazenar dados do programa do usuário, como valores pré-definidos de temporizadores, contadores e variáveis do programa, além dos *status* das entradas e saídas que são lidas e escritas pelo programa do usuário e atualizadas a cada **ciclo de varredura** (*Scan Time*), que de acordo com MELORE (2001), é o tempo real que o CLP leva para ler as entradas, a execução do programa e o acionamento das saídas.

De acordo com SILVEIRA (1998), um sistema de memória pode ser, a princípio, visualizado como uma longa fila de células de memória. Como cada uma dessas células contém uma informação digital do tipo “0” ou “1”, passaram a ser denominadas simplesmente bit de memória. Entretanto, como os processadores podem manipular mais de um bit de cada vez, essa lista de bit na memória passa a ser organizada em grupos compatíveis com a capacidade do processador. Esses grupos recebem denominações específicas conforme seu tamanho, como:

- Nibble = 4 bit
- Byte = 8 bit
- Word = 16 bit
- Double Word = 32 bit

Esses elementos formam a estrutura do mapa do sistema de memória, conforme ilustrado na Figura 3.4, e cuja quantidade máxima de grupos vai depender da capacidade de endereçamento do processador.

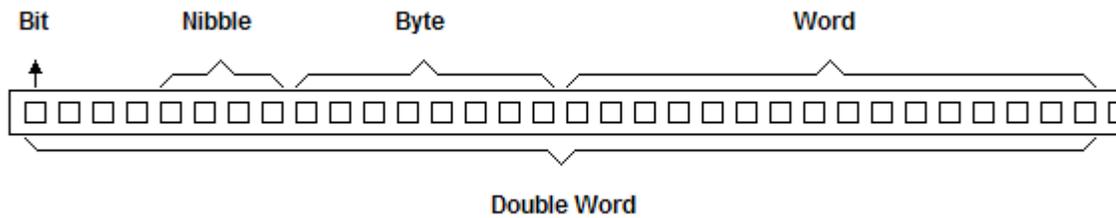


Figura 3.4 – Unidade de memória – Fonte SILVEIRA 1998.

Cada ponto de entrada e saída, conectado aos módulos de E/S, possui um endereço específico na Tabela de Dados, o qual é acessado pelo programa do usuário.

Cada instrução que o CLP pode executar consome uma quantidade pré-determinada de memória, expressa em nibble (4 bits), bytes (8 bits), words (16 bits) ou doublewords (32 bits).

Além da quantidade de memória, pode haver diferenças na forma de armazenamento de dados, conforme indicado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Resumo do sistema de memória do Controlador Lógico Programável (CLP).

Sistema de memória do Controlador Lógico Programável (CLP)	
Memória do Sistema Operacional	Memória de Aplicação
Programa de Execução	Programa de Aplicação
ROM / EPROM	RAM (Bateria) / EPROM / EEPROM
Rascunho do Sistema	Tabela de Dados
RAM (Bateria Opcional)	RAM (Bateria Opcional)

3.1.2.4 Dispositivos de Entradas e Saídas

Esses dispositivos são responsáveis pela conexão física entre o CLP e o mundo externo por meio de vários tipos de circuitos de interfaceamento. Os dispositivos de E/S estão divididos em duas classes: Digitais (Discretos) e Analógicos (Numéricos).

Existem algumas considerações a serem analisadas quando da alocação e definição dos sinais de entradas e saídas.

MIYAGI (1996), cita que devem ser considerados os seguintes itens;

- Velocidade de resposta: I/O remota ou I/O direta;
- Imunidade a ruídos: nível e forma de sinal de tensão e/ou corrente, isolamento, tipo do cabo, modo de fiação, etc;
- Confiabilidade dos contactos: contactos das chaves limites, dispositivos de sobretensão, etc;
- Características e capacidade da carga: tensão de carga, corrente da carga, etc;
- Especificações especiais: entrada pulsada ou analógica, modo de transmissão, etc;
- Capacidade de expansão: possibilidade de melhorias, expansões futuras, alteração durante os testes, etc.

3.1.2.4.1 Entradas/Saídas Digitais (Discretos)

SILVEIRA (1998) define Entradas/Saídas Digitais (Discretos), como sendo os tipos de sinal mais comumente encontrados em sistemas automatizados com CLP. Nesse tipo de interface, a informação consiste em um único bit cujo estado pode apresentar duas possíveis situações: ligado ou desligado (daí sua característica discreto). Na Tabela 3.2, apresenta-se uma lista de vários dispositivos de entradas/saídas digitais com tais características.

Tabela 3.2 - Lista de dispositivos de entradas/saídas digitais.

Entradas Digitais	Saídas Digitais
Chaves Seletoras	Relés de Controle
Pushbuttons	Solenóides
Sensores Fotoelétricos	Partida de Motores
Chaves Fim-de-Curso	Válvulas
Sensores de Proximidade	Ventiladores
Chaves Sensoras de Nível	Alarmes
Contatos de Partida	Lâmpadas
Contatos de Relés	Sirenes

3.1.2.4.2 Entradas/Saídas Analógicas (Numéricas)

Nas Entradas/Saídas Analógicas o sinal pode adquirir infinitos estados dentro de uma faixa pré-determinada caracterizando, portanto, uma variável analógica. Na Tabela 3.3, apresenta-se uma lista de vários dispositivos de entradas/saídas analógicas.

Um fator importante nas Entradas/Saídas Analógicas é a resolução, pois o sinal analógico (Tensão ou Corrente), internamente é convertido em um sinal digital através de um conversor analógico/digital. Quanto maior for a resolução, melhor será a precisão dos valores lidos/escritos no CLP. A resolução é normalmente expressa em bits. A maioria dos módulos de Entradas/Saídas Analógicas encontrados no mercado apresenta resolução de 12 bits.

Tabela 3.3 - Lista de dispositivos de entradas/saídas analógicas.

Entradas Analógicas	Saídas Analógicas
Transdutores de Tensão	Válvulas Proporcionais
Transdutores de Corrente	Acionamentos de Motores DC
Transdutores de Pressão	Controladores de Potência
Medidores de Vazão	Atuadores Analógicos
Medidores de Nível	Mostradores Gráficos

3.1.2.5 Fonte de Alimentação

A Fonte de Alimentação desempenha importante papel na operação do sistema de um CLP. Além de fornecer os níveis de tensão para alimentação da CPU e dos Módulos de I/O (Entradas/Saídas), a fonte de alimentação funciona como um dispositivo de proteção, garantindo a segurança e a integridade da tensão de alimentação para todo o sistema, através do monitoramento constante dos níveis de tensão e corrente fornecidos. Atualmente as fontes de alimentação utilizam tecnologia de chaveamento, o que garante uma melhor confiabilidade na precisão da tensão de saída e normalmente possuem uma entrada de alimentação que pode variar de 90 a 240 Volts (maior versatilidade).

3.1.2.6 Portas de Comunicação

São nessas portas de comunicação que o CLP vai trocar informações, seja com outro CLP, como para um software supervisor instalado em um computador. É através dessas portas que se transfere o programa de aplicação.

ROSÁRIO (2005), cita que a comunicação entre o computador e um CLP é realizada por intermédio de uma porta serial padrão RS 232, utilizada para transmitir dados por até 15 metros de distância. Todavia, alguns CLPs utilizam o padrão RS 422 ou RS 485, que possibilita a transmissão de dados a maiores distâncias - até 1.200 metros, maior velocidade e, por algumas de suas características, permitem maior imunidade a ruídos no sinal e permitem comunicação do tipo *full-duplex* (podem enviar e receber dados simultaneamente). Existem ainda CLPs que fazem uso de um padrão próprio de comunicação e que requerem então interfaces dedicadas instaladas no computador.

ROSÁRIO (2005), cita ainda que um outro fator importante em relação à comunicação a ser estabelecida entre o CLP e o PC é a necessidade de um software de comunicação, designado protocolo de comunicação, o qual determina a forma de transmissão dos dados, ou seja, ele é responsável pelo sinal de comunicação entre o CLP e o PC. Os protocolos são fornecidos pelos fabricantes, que geralmente adotam protocolos de comunicação próprios, normalmente conhecidos como protocolos proprietários a respeito dos quais os fabricantes não fornecem maiores informações. Existem os chamados protocolos 'abertos', isto é, aqueles em que o usuário tem acesso ao formato da transmissão de dados utilizada e pode, por isso, desenvolver seus programas de comunicação.

A maioria dos CLPs existentes no mercado suportam protocolos padrão, como no caso do MODBUS, o que permite além da comunicação em rede que esses CLPs se comuniquem com dispositivos e/ou CLPs de outros fabricantes.

3.2 SCADA

3.2.1 IHM - Interface Homem Máquina

Na década de 1970, no início das aplicações dos CLPs, o controle de uma planta de automação era centralizado. Um CLP era responsável por uma pequena parte do processo total. Cada CLP era independente de todos os demais e os dados do processo que interferissem em outra parte deveriam ser inseridos manualmente.

Para atuar e monitorar o controle de um processo, inicialmente os painéis de operação utilizavam dispositivos mecânicos tanto de Entradas (Botões, Potenciômetros) como de Saídas (Lâmpadas, Sirenes, Indicadores).

Com o desenvolvimento tecnológico, esses dispositivos foram sendo substituídos por “Interfaces-Homem-Máquina, IHM (ou HMI – Human Machine Interface), que se comunica com o CLP. Atualmente estas interfaces normalmente são dotadas de uma área de atuação (Teclado Alfa-Numérico) e uma área de visualização (Display).

De acordo com MORAES e CASTRUCCI (2007), IHM são sistemas normalmente utilizados em automação no “chão-de-fábrica”, geralmente caracterizado por um ambiente agressivo. Possuem construção extremamente robusta, resistente a jato de água direto, umidade, temperatura e poeira de acordo com o IP (grau de proteção) necessário. MORAES e CASTRUCCI (2007) citam ainda que uma IHM é um hardware industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto

de teclas para navegação ou inserção de dados que utiliza um software proprietário para sua programação. A Figura 3.5, ilustra uma IHM.



Figura 3.5 – Exemplo de uma IHM. Fonte: weintek, 2011.

Com o desenvolvimento das redes de comunicação, os CLPs passaram a ser interligados e a troca de informações entre as partes do processo passou a ser feita pela rede. Isso também permitiu que computadores de pequeno porte, com função apenas de supervisão, pudessem ser instalados centralmente utilizando a mesma rede para obter informações dos vários controladores da planta.

Os Sistemas Automatizados de Produção atuais, caracterizados pela necessidade de aumento da produção, redução constante de custos operacionais, devem proporcionar maior eficiência de operação e controle. Entre as características necessárias para atender tais requisitos incluem-se:

- Interface Amigável com Operador – facilidade de visualização e operação da Máquina ou Processo controlado;

- Monitoramento e Gerenciamento de Condições de Alarme;
- Utilização e Armazenamento de Programas/Receitas – alteração rápida de valores utilizados no controle, conforme o produto;
- Armazenamento de Valores para Certificação dos Produtos – Histórico de Tendências;
- Geração Automática de Relatórios – Controle Estatístico de Processo;
- Acesso Automático a Banco de Dados, e;
- Acesso Compartilhado e Remoto – Conexão em Rede e através de Modem ou Rádio.

As IHMs não conseguem oferecer todos esses requisitos necessários, assim sugeriram os sistemas supervisórios.

3.2.2 Sistemas de Supervisão e Controle

De acordo com TSUTIYA (2004), os softwares de supervisão e controle são programas para computadores que consultam as memórias do CLPs via rede ou interface de comunicação, podendo apresentar telas gráficas animadas do processo, gráficos de tendências, relatórios de alarmes, históricos de operação, exportação de bancos de dados de processo e edição do programa dos controladores.

MORAES e CASTRUCCI (2007) definem os Sistemas Supervisórios como sendo sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis

de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em banco de dados locais ou remotos para fins de registro histórico.

Normalmente ficam em estações de trabalho (computadores dedicados a uma função) distante do processo controlado e são usados para supervisionar o funcionamento do sistema como um todo. Estas estações normalmente são chamadas de estações centrais de controle.

SCADA é a abreviação de (Supervisory Control and Data Acquisition - Supervisão Controle e Aquisição de Dados). Os sistemas SCADA são utilizados para monitorar e controlar plantas ou equipamentos em indústrias, tais como, telecomunicações, controle de água e esgoto, energia, refinarias e transporte de gás e óleo. Esses sistemas se encarregam de transferir os dados entre o computador central SCADA e os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). O sistema SCADA coleta as informações (como em que setor da cidade ocorreu o vazamento), transfere a informação para a central, e alerta a estação que um vazamento ocorreu, realizando análise e controle, como determinando se o vazamento é crítico, e mostrando a informação de maneira lógica e organizada. Esses sistemas podem ser relativamente simples, como monitorar as condições do meio ambiente de um pequeno gabinete, ou muito complicado, monitorar todas as atividades em uma planta de energia nuclear ou as atividades de um sistema municipal de tratamento de água. Hoje muitos sistemas são monitorados usando uma infra-estrutura corporativa através de redes globais. A tecnologia de comunicação sem fio existente hoje no mercado possibilita sua ampla utilização em sistemas SCADA para a finalidade de monitoração à distância.

De acordo com MORAES e CASTRUCCI (2007), o sistema SCADA foi criado para supervisão e controle de quantidades elevadas de variáveis de entrada e saída digitais e analógicas distribuídas. A Figura 3.6 ilustra uma tela típica de um sistema SCADA.

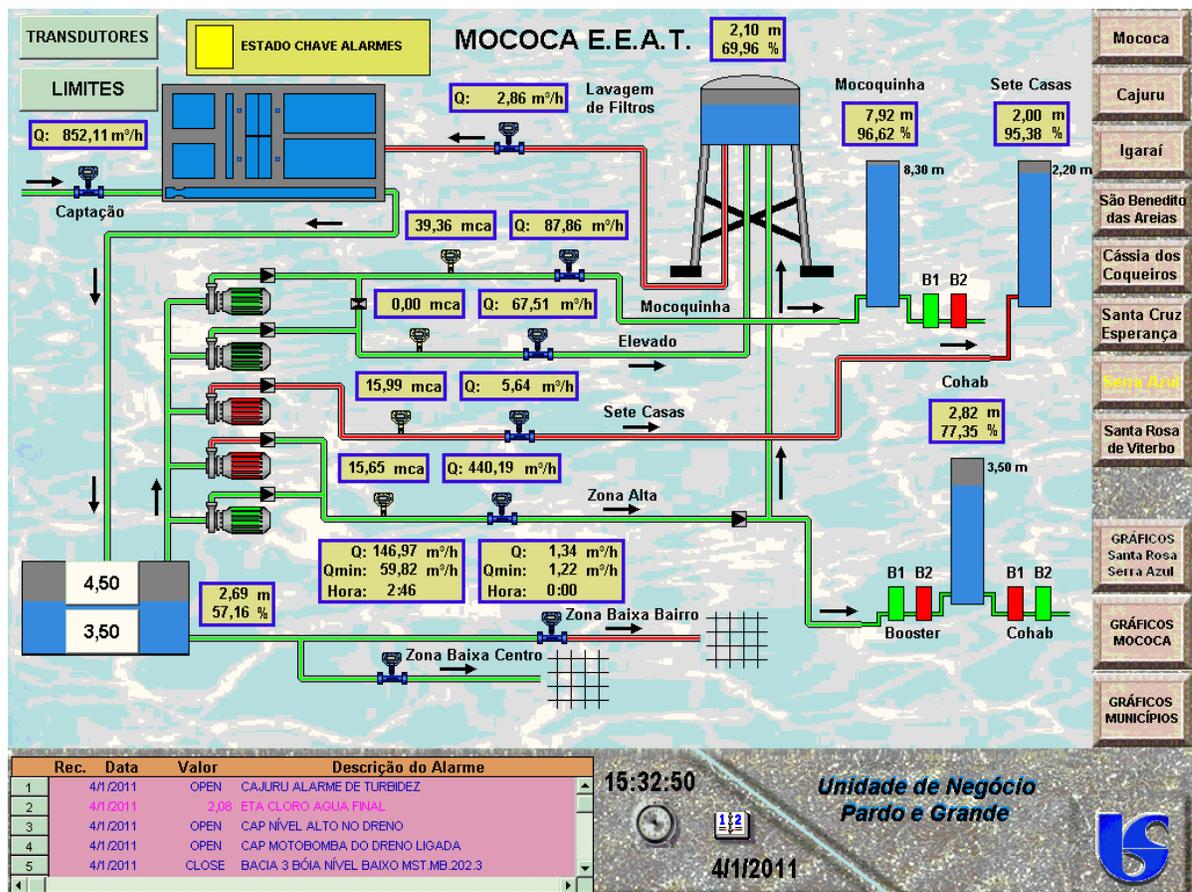


Figura 3.6 - Exemplo de uma tela típica de um sistema SCADA – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

Conforme artigo técnico da NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM (2004), o sistema SCADA consiste basicamente em:

- Um ou mais dispositivos de interface de dados, usualmente CLPs, que estão conectados com dispositivos de campo, como sensores, painéis de comando e atuadores de válvulas;
- Um sistema de comunicação usado para transferir dados entre os dispositivos das unidades de controle e o computador do sistema SCADA.

Este sistema pode ser rádio, linha telefônica, cabo, satélite, etc., ou alguma combinação destes;

- Um ou mais computadores centrais [geralmente chamados de Central SCADA, Estação Mestre, ou Máster Terminal Unit (MTU)];
- Um software padrão e/ou específico [geralmente chamado de Human Machine Interface (HMI) software ou Man Machine Interface (MMI) software] que são utilizados para estabelecer um suporte de comunicação entre o sistema SCADA e o operador para monitoração e controle remotamente dos dispositivos de campo.

3.2.2.1 Principais características de um sistema SCADA

De acordo com ROSÁRIO (2005), um sistema de supervisão industrial, em geral é constituído de um conjunto de softwares para computador, totalmente integrados e de comprovada eficiência em aplicações industriais e prediais no mundo todo. Combina, ainda, o controle discreto e o SCADA com a internet.

Seu objetivo é propiciar o desenvolvimento de sistemas de controle por meio de CLPs industriais, com a visualização e o fornecimento de informações para usuários autorizados pela internet, a fim de permitir a conectividade entre a internet, a visualização e os níveis de controle, e ainda a hierarquia de automação. Têm-se como resultado custos reduzidos de desenvolvimento e manutenção.

As características principais que um sistema de supervisão deve ter são:

- Interface amigável com o operador, ou seja, o sistema de supervisão tem de propiciar facilidade de visualização gráfica e de operação do sistema;

- Geração automática de relatórios, com o controle estatístico do sistema;
- Histórico de tendências (acompanhamento das variáveis controladas);
- Facilidade para interação com outros aplicativos (software);
- Acesso automático a banco de dados;
- Acesso compartilhado e remoto;
- Conexão em rede por meio de modem ou rádio, e;
- Gerenciamento das condições de alarme.

Um sistema SCADA oferece basicamente três funções básicas:

- Funções de monitoramento: inclui tudo o que se visualiza no processo, como: sinóticos animados do processo, histórico de tendência de variáveis digitais e analógicas, relatórios, etc.
- Funções de operação: chaves/botões criados normalmente nos sinóticos animados do processo que atuam diretamente no processo ligando/desligando dispositivos digitais ou alterando constantes e ou set-points dos dispositivos analógicos.
- Funções de controle: executadas pelo controle DDC (Digital Direct Control) ou Controle Digital Direto, atua diretamente no processo, sem depender do CLP instalado na remota. Este modo de controle deve ser analisado com

muito critério, pois, envolve um numero muito grande de dispositivos para execução da tarefa. Atualmente os CLPs possuem estes dispositivos de controle internamente, possibilitando um controle local e conseqüentemente não necessitando desse tipo de controle.

3.2.2.2 Softwares disponíveis em um Sistema SCADA

ROSÁRIO (2009),cita que dentre os principais aplicativos que podem estar disponíveis em um sistema SCADA pode-se destacar:

- Ferramentas voltadas à criação de aplicativos de controle baseados na lógica PID, sistemas especialistas para controle de processos e aplicativos de execução de lógica *fuzzy*;
- Ferramentas para configuração de redes para aplicação de protocolos industriais como o Profibus;
- MES (Manufacturing Execution System): Controla todo o fluxo produtivo, incluindo estoques de matérias-primas, produtos em processamento e disponibilidade de máquinas;
- Utilizando-se o MES, podem ser calculados os KPI (Key Performance Indicators), que contribuem para a melhoria do desempenho da planta PIMS (Plant Information Management System), software utilizado para armazenamento de todas as informações relevantes de processo. Coleta informações dos sistemas de supervisão, sistemas de controle e sistemas legados (já existentes) e armazena-os em uma base de dados, que se distingue dos bancos de dados convencionais por ter grande capacidade de compactação e alta velocidade de resposta a consulta; e,
- EAM (Enterprise Asset Management): Software empregado no gerenciamento dos equipamentos de uma planta.

3.2.2.3 Redes de Comunicação

Os sistemas SCADA vêm se desenvolvendo juntamente com a tecnologia dos computadores, seus dispositivos periféricos e suas formas de se comunicar com outros computadores, sendo que neste caso seja importante fazer algumas considerações á respeito de redes em processos industriais.

De acordo com SOARES NETO (1999), as redes para pequenas distâncias são denominadas internacionalmente de LAN – Local Area Network e as redes destinadas a grandes distâncias são denominadas de WAN – Wide Area Network.

Com relação às redes industriais, ROSÁRIO (2005), cita que as redes industriais surgiram da necessidade de interligar PCs e CLPs, que se proliferavam operando independentemente. A interligação desses equipamentos em rede permitiu o compartilhamento de recursos e base de dados, as quais passaram a ser únicas e não mais replicadas, o que conferiu mais segurança aos usuários da informação.

ROSÁRIO (2005), cita ainda que os sistemas de automação e controle têm se apoiado cada vez mais em redes de comunicação, pela crescente complexidade dos processos industriais, pela distribuição geográfica (fator que tem se acentuado nas novas instalações industriais) e pela busca de melhores condições de competitividade. Atualmente, sistemas distribuídos e interconectados são utilizados em muitas aplicações, tais como no controle de processos, na automação da manufatura e de escritórios, passando pelo gerenciamento bancário etc.

MENDES(1991), enumera vários fatores que contribuíram para a utilização das redes de comunicação para os sistemas distribuídos e interconectados, são eles:

- Especialização funcional dos sistemas locais computadorizados;
- Possibilidade de obter dados confiáveis para a tomada de decisões;
- Redução de custos operacionais e de investimento, graças ao compartilhamento de recursos;
- Maior competitividade dentro do mercado;
- Acesso à infra-estrutura administrativa e operacional, normalmente restrito a certas áreas da empresa (por exemplo banco de dados, correio eletrônico etc.)
- Distribuição geográfica crescente, resultante da diminuição de custos dos sistemas pela tecnologia do processamento distribuído;
- Integração operacional, que se torna, cada vez mais, um fator de importância econômica (CIM – Computer Integrated Manufacturing e CIB – Computer Integrated Business); e;
- Necessidade de implantação gradativa de sistemas com novas tecnologias, na medida das exigências e da expansão, de acordo com a evolução das aplicações, com vistas a promover sua viabilização técnica e econômica no processo de implantação e operacionalidade.

3.2.2.4 Arquiteturas de redes nos sistemas SCADA

Podemos classificar a utilização de redes nos sistemas SCADA em três grupos:

- Redes Ponto a Ponto;
- Redes Locais, e;
- Redes Globais.

3.2.2.4.1 Redes Ponto a Ponto

Quando foram desenvolvidos os primeiros sistemas SCADA, não existiam redes industriais, e esses sistemas funcionavam localmente. Os CLPs se comunicavam com o sistema SCADA através de unidades inteligentes de comunicação conectada no computador que possuía o software do sistema SCADA instalado. Essas unidades inteligentes de comunicação eram normalmente placas multiseriais possuindo vários canais de comunicação, sendo que cada um desses canais se comunicava com um CLP, sendo o padrão de comunicação serial RS232 o mais comumente utilizado.

Nesse tipo de comunicação se utilizava protocolos de comunicação desenvolvidos pelos fabricantes de CLPs o que tornava o sistema de comunicação próprio e por consequência limitado ao fabricante de CLPs. Outra particularidade desse sistema de comunicação é que se trafegavam somente dados de/para os CLPs.

A redundância nestes sistemas de primeira geração era realizada através do uso de dois equipamentos idênticos, um principal e um backup, ligados ao mesmo barramento.

A principal função do sistema de espera era monitorar o primário e assumir o controle em caso de uma falha detectada. Este tipo de operação de espera significa que pouco ou nenhum processamento era feito no sistema de espera. A Figura 3.7 ilustra uma aplicação típica da rede ponto a ponto em um sistema SCADA.

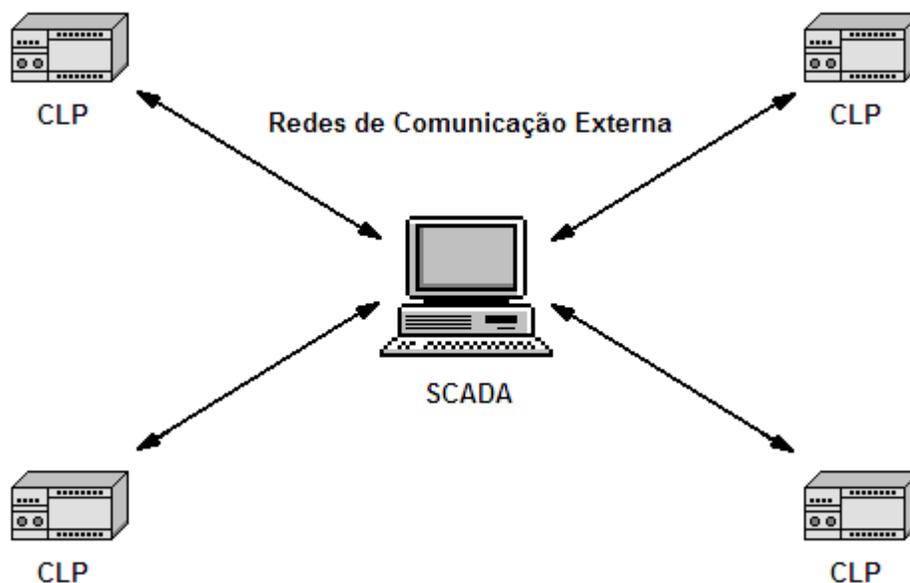


Figura 3.7 - Arquitetura SCADA Ponto a ponto – Fonte: Autor, 2010.

3.2.2.4.2 Redes Locais

Com o surgimento da tecnologia de Redes de Área Local (LAN), que tinha como característica principal era a distribuição dos sistemas, ou seja, varias estações se conectavam entre si, possibilitando que os sistemas SCADA se utilizassem dessa tecnologia para compartilhar informações vindas de diversas fontes.

Houve então a união da configuração dos sistemas de redes locais com a configuração dos sistemas ponto a ponto.

Neste tipo de configuração, vários computadores desempenham tarefas diferentes como, por exemplo, um computador como Interface Homem Máquina (IHM) para os operadores do sistema (IHM), outro como servidor SCADA, outro como servidor de banco de dados, etc.

A redundância nos sistemas de redes ponto a ponto se dá através do uso de dois equipamentos idênticos, um principal e um backup, ligados ao mesmo barramento.

Mais do que o simples esquema de redundância que foram utilizados em muitos sistemas de redes ponto a ponto, a arquitetura distribuída mantinha todas as estações da rede local em tempo real. Por exemplo, se uma estação de IHM vier a falhar, outra estação IHM poderia ser utilizada para operar o sistema, sem esperar possíveis falhas do sistema primário para o secundário.

Assim como nos sistemas e redes ponto a ponto, os sistemas de redes locais eram limitados a uma arquitetura própria desenvolvida pelos fabricantes, tanto para Hardware quanto para Software e Periféricos.

Neste tipo de configuração de redes, o sistema ganhava em confiabilidade pois com vários sistemas conectados à rede, o poder de processamento como um todo aumentava.

A Figura 3.8 retrata uma configuração típica de rede local em um sistema SCADA.

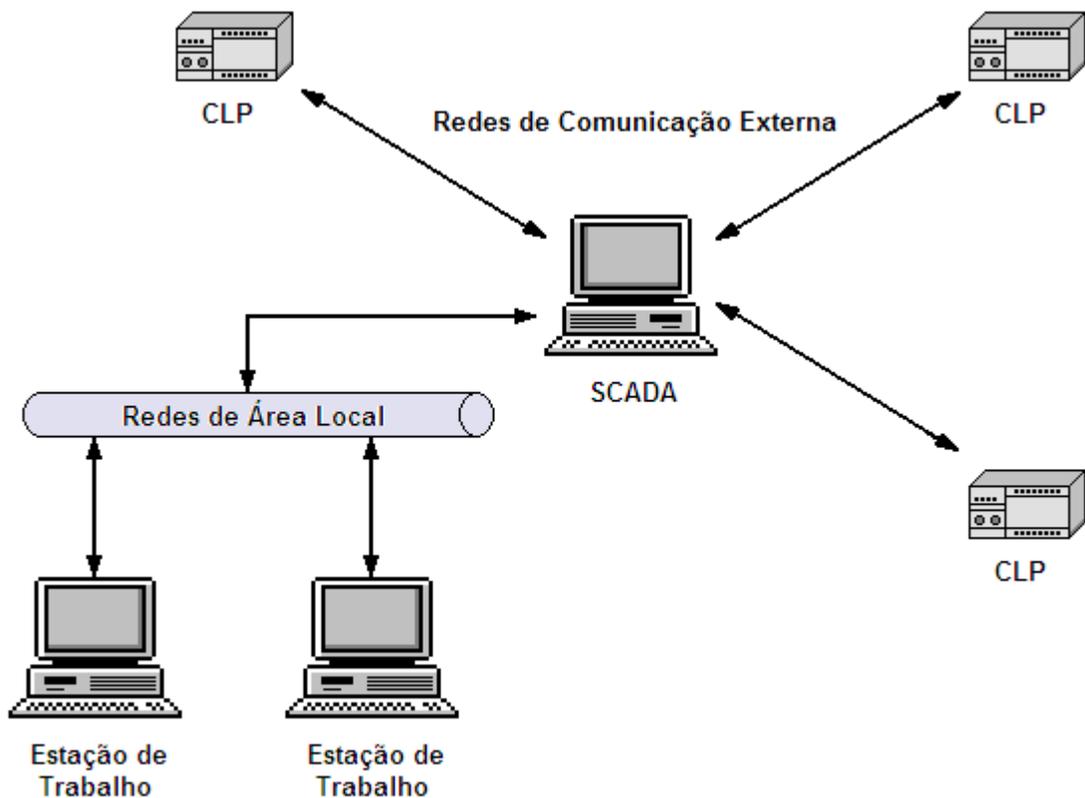


Figura 3.8 - Configuração típica de rede local em um sistema SCADA – Fonte: Autor, 2010.

3.2.2.4.3 Redes Globais

A arquitetura atual de um sistema SCADA possui como característica principal a utilização de redes com protocolos abertos como o TCP/IP, que facilita muito a comunicação entre os diferentes dispositivos do sistema como um todo.

De acordo com TORRES (2001), o protocolo TCP/IP é, na realidade, um conjunto de protocolos. Os mais conhecidos dão justamente o nome desse conjunto: TCP (Transmission Control Protocol, Protocolo de Controle da Transmissão) e IP (Internet Protocol), que operam nas camadas Transporte e Internet, respectivamente.

Este tipo de arquitetura possibilita a utilização de equipamentos que possuem protocolos próprios de um determinado fabricante, interligados a outros equipamentos, utilizando protocolos abertos (protocolos que possibilita a comunicação entre diferentes fabricantes). Os padrões abertos eliminam uma série de limitações das configurações anteriores de sistemas SCADA.

Os fabricantes de sistemas SCADA abandonaram os sistemas de desenvolvimento de hardware próprio, dedicando exclusivamente ao desenvolvimento de software, deixando o segmento de hardware para empresas especializadas como: Compaq, Hewlett-Packard, DELL, ACER, entre outras.

Isso permite que fabricantes de sistemas SCADA se concentrem apenas no desenvolvimento de software, possibilitando um melhor desenvolvimento para seus sistemas.

O maior ganho em sistemas dessa geração SCADA vem do uso de protocolos de WAN, como o IP (Internet Protocol) para comunicação entre as estações SCADA e os equipamentos. Isso permite que se estabeleça comunicação entre o sistema SCADA e os CLPs não mais localmente. Fabricantes de CLPs e de rádios desenvolvem hoje equipamentos que utilizam conexão ethernet como opção para comunicação de seus dispositivos.

O fato desse tipo de sistema interligar dispositivos que estejam separados em locais fisicamente diferentes, possibilita diminuir um possível problema no sistema, já que se torna possível construir um sistema SCADA redundante em outro local físico, evitando maiores problemas.

A Figura 3.9 representa um sistema SCADA de última geração.

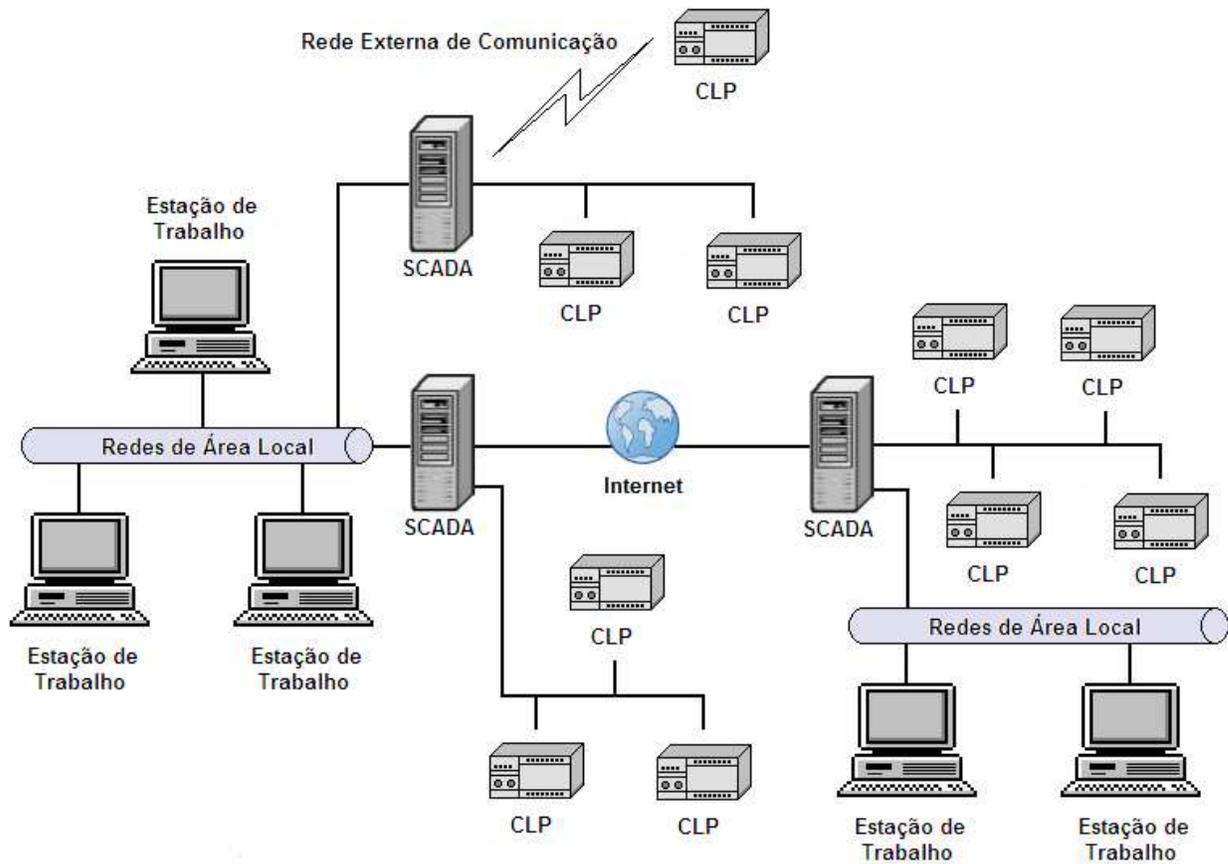


Figura 3.9 - Arquitetura SCADA de última geração – Fonte: Autor, 2010.

3.2.2.5 Variáveis dos sistemas SCADA

Para que o CLP envie ou receba sinais de/para um sistema SCADA é necessário definir endereços de memórias para cada dispositivo de Entrada/Saída do CLP. Através de um mapa de memória definido no CLP é criada uma base de dados no sistema SCADA, interligando cada uma dessas variáveis. Cada variável do sistema possui uma etiqueta (TAG), que traz informações como o endereço dentro do CLP e o tipo desse endereço. Quando a informação vinda do CLP for do tipo digital (booleana), atribui-se TAG's digitais de entradas e de saídas, normalmente denominados DI

(Entrada Digital) e DO (Saída Digital). Quando a informação vinda do CLP for do tipo analógica, atribui-se TAGs analógicos de entrada (AI) e de saída (AO).

A informação detalhada, contida em um TAG é mais complexa do que se imagina, pois existem vários campos para serem definidos. A Figura 3.10 ilustra uma tela de configuração de um TAG de Entrada Analógica no software do sistema SCADA iFIX (GE Fanuc).

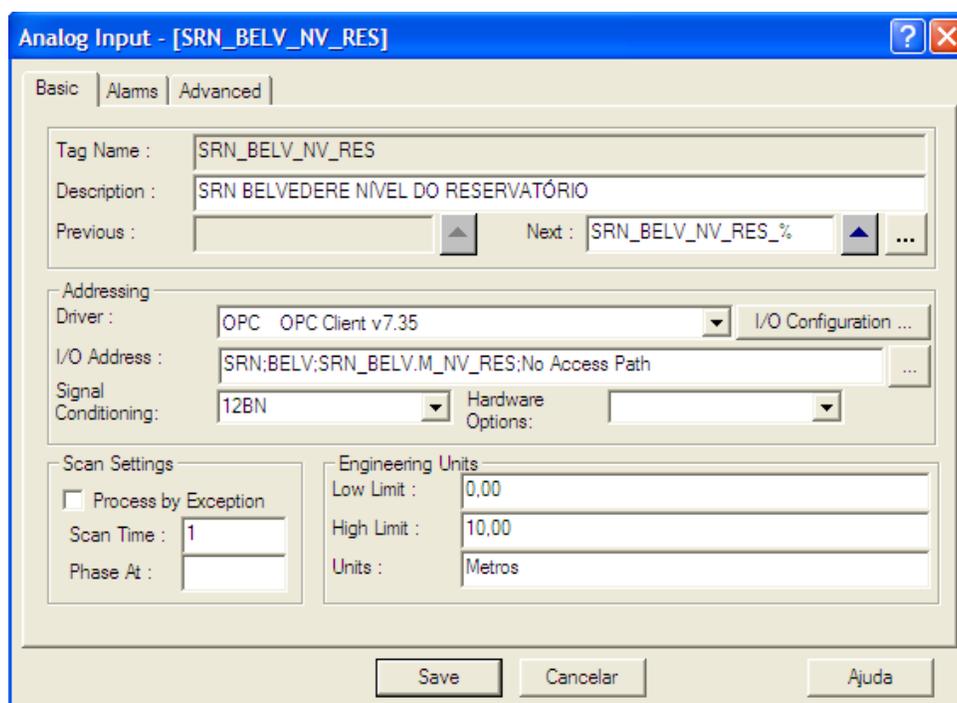


Figura 3.10 - Exemplo de tela para configuração de um TAG do tipo analógico – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

A Tabela 3.4 ilustra os principais campos a serem parametrizados na pasta básica de um TAG de entrada analógica no software do sistema SCADA iFIX (GE Fanuc).

Tabela 3.4 - Principais campos de um TAG de Entrada Analógica.

Campo	Descrição
Tag Name	Nome do Tag
Description	Nome da fonte de informação
Driver	Dispositivo de comunicação com o CLP
I/O address	Endereço correspondente no CLP
Signal Conditioning	Dispositivo que calibra o sinal com o CLP
Scan Time	Especifica o tempo de varredura do Tag
Low Limit	Valor mínimo da variável de processo
High Limit	Valor máximo da variável de processo

3.2.2.5.1 Exemplo de utilização de TAGs digitais e analógicos em redes de distribuição

Com o propósito de um melhor entendimento na utilização das entradas/saídas (digitais ou analógicos) neste trabalho, o exemplo a seguir, descreve como se diferencia TAGs digitais e analógicos e cita alguns dispositivos de campo atribuídos aos TAGs.

Em um sistema de bombeamento de água o sinal de estado (ligado/desligado) de um conjunto moto bomba é do tipo DI (entrada digital), pois o sistema SCADA estará recebendo do CLP uma variável do tipo booleana (0 ou 1). Neste mesmo sistema de bombeamento de água, o sinal vindo de um Transmissor de Pressão será definido no sistema SCADA como um TAG do tipo AI (entrada analógica). Na base de dados do

sistema SCADA, para um sinal analógico tanto de entrada como para de saída, as variáveis são números inteiros variando de 0 a 4.095 (quando a resolução das entradas/saídas analógicas do CLP for de 12 Bits), ou 0 a 65.535 (quando o CLP possuir 16 Bits de resolução em suas entradas e saídas analógicas). No caso do exemplo, a entrada analógica que terá resolução de 12 Bits, será convertida para uma escala de engenharia apropriada (0-100 mca). A Figura 3.11 ilustra como funciona o sistema de conversão adotado em um sistema SCADA.

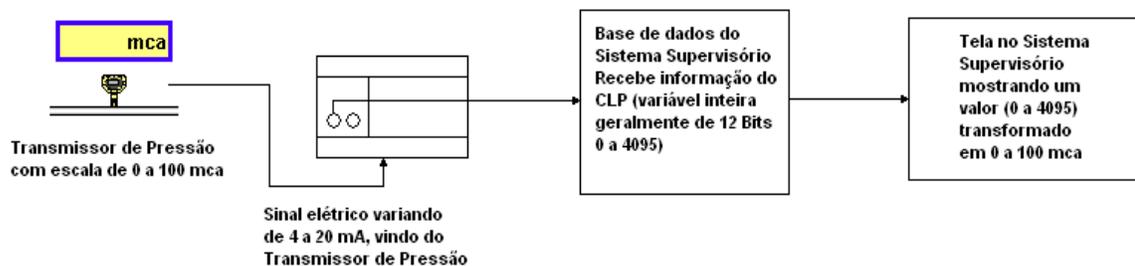


Figura 3.11 - Sistema de conversão de um sinal analógico em um sistema SCADA analógico – Fonte: Autor, 2010.

3.2.2.6 Características dos sistemas SCADA

A facilidade de interpretação de uma tela no sistema SCADA é uma característica das mais primordiais, MORAES/CASTRUCCI (2007), cita que a representação da planta por áreas e equipamentos de processo, facilita a sua rápida interpretação, assim como a atuação por parte da equipe de operação, especialmente quando a tela é animada com cores e movimentos.

De acordo com GOMES (2002), essas telas (interfaces gráficas), além de terem que espelhar de forma simples e intuitiva a realidade do sistema controlado, tem também que permitir que se atue sobre ele. Isto implica que as aplicações de interface com os operadores, não sejam apenas receptores de dados relativos aos equipamentos

visualizados, mas permitam também atuação sobre eles, com o conseqüente envio de mensagens de controle para os sistemas SCADA (aceitação de alarmes, envio de controles, etc.).

Os softwares de desenvolvimento possuem bibliotecas internas com uma infinidade de animações já criadas para facilitar no desenvolvimento das telas. As propriedades de animação dos softwares de desenvolvimento disponíveis permitem a configuração das principais propriedades dos objetos do processo. Essas propriedades permitem variar a cor, altura, largura, posição, visibilidade, espessura e etc.

Na tela da Figura 3.12, podemos observar um sistema completo de uma Estação de Tratamento de Água.

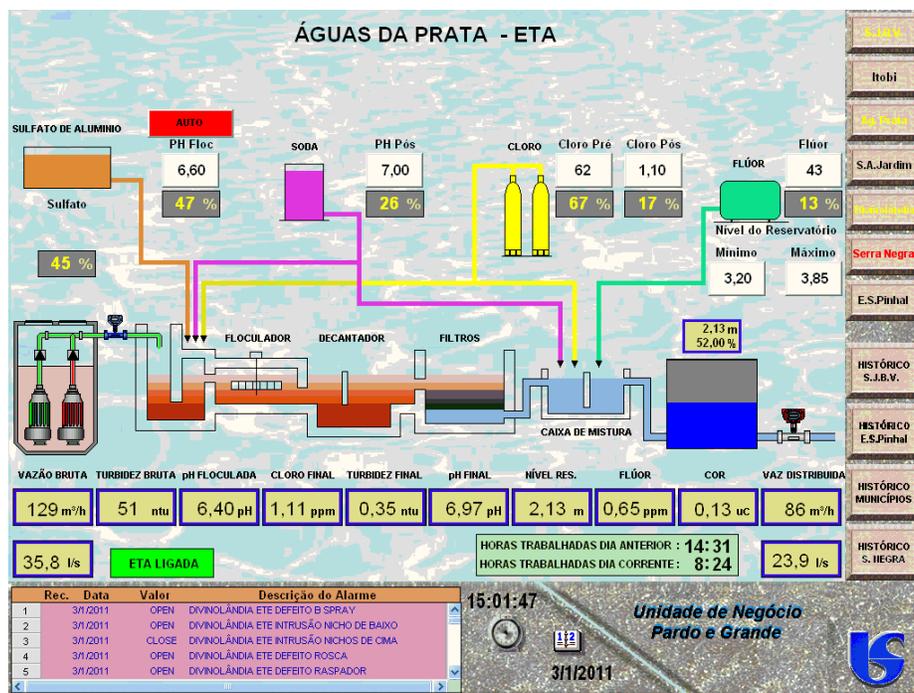


Figura 3.12 - Tela de uma Estação de Tratamento de Água (Município de Águas da Prata – S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

3.2.2.7 Alarmes dos sistemas SCADA

Os alarmes se constituem em uma ferramenta muito importante num sistema SCADA, pois possibilita ao operador do sistema, uma ação rápida, quando do surgimento de um alarme, para solucionar o problema.

Normalmente se estabelece níveis e prioridades para os alarmes, variando de simples sinais de alerta a alarmes de fato. Os alarmes normalmente são mostrados nas telas, através de sinalizações visuais, são também registrados em um sumário de alarmes e atuando algum dispositivo auditivo como sirenes ou auto-falantes.

MORAES e CASTRUCCI (2007) cita importantes características dos alarmes como sendo:

- Escolha e notificação de operadores.
- Envio de mensagens.
- Providência de ações.
- Chamar a atenção do operador para uma modificação do estado do processo.
- Sinalizar um objeto atingido.
- Fornecer indicação global sobre o estado do processo, etc.

3.2.2.8 Telas de tendências

Todos os softwares do sistema SCADA possuem telas de tendências, pois são nessas telas que se mostram os valores armazenados das variáveis do processo. No sistema SCADA são escolhidas as variáveis que serão armazenadas e são atribuídos

parâmetros para o armazenamento, como: tempo de amostragem, filtro dos valores das variáveis, mudança de escala, etc.

Na elaboração das telas é possível definir vários parâmetros como: o intervalo de tempo mostrado, a escala, o número de variáveis, etc.

A Figura 3.13 ilustra uma típica tela de tendências para monitoração de Pressão.

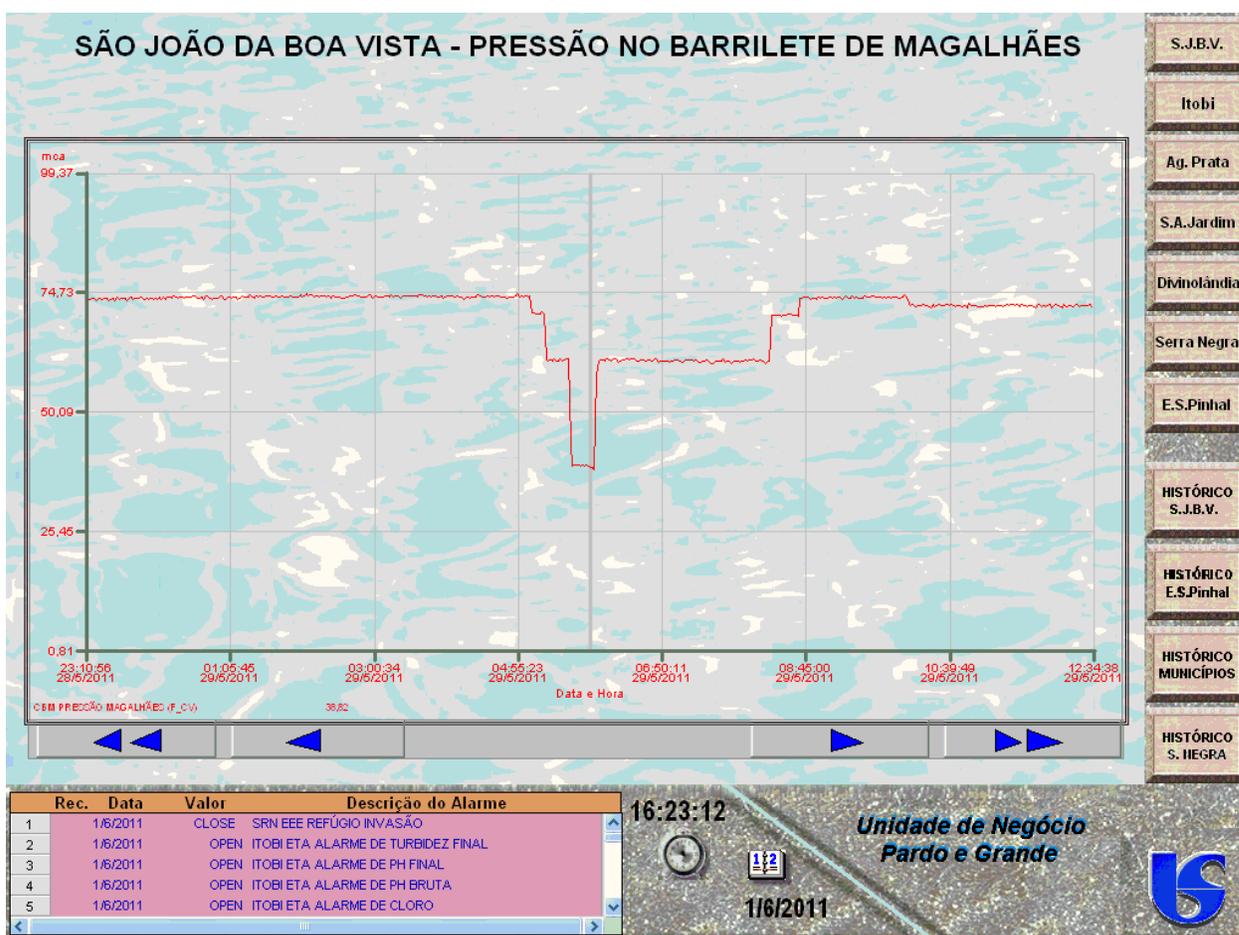


Figura 3.13 - Típica tela de tendências (Município de São João da Boa Vista – S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

3.2.2.9 Implantando sistemas SCADA

Há muitas maneiras diferentes nos quais os sistemas SCADA podem ser implantados. Antes de um sistema SCADA ou qualquer outro sistema ser implantado, será necessário determinar qual a função que o sistema irá executar. A implantação de um sistema dependerá do tipo de empresa, pois existem empresas que todas as unidades se encontram no mesmo local físico e existem empresas que as unidades se encontram espalhadas em diferentes locais, havendo a necessidade de empregar métodos diferentes que são complementares uns aos outros.

Os sistemas SCADA podem ser interligados de várias formas. Nas seções seguintes serão apresentadas algumas das formas mais comuns que os sistemas SCADA são implantados assim como suas vantagens e desvantagens.

3.2.2.10 Meios Físicos de Transmissão

De acordo com ALBUQUERQUE E ALEXANDRIA (2007), o meio de transmissão é o caminho pelo qual os dados trafegam entre as estações de trabalho em uma rede digital, em que o acesso é realizado pela camada física do modelo OSI/ISO.

3.2.2.10.1 Cabo de par trançado metálico

Os cabos de par trançado de telecomunicações é o meio mais utilizado pelas empresas onde a estação remota esteja situada distante do sistema SCADA. Os cabos

são essencialmente os mesmos daqueles utilizados pela companhia telefônica e contem normalmente um par de condutores.

Esse tipo de cabo pode ser utilizado tanto para sinais analógicos como para sinais digitais, quando utilizado para sinais digitais se torna necessário o uso de um outro dispositivo denominado MODEM, que tem por função, modular e demodular o sinal.

Na Tabela 3.5 são apresentadas as vantagens e desvantagens do cabo de par trançado.

Tabela 3.5 - Vantagens e desvantagens do cabo de par trançado.

Vantagens	Desvantagens
Sem necessidade de licenciamento	Configuração de redes inflexíveis
Econômico para curtas distâncias	Sujeito a falhas na presença de umidade
Alta capacidade de transmissão	Falhas podem ser difíceis de localizar

3.2.2.10.2 Cabo coaxial metálico

O cabo coaxial é constituído por um condutor de cobre central envolvido por um material isolante. O material isolante, por sua vez, é envolvido por uma malha condutora, geralmente denominada blindagem.

Devido a essa blindagem o cabo coaxial pode transmitir sinais de alta frequência, pois se torna mais protegido contra ruídos e com atenuação baixa em comparação aos fios de pares trançados.

Existem dois padrões para a utilização desses cabos, o de 50 ohm e o de 75 ohm, sendo que o de 50 ohm é mais utilizado em transmissões do tipo digital e o de 75 ohm é amplamente utilizado em transmissão de sinais analógicos.

Normalmente utiliza-se este tipo de cabo em sistemas SCADA locais, pois é recomendado para pequenas distâncias (100 a 200 m).

Na Tabela 3.6 são apresentadas as vantagens e desvantagens do cabo coaxial.

Tabela 3.6 - Vantagens e desvantagens do cabo coaxial.

Vantagens	Desvantagens
Por ser blindado, possui alta imunidade a ruídos	Normalmente utilizado em topologia linear possui configuração de redes inflexíveis
Alta capacidade de transmissão	Alta incidência de mau contato
Baixa atenuação do sinal	Cabo difícil de manusear

3.2.2.10.3 Cabo de fibra ótica

A tecnologia de fibra ótica melhorou consideravelmente desde sua criação em 1970.

ALBUQUERQUE E ALEXANDRIA (2007) cita que a atual tecnologia de fibra ótica pode trabalhar com taxas de transmissão superior a 50.000 Gbps, infelizmente o limite prático da sinalização atual é limitado na ordem de 1 Gbps, pois não é possível converter os sinais elétricos e óticos em uma velocidade maior.

De acordo com TORRES (2001), existem dois tipos de fibras ópticas: modo múltiplo (MMF, Multiple Mode Fiber) e modo único (SMF, Single Mode Fiber). Essa classificação diz respeito a como a luz é transmitida através da fibra.

TORRES (2001) cita ainda que as fibras de modo múltiplo são mais grossas do que as fibras de modo único. Como efeito, a luz reflete mais de uma vez nas paredes da fibra e, com isso, a mesma informação chega várias vezes ao destino, defasada da informação original, assim o receptor possui o trabalho de detectar a informação correta e eliminar os sinais de luz duplicados. Quanto maior o comprimento do cabo, maior será esse problema.

Já as fibras de modo único são finas e, com isso, a luz não ricocheteia nas paredes da fibra, chegando diretamente ao receptor. Com isso, esse tipo de fibra consegue ter um comprimento e um desempenho maiores que as fibras de modo múltiplo.

TABINI (1999) cita que este tipo de fibra apresenta uma grande largura de banda que é da ordem de 10 a 100GHz, pois não há dispersão modal, e apresenta uma baixa atenuação que varia entre 0,2 dB/Km a 0,5 dB/Km em função do comprimento de onda.

A Figura 3.14 ilustra os dois tipos de fibras.

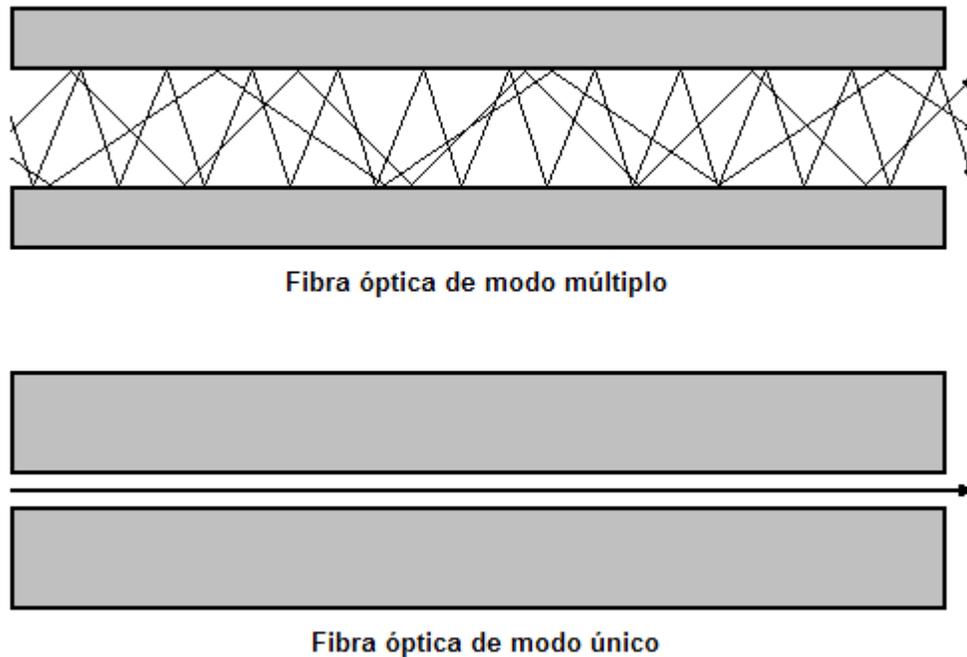


Figura 3.14 - Tipos de fibras ópticas – Fonte: TORRES, 2001.

Os cabos de fibra ótica são semelhantes aos cabos coaxiais, porém sem a malha condutora interna (blindagem).

Os serviços de comunicação que normalmente utilizam fibra ótica incluem voz, dados de alta velocidade, tele conferência, entre outros.

Na Tabela 3.7 são apresentadas as vantagens e desvantagens do cabo de fibra ótica.

Tabela 3.7 - Vantagens e desvantagens do cabo de fibra ótica.

Vantagens	Desvantagens
Imunidade Eletromagnética	Equipamento de teste caro
Alta capacidade de transmissão	Cabo difícil de manusear
Alta imunidade a ruído	Difícil manutenção

3.2.2.11 Transmissão sem fio

A transmissão sem fio oferece algumas opções interessantes para que se adote esse tipo de transmissão em um sistema SCADA, quando existem estações remotas que não se encontram no mesmo local físico do sistema.

Os sistemas que trabalham com redes sem fio são denominados WLAN (Wireless LAN), os sistemas mais utilizados serão descritos a seguir.

3.2.2.11.1 Rádio-modem

Os rádio-modem são equipamentos que incorporam um rádio tranceptor e um modem, que tem seu princípio de funcionamento baseado na conversão de sinais digitais em sinais analógicos misturando a uma freqüência portadora e transmitindo a um outro dispositivo, onde o sinal será separado da portadora e enviado a sua porta de comunicação, geralmente no padrão RS232 ou RS485. Esses rádios podem ser divididos em dois grupos: os que utilizam freqüência fixa e os que utilizam tecnologia de *spread spectrum*.

Os rádios de frequência fixa podem atingir distâncias de até 50 Km, pois trabalham com potências de até 5 Watts. Como esses rádios ocupam uma frequência fixa no espectro de frequência disponível para transmissão de dados e trabalham com uma potência elevada, se torna necessário disponibilizar junto a ANATEL, uma licença de operação. A faixa de operação desses rádios é de 406 a 430MHz.

Já no sistema *spread spectrum* a principal vantagem é o compartilhamento dos canais de frequência com um índice de interferência reduzido. Esta técnica consiste em modificar o sinal de informação executando o seu espalhamento em um espectro de frequências.

De acordo com SOUSA (2005), *Spread spectrum* é uma tecnologia com uso em aplicações de comunicações wireless, e que:

- Esta técnica opera nas faixas de 902 a 928MHz; 2,4 a 2,483GHz e 5,725 a 5,875GHz
- Consegue ultrapassar obstáculos com mais eficiência que sistemas de microondas por utilizar frequências menores, portanto mais fáceis de ultrapassar obstáculos.

Segundo FONSECA (2009), esses rádios 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 frequências livres, denominadas internacionalmente como bandas ISM (Instrumentation, Scientific & Medical) definidas nas faixas de 900 MHz, 2,4 GHz e 5,8 GHz.

Na Tabela 3.8 são apresentadas as vantagens e desvantagens do rádio-modem.

Tabela 3.8 - Vantagens e desvantagens do rádio-modem.

Vantagens	Desvantagens
Longas distâncias para comunicação	Alto custo de implantação
Pouco retardo de sinal	Baixas taxas de transmissão
Baixo custo de manutenção	Necessidade de licença (400MHz)
Baixa incidência de manutenção	Técnicas de transmissão limitadas

3.2.2.11.2 Telefonia Móvel – Celular

Quando as instalações estiverem muito longes ou o local não seja adequado para a utilização de rádio, existe então a possibilidade do uso da telefonia móvel.

Atualmente esta tecnologia tem sido utilizada em muitos sistemas devido as suas vantagens. Este tipo de comunicação esta baseada na infra-estrutura disponibilizada por operadoras de telefonia móvel, trafegando dados com grande taxa de transmissão. Neste tipo de comunicação, o padrão mais difundido é o GPRS.

De acordo com FONSECA (2009), 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).

ALBUQUERQUE E ALEXANDRIA (2007), cita que o serviço GPRS é bem diferente e sem dúvida é uma solução bem mais vantajosa em termos de custo. A

tecnologia faz uso de comutação de pacotes, e a conexão pode permanecer aberta sem a necessidade de um canal aberto.

Na Tabela 3.9 são apresentadas as vantagens e desvantagens desse sistema.

Tabela 3.9 - Vantagens e desvantagens da telefonia móvel.

Vantagens	Desvantagens
Não necessita de hardware especial	Necessidade de um servidor de aplicação
Conexões de alta performance	Condição do sinal
Nível alto de segurança de dados	Serviço pago
Conectividade com a internet	Suscetível a congestionamento

De acordo com HAYES (2003), orçamentos magros, um número limitado de pessoal, e uma crescente demanda por informação mais oportuna de toda empresas inteiras, contribuíram, conjuntamente, a fazer controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA) uma parte essencial da utilidade municipal de hoje e operações industriais. Um elemento crítico em qualquer rede SCADA é a comunicação. Um sistema de comunicação confiável para o transporte de dados deve ser empregado para que os benefícios da rede SCADA sejam realizados.

A comunicação sem fio apresenta uma opção atraente para muitos usuários, pois oferece alta disponibilidade, elimina o pagamento de taxas de acesso em curso, e permite que os usuários tenham controle direto sobre seus sistemas. Muitas vezes, é o sistema escolhido, quando um sistema público de telefonia, não garante um monitoramento contínuo de dados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caso em estudo

Um sistema SCADA foi desenvolvido para a solução do problema do sistema de reservação da distribuição da cidade de Santa Rosa de Viterbo, que possui 22.207 habitantes (Março de 2009) e um total de 8.053 ligações prediais, cuja concessionária responsável é a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), sob gerência da Regional da SABESP-Franca.

O município localiza-se a uma distância de 310 km da cidade de São Paulo, capital do estado, interligando-se com ela pelas Rodovias Anhanguera (SP 340), até o município de Luiz Antonio, pela Rodovia Chaffy Jorge até o município de São Simão e pela rodovia Conde Francisco Matarazzo até Santa Rosa de Viterbo, como ilustra a Figura 4.1.

O município de Santa Rosa de Viterbo está localizado na região nordeste do Estado de São Paulo ocupando uma área de 284 km². Pertence à 6^a Região Administrativa de São Paulo - Ribeirão Preto.

Santa Rosa de Viterbo está situado a 21°27' e 21°30' de latitude sul, e 47°23' e 47°21' de longitude oeste de Greenwich, localizado na mesorregião de Ribeirão Preto, estado de São Paulo, região sudeste da República Federativa do Brasil. A altitude

média do município é de 735 m. A Figura 4.2 ilustra a vista aérea de Santa Rosa de Viterbo.



Figura 4.1 - Mapa de localização de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.



Figura 4.2 – Vista aérea de Santa Rosa de Viterbo Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

O município de Santa Rosa de Viterbo está inserido na unidade de gerenciamento de recursos hídricos - UGRH 04 – Pardo, como ilustra a Figura 4.3, possui área de 20.194 km² e como principais corpos d'água os córregos Barreiros, das Pedras, Monteiro, Santa Sofia, Santa Constança, da Lagoa, Barro Preto, Caçador e ribeirões Quebra Cuiá e das Águas Claras.

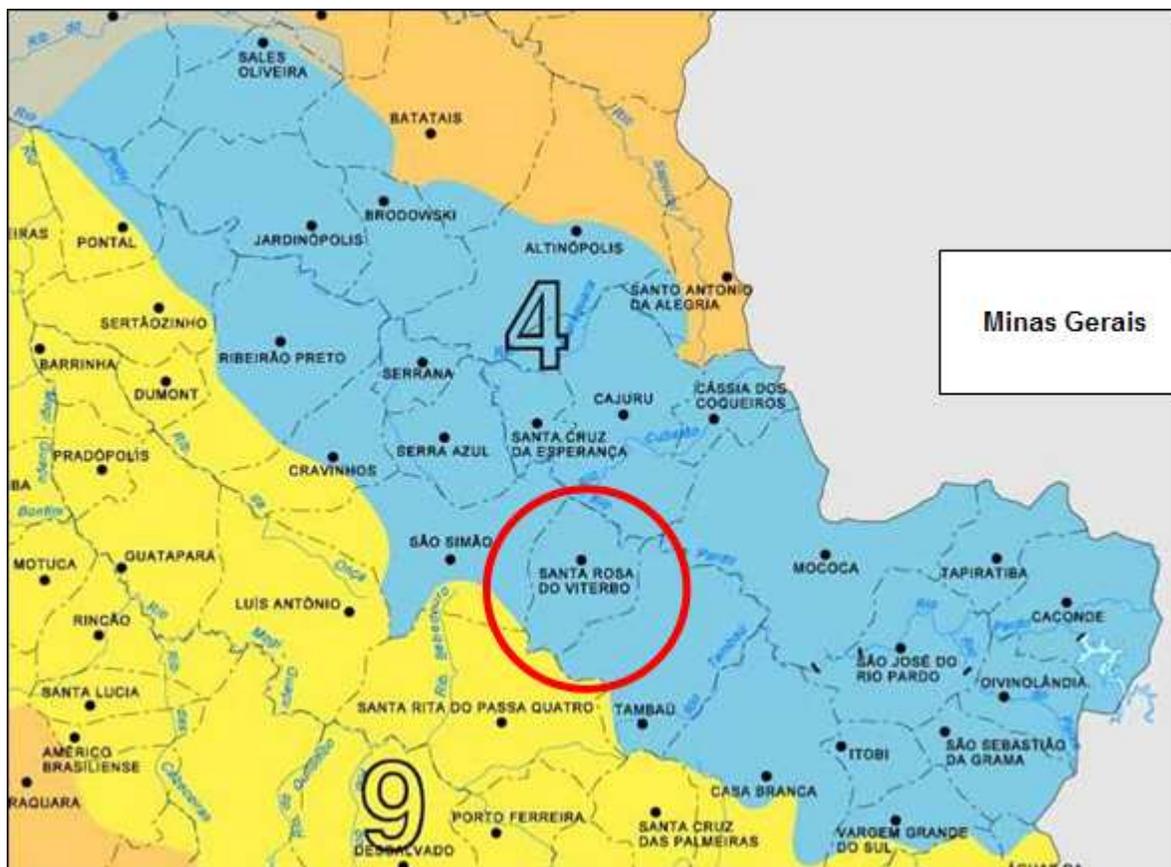


Figura 4.3 – UGRH 4 – Bacia do Rio Pardo – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

4.2 Descrição do sistema

O sistema de distribuição de água da cidade de Santa Rosa de Viterbo é bastante simples. A água que abastece o sistema é captada no Ribeirão Quebra Cuia e conduzida à estação de tratamento (ETA01) através da estação elevatória de água bruta 01 (EEAB01). Após tratamento convencional é armazenada no reservatório semi-enterrado 01 (RS01) que abastece por gravidade as redes de distribuição da zona alta e os reservatórios apoiado 01 (RA01) e semi-enterrado 02 (RS02). O reservatório apoiado 01 (RA01) abastece por gravidade a rede de distribuição da zona média 01 e o

reservatório semi-enterrado 02 (RS02) abastece por gravidade a rede de distribuição da zona baixa.

As capacidades dos reservatórios são:

- Reservatório semi-enterrado 01 (RS01) com capacidade de 1.000 m³;
- Reservatório semi-enterrado 02 (RS02) com capacidade de 620 m³;
- Reservatório apoiado 01 (RA01) com capacidade de 1.000 m³.

Na Figura 4.4 é apresentado um croqui do sistema de abastecimento de água existente.

A seguir são apresentadas as localizações das unidades do sistema de água:

- Estação elevatória de água bruta 01 (EEAB01): junto à captação da água do Rio Quebra Cuia;
- Estação de tratamento de água 01 (ETA01) e reservatório semi-enterrado 01 (RS01): Estrada Municipal Santa Rosa - Nhumirim;
- Reservatórios apoiado 01 (RA01) e semi-enterrado 02 (RS02): Avenida São Paulo, números 1247 e 003, respectivamente.

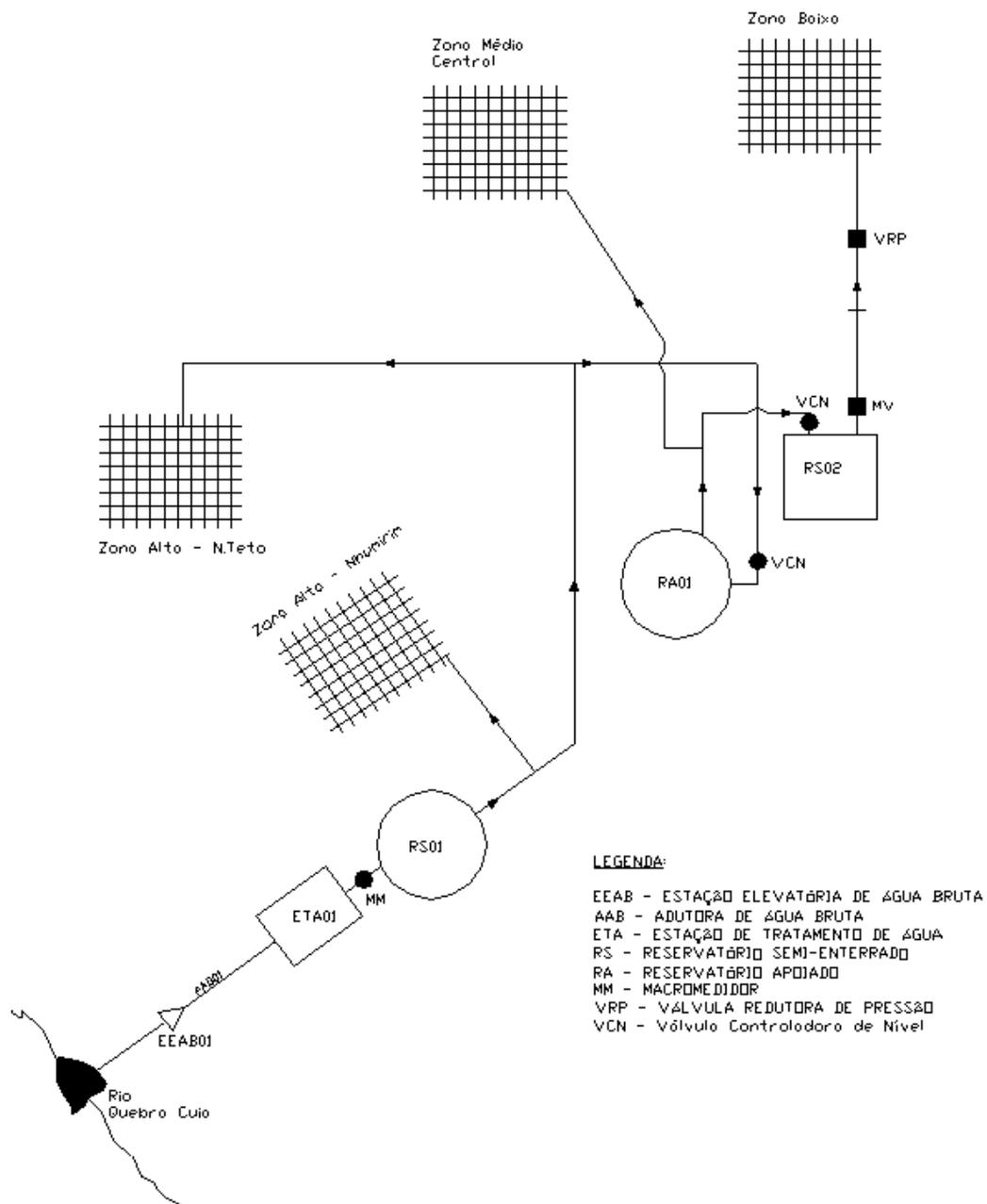


Figura 4.4 - Croqui do sistema de abastecimento de água existente em Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

Devido ao crescimento populacional de Santa Rosa de Viterbo, o reservatório da Zona Alta, apresentava níveis críticos para o abastecimento do setor correspondente. Com uma válvula controladora de nível instalada na entrada do reservatório da Zona Alta, apenas dois estados operacionais (aberta ou fechada) eram possíveis, que dependia de dois níveis extremos (máximo e mínimo) para sua abertura e fechamento. O sistema apresentava problemas de distribuição de água, não conseguindo suprir a demanda em todos os períodos do dia.

Com a válvula de entrada do reservatório da Zona Média aberta, a água fornecida pela Estação de Tratamento que deveria atender o reservatório da Zona Alta, escoava diretamente para o reservatório da Zona Média, uma vez que em determinados horários o consumo era muito elevado e o reservatório da Zona Média não elevava o nível, resultando assim no desabastecimento do reservatório da Zona Alta, acarretando problemas de abastecimento à população atendida por este reservatório. A Figura 4.5 ilustra o sistema.

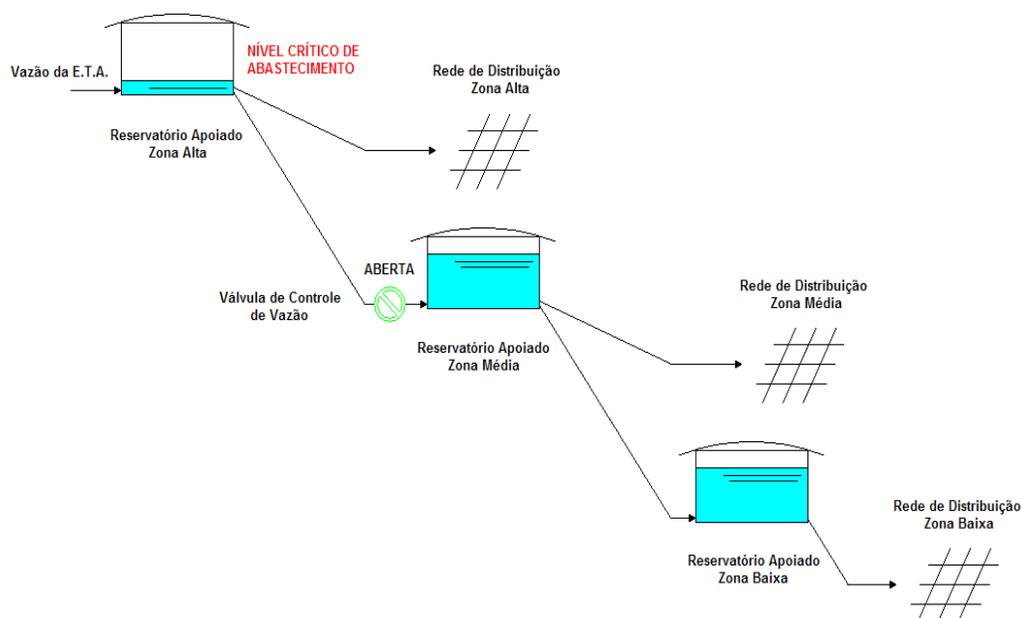


Figura 4.5 - Diagrama do sistema antigo de distribuição de água de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Autor, 2010.

4.3 Método de trabalho

A solução proposta para o problema descrito baseou-se na substituição da válvula Hall de entrada do reservatório da zona média por uma válvula motorizada que permitirá através de comando via CLP, manobras de abertura e fechamento necessárias. O comando da válvula foi definido com base no nível do reservatório da zona alta, que é transmitido (via rádio-modem) para a estação remota de controle da válvula. Através de uma lógica pré-programada em um CLP, que teve como referência o nível transmitido (bem como de seus valores extremos) e o nível obtido no próprio reservatório da zona média (e seus extremos), como ilustra a Figura 4.6.

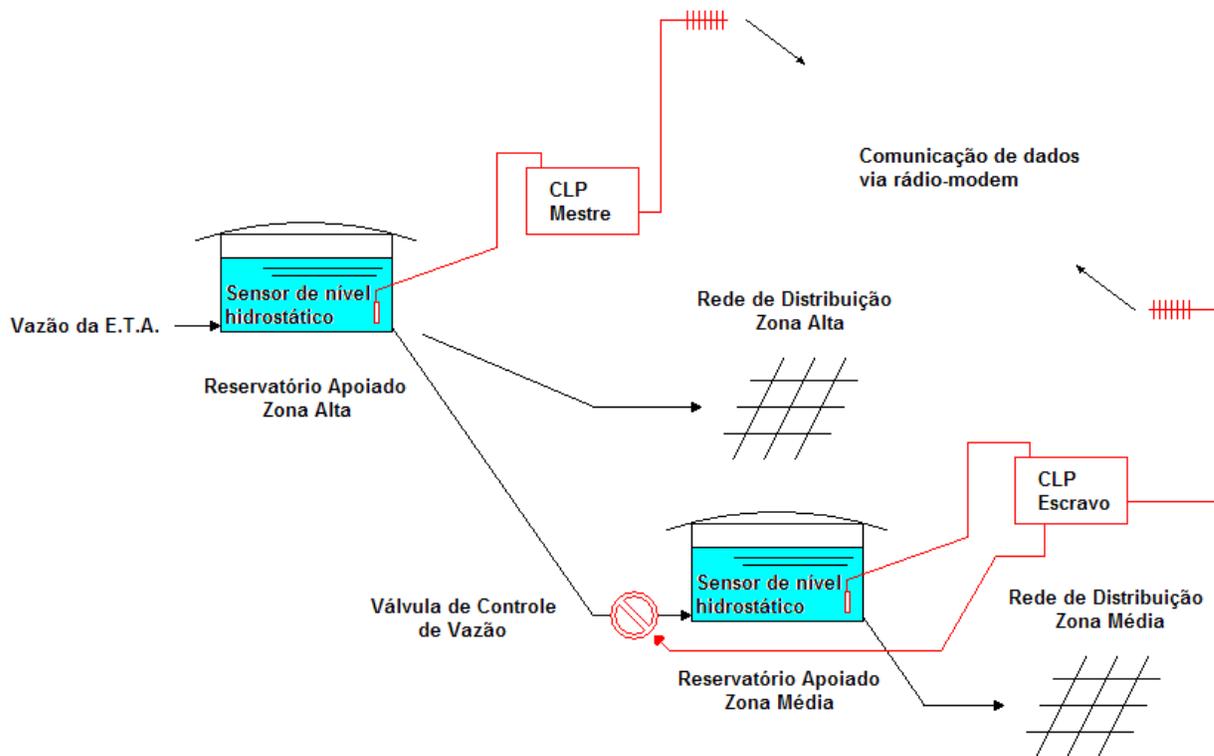


Figura 4.6 - Diagrama do sistema de controle proposto para a operação do sistema – Fonte: Autor, 2010.

A definição da lógica operacional implementada no CLP de controle da válvula, foi obtida com base em um algoritmo de operação, como descrito em seguida.

4.3.1 Algoritmo de operação

O algoritmo de operação está baseado em dois parâmetros, que são: a capacidade de reserva dos reservatórios e o número de ligações abastecidas por esses reservatórios. Este método é aplicado de tal forma que de posse dessas informações, atribui-se um coeficiente proporcional entre as alturas dos reservatórios, para que o CLP do reservatório da Zona Média possa controlar o nível desse reservatório em função do reservatório da Zona Alta.

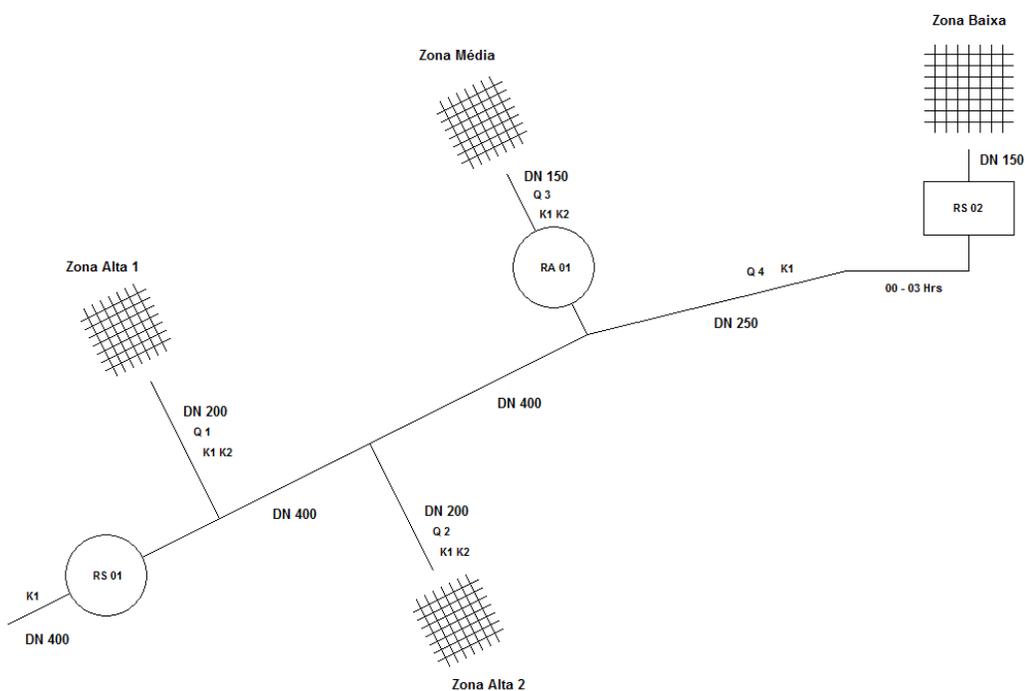


Figura 4.7 - Croqui do sistema de distribuição de água de Santa Rosa de Viterbo S.P. – Fonte: Autor, 2011.

Através do croqui da Figura 4.7, observa-se que é possível aplicar a equação da continuidade dada por:

$$Q = \frac{Vol}{T} \quad 4.1$$

Onde:

Q = Vazão

Vol = volume

T = tempo

E admitindo-se que num instante t_0 a equação de continuidade aplicada ao reservatório da Zona Alta seja:

$$t_{0ZA} = \frac{Vol(RS01)}{Q1+Q2} \quad 4.2$$

Onde:

t_{0ZA} = tempo analisado no momento 0 da Zona Alta.

Vol = volume.

$RS01$ = reservatório semi-enterrado 01 (Zona Alta).

$Q1$ e $Q2$ = vazões de distribuição da zona alta.

E que para o reservatório da Zona Média seja:

$$t_{0ZM} = \frac{Vol(RA01)}{Q3} \quad 4.3$$

Onde:

t_{0ZM} = tempo analisado no instante “0” da Zona Média.

$RA01$ = reservatório semi-enterrado 01 (Zona Média).

$Q3$ = vazão de distribuição da zona média.

A igualdade dos tempos obtidos conduz a:

$$\frac{Vol(RS01)}{Q1+Q2} = \frac{Vol(RA01)}{Q3} \quad 4.4$$

O volume dos reservatórios pode ser escrito como:

Altura x Área da base do reservatório, então:

$Vol(RS01) = altura(RS01) * Área(RS01)$ para o reservatório da Zona Alta e

$Vol(RA01) = altura(RA01) * Área(RA01)$ para o reservatório da Zona Média.

Que substituindo na equação 4.4, resulta:

$$\frac{h(RS01)*A(RS01)}{Q1+Q2} = \frac{h(RA01)*A(RA01)}{Q3} \quad 4.5$$

Onde:

h = altura do reservatório.

A = área da base do reservatório.

Isolando o termo $h(RS01)$ na equação 4.5, tem-se:

$$h(RS01) = \frac{h(RA01)*A(RA01)*(Q1+Q2)}{Q3*A(RS01)} \quad 4.6$$

como $A(RA01), A(RS01), Q1, Q2$ e $Q3$ são parâmetros conhecidos, podendo ser englobados em uma constante K e, desta forma;

$$h(RS01) = h(RA01)*K \quad 4.7$$

Inserindo essa equação através de um algoritmo escrito no “software” do CLP situado no reservatório da Zona Média que recebe o sinal de nível do CLP situado no reservatório da Zona Alta, para fazer com que os reservatórios trabalhem em suas melhores condições, sempre estabelecendo essa relação entre os dois níveis dos reservatórios.

Sabendo-se que:

- Área da base do reservatório da Zona Alta: 223m²
- Número total de ligações da Zona Alta: 4.343
- Área da base do reservatório da Zona Média: 250m²

- Número total de ligações da Zona Média: 3.276

- As vazões Q1, Q2 e Q3, são função do número de ligações de cada zona de abastecimento e do perfil de consumo, que neste caso é o mesmo, pois o município não possui grandes consumidores que possam alterar este parâmetro.

A partir da equação da continuidade pode-se determinar a vazão máxima diária em uma zona de pressão, através da seguinte fórmula:

$$Q_{m\acute{a}xima} = \frac{\left(\frac{K1 \cdot K2 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_{esp}\right)}{(1-IP)} \quad 4.8$$

Sendo:

Q = Vazão (l/s)

$K1$ = coeficiente do dia de maior consumo (admitido 1,20)¹

$K2$ = coeficiente da hora de maior consumo (admitido 1,50)¹

P = População (hab)

q = consumo per-capita (l/hab/dia)

¹ Valores usualmente utilizados pela SABESP.

Q_{esp} = Vazão para abastecimento de consumidores especiais (admitido 0)²

IP = Índice de Perdas (admitido 25%)

Para a Zona Alta, tem-se:

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\left(\frac{K1 * K2 * P * q}{86400} + Q_{esp}\right)}{(1 - IP)} \quad 4.9$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\left(\frac{1,2 * 1,5 * 4343 * 220}{86400} + 0\right)}{(1 - 0,25)}$$

$$Q_1 + Q_2 = 26,54 \text{ l/s}$$

Para a Zona Média, tem-se:

² Neste município não existem consumidores especiais como, por exemplo, grandes indústrias, Faculdades, Shopping Centers.

$$Q_3 = \frac{\left(\frac{K1 * K2 * P * q}{86400} + Q_{esp}\right)}{(1 - IP)} \quad 4.10$$

$$Q_3 = \frac{\left(\frac{1,2 * 1,5 * 3276 * 220}{86400} + 0\right)}{(1 - 0,25)}$$

$$Q_3 = 20,02 \text{ l/s}$$

Substituindo os valores na equação 4.6, temos:

$$h(RS01) = \frac{h(RA01) * 250 * 26,54}{20,02 * 223}$$

$$h(RS01) = h(RA01) * 1,49 \quad 4.11$$

O nível máximo admitido para o reservatório da Zona Alta é de 4,5m e o da Zona Média é de 4,0m. Assim, na hipótese do reservatório da Zona Alta apresentar nível igual a por exemplo: 4,45m, ou seja, próximo do máximo, o nível calculado para a Zona Média seria 2,99m, com base na equação 4.11.

Tendo como base o uso completo dos reservatórios, ou seja, sua máxima capacidade, percebe-se que a altura de 2,99m obtida através da equação 4.11, não corresponde ao nível desejado para o reservatório da Zona Média.

Este problema foi resolvido, inserindo um “fator de ajuste” junto ao algoritmo, que a partir de um determinado valor de nível do reservatório da Zona Alta (71%), soma-se um valor ao nível calculado para o reservatório da Zona Média, conforme ilustra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros dos níveis dos reservatórios.

Nível do reservatório da Zona Alta (m)	Valor calculado para Zona Média (m)	Fator de Ajuste (adimensional)	Valor final para o nível do reservatório da Zona Média (m)
3,19 (71%) a	2,15 a	0,30	2,45 a
3,6 (80%)	2,42		2,72
3,65 (81%)a	2,45 a	0,60	3,05 a
4,05 (90%)	2,73		3,33
4,09 (91%) a	2,76 a	0,90	3,66 a
4,50 (100%)	3,03		3,93

A vazão de abastecimento do reservatório da Zona Baixa (Q4) foi desconsiderada, pois este possuía uma capacidade de reserva de aproximadamente 48 horas de consumo, e que para garantir o seu nível sempre cheio, foi instalada uma válvula on-off comandada por um “timer” e duas bóias de nível que aciona a válvula somente durante as primeiras horas de cada dia, normalmente das 0:00 h até as 3:00 h, ou seja, quando existe a garantia de que os reservatórios das Zonas Alta e Média se encontram cheios.

4.4 Implantação do Sistema Automatizado

Neste trabalho foram utilizados CLPs para efetuar o controle dos níveis e um sistema SCADA, para armazenar os valores dos níveis dos reservatórios e facilitar a monitoração e análise ao longo do tempo, sendo importante seu uso, levando em consideração a situação crítica de abastecimento da localidade em estudo.

Para estabelecer a comunicação de dados entre as estações remotas, existiam algumas soluções como seguem:

- Cabo de par trançado (via operadora local de telefonia).
- Telefonia Móvel - Celular (via operadora de telefonia móvel).
- Rádio-modem.

Após serem analisadas as possíveis soluções, optou-se pela utilização dos rádios-modem, pois esses dispositivos embora tenham um custo de implantação maior que as outras duas soluções, não necessitam de gastos mensais. Depois de efetuado um estudo de custo mensal dos outros dispositivos, constatou-se que o custo de implantação dos rádios-modem, seria amortizado em aproximadamente 18 meses.

Para implantação do sistema automatizado, foram propostas e executadas as seguintes modificações, decorrentes da solução proposta no item anterior:

- Troca da válvula instalada na entrada do reservatório da zona média por uma válvula motorizada;
- Instalação de painéis com CLPs nas unidades remotas;
- Instalação de transmissores de nível hidrostáticos nos reservatórios;

- Instalação de rádios e antenas nas unidades remotas;
- Instalação de medidores de vazão;

O sistema SCADA assim constituído inclui os equipamentos que seguem itenizados:

4.4.1 Computador

Equipamento destinado ao processamento do “software” de supervisão utilizado, possuindo as seguintes características:

- Processador Intel Pentium 4
- Sistema operacional WINDOWS XP Professional®
- CPU com velocidade de 3,20GHz
- 2Ghz de memória RAM

4.4.2 Software do Sistema de Supervisão e Controle

Marca GEFanuc, modelo iFIX 4.0 com capacidade ilimitada de TAGs (pontos de entradas e saídas). Este software oferece um alto desempenho aliado à novos e poderosos recursos que facilitam a tarefa de desenvolvimento de sua aplicação. É um software totalmente configurável pelo usuário e as variáveis do processo podem ser visualizadas de forma gráfica permitindo, em tempo real, uma fácil e rápida compreensão do sistema.

4.4.3 Painel do CLP

Neste painel é montado o Controlador Lógico Programável e todos os dispositivos adicionais como: módulos de expansão de entradas e saídas, protetores contra descargas atmosféricas, fontes de alimentação, isoladores galvânicos, interfaces digitais e etc.

4.4.3.1 Controlador Lógico Programável (CLPs)

CLP marca Moeller, modelo PS4-201-MM1, com as seguintes características:

- CPU com 2 processadores trocando dados por uma memória interna;
- Memória de programa RAM de 32 Kbytes + 128 Kbytes (Expansão FLASH);
- Possui duas interfaces de comunicação, uma no padrão serial RS-232 e outra em um padrão próprio chamada Suconet K;
- Possui oito entradas digitais, seis saídas digitais, duas entradas analógicas com resolução de 10 bits e uma saída analógica de resolução de 12 bits;
- Possui dois sistemas de diagnósticos, possibilitando a visualização rápida através de LEDs, e;
- Atende a norma IEC 61131-3.

4.4.3.2 Módulos de Entradas e Saídas

Esses módulos podem ser locais (conectados na CPU através de cabo flat), ou remotos (conectados na CPU através do canal próprio de comunicação Suconet K). O fabricante do CLP disponibiliza diversos módulos com diferentes características, que

podem ser adicionados ao CLP, melhorando a sua capacidade de entradas e saídas e seu desempenho. Abaixo segue alguns tipos de módulos mais comumente utilizados:

- Módulos de Entradas Digitais com 8 ou 16 entradas energizadas (corrente alternada ou contínua) ou contato seco;
- Módulos de Saídas Digitais de 8 ou 16 saídas (relés ou transistores) ou módulos com 8 entradas e 8 saídas digitais;
- Módulos de Entradas e Saídas Analógicas de Tensão (0-5V ou 0-10V) ou Corrente (0-20mA ou 4-20mA), normalmente com precisão de 12 bits;
- Módulos para comunicação serial em diferentes padrões como: MODBUS, PROFIBUS;

4.4.3.3 Protetores contra descargas atmosféricas

São utilizados para proteger o CLP e suas expansões contra descargas atmosféricas, normalmente são instalados nos pontos de alimentação, tanto na entrada de energia elétrica, como na saída das fontes de alimentação e nas entradas e saídas dos sinais digitais e analógicos.

4.4.3.4 Fontes de alimentação

Como padrão adotado no projeto, se utilizou duas fontes em cada painel do CLP, sendo uma para alimentação do CLP e suas expansões e outra para alimentação dos dispositivos externos.

4.4.3.5 Isoladores galvânicos e Interfaces digitais

Foram utilizados isoladores galvânicos para conseguir um melhor nível de proteção das entradas e saídas analógicas e interfaces digitais para melhor proteger os sinais de entradas e saídas digitais.

4.4.4 Sensores e atuadores

Dispositivos instalados no “campo” para transmitir/receber as informações de/para o painel do CLP.

4.4.4.1 Medidor Magnético de Vazão

Marca Danfoss, modelo MAG5000, com saída analógica programada para fornecer sinal de 4-20mA e saída de pulso programada para informar vazão totalizada (um pulso por m³). A precisão deste medidor é de +/- 0,5% do fundo de escala.

A Figura 4.8 mostra um medidor magnético de vazão.



**Figura 4.8 - Medidor magnético de vazão, marca Danfoss, modelo MAG5000 –
Fonte: Autor, 2010.**

4.4.4.2 Transmissor de nível hidrostático

Marca mca, modelo TNH-01-P, com saída 4-20mA e fundo de escala para 0-10 metros, com precisão de 0,25% do fundo de escala.

A Figura 4.9 mostra um transmissor de nível hidrostático.



**Figura 4.9 - Transmissor de nível hidrostático, marca mca, modelo TNH-01-P –
Fonte: Autor, 2010.**

4.4.4.3 Válvula Motorizada

Marca Coester, modelo CSM15, com entrada analógica programada para receber sinal de 4-20mA. As principais características são citadas a seguir:

- Interface de controle local e remoto;
- Diagnóstico de falhas avançado;
- Posicionamento proporcional (0-100%), e;
- Volante de acionamento manual.

A Figura 4.10 mostra uma válvula motorizada.



Figura 4.10 - Válvula Motorizada – Fonte: Autor, 2010.

4.4.5 Rádio Modem

Dispositivo responsável pela comunicação de dados entre as estações remotas. Marca MDS (Microwave Data Systems), modelo TransNET900, este rádio-modem foi desenvolvido para trabalhar com tecnologia “Spread Spectrum”, utilizando a faixa de frequência de 900MHz, possui tecnologia DSP (Digital Signal Processing) que possibilita obter informações sobre a operação e/ou corrigir problemas de outros rádios interligados na mesma rede. Este rádio é licenciado pela ANATEL e possui as seguintes características:

- 128 Frequências na faixa de 902-928MHz, subdivididas em oito zonas de frequência;
- Possui até 65.000 endereços para configuração de rede;

- Opera com velocidade de até 115.200 bps;
- Possui interface de comunicação RS-232 ou RS485.

A Figura 4.11 mostra um rádio-modem de 900 MHz.



**Figura 4.11 - Rádio-modem de 900 MHz, marca MDS, modelo TransNET900 –
Fonte: Autor, 2011.**

4.4.6 Antenas

Para o modelo de rádio-modem utilizado neste sistema, existem basicamente dois tipos de antenas: a omnidirecional (responsável pela transmissão/recepção em todas as direções) e a Yagi (responsável pela transmissão/recepção em apenas uma direção).

Dois modelos foram utilizados neste projeto, sendo ambos da marca TSM, homologadas pela ANATEL. A antena utilizada no rádio mestre é do tipo omnidirecional, enquanto que a antena utilizada pela unidade remota é do tipo Yagi. O modelo da antena omnidirecional é OM91506 que possui um ganho de 6dB e o modelo da direcional é Y92511-07SG que possui 10,5 dB de ganho.

A Figura 4.12 mostra uma antena Omnidirecional (esquerda) e uma antena Yagi (direita)



Figura 4.12 - Antenas Omnidirecional e Yagi – Fonte: TSM, 2011.

A Figura 4.13 ilustra a configuração da unidade remota da Zona Alta (Estação de Tratamento de Água), onde está localizado também o CCO (Centro de Controle Operacional) do sistema.



Figura 4.13 – Configuração da unidade remota da Zona Alta (Estação de Tratamento de Água) – Fonte: Autor, 2011.

A Figura 4.14 ilustra a configuração da unidade remota da Zona Média.



Figura 4.14 - Configuração da unidade remota da Zona Média – Fonte: Autor, 2011.

5 RESULTADOS

5.1 Simulação do sistema

Para que fosse mostrado o sistema antigo sem a utilização da automatização, foi empregado o programa WaterCAD V8i. A rotina de simulação operacional em período extensivo do WaterCAD admite condições de controle que simulam a operação com base em parâmetros operacionais. No estudo em questão estes parâmetros estão baseados aos níveis dos reservatórios e as vazões de entrada e saídas, obtidas através de dados fornecidos pelo próprio sistema supervisorio. A Figura 5.1, ilustra a tela do programa WaterCAD e o quadro onde podem ser mostrados os comandos operacionais utilizados.

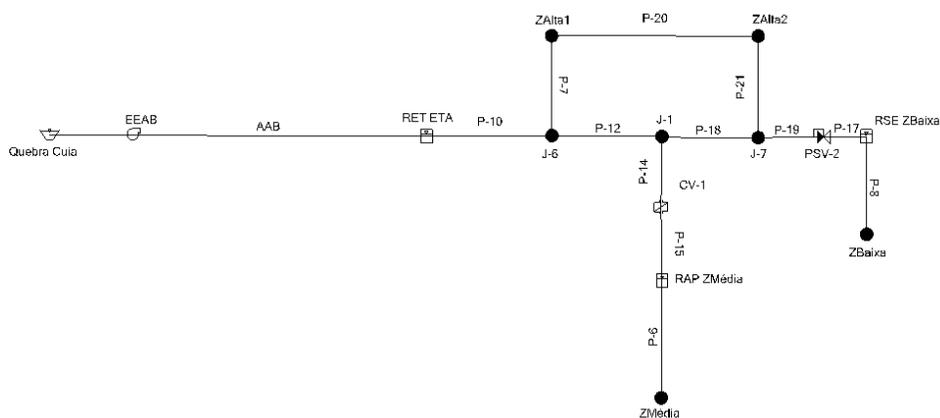


Figura 5.1 - Diagrama esquemático do sistema inserido no WaterCAD – Fonte: Autor, 2011.

Após inserido o diagrama esquemático no software WaterCAD, foram obtidos através do sistema de monitoramento em um período pré estabelecido, os dados das vazões de distribuição das zonas alta e média e os parâmetros (K1 e K2) necessários para que o software pudesse simular a situação do antigo sistema, que apresentou os seguintes resultados:

Com relação ao reservatório da Zona Alta, analisando o gráfico da Figura 5.2, pode-se observar com clareza o problema que existia no sistema antes de adotado o sistema proposto. Nesta simulação o nível deste reservatório apresentou índice crítico por 6 vezes em 5 dias, enquanto que o reservatório da Zona Média (gráfico da figura 5.3) funciona sem ser muito exigido

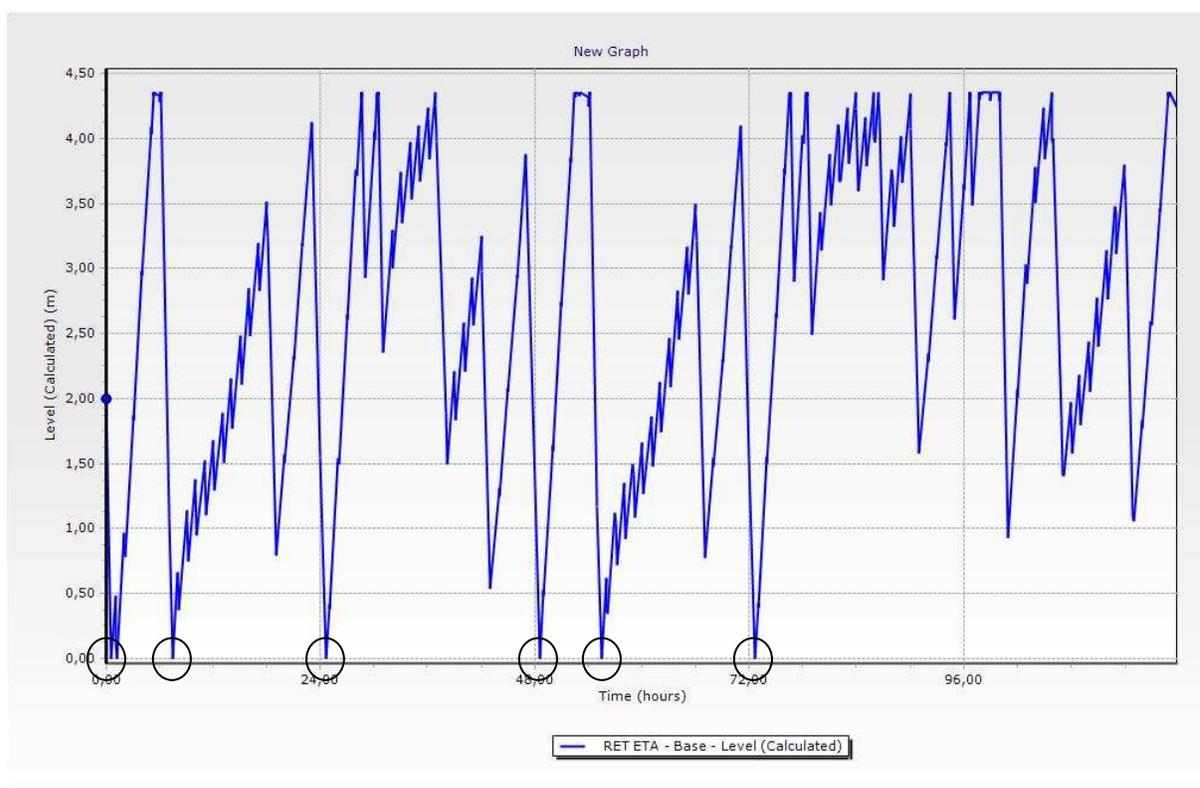


Figura 5.2 – Gráfico do nível do reservatório da Estação de Tratamento de Água – Zona Alta – Fonte: Autor, 2011.

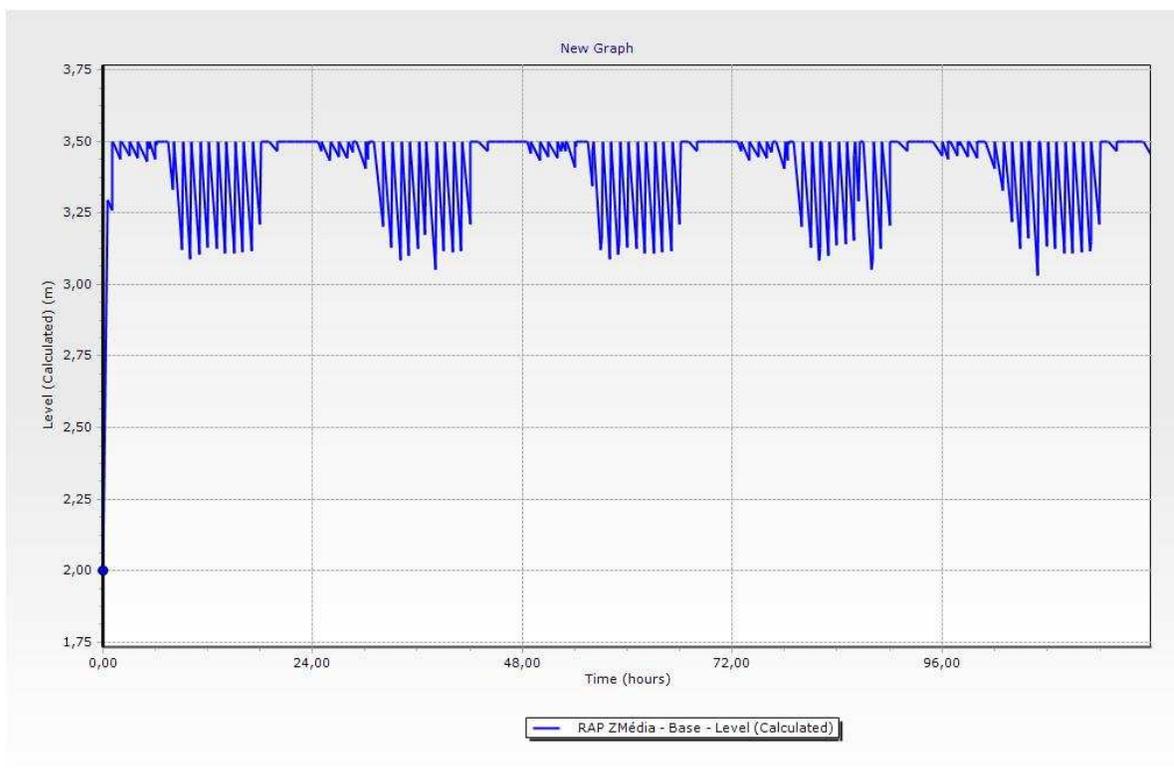


Figura 5.3 – Gráfico do nível do reservatório da Zona Média – Fonte: Autor, 2011.

Analisando os gráficos das Figuras 5.4 e 5.5, que ilustram as pressões nos dois pontos da Zona Alta (1 e 2), pode-se constatar o que já havia sido constatado no caso do nível do reservatório da Zona Alta, ou seja, as pressões negativas nesses casos mostram a falta de água nesses pontos.

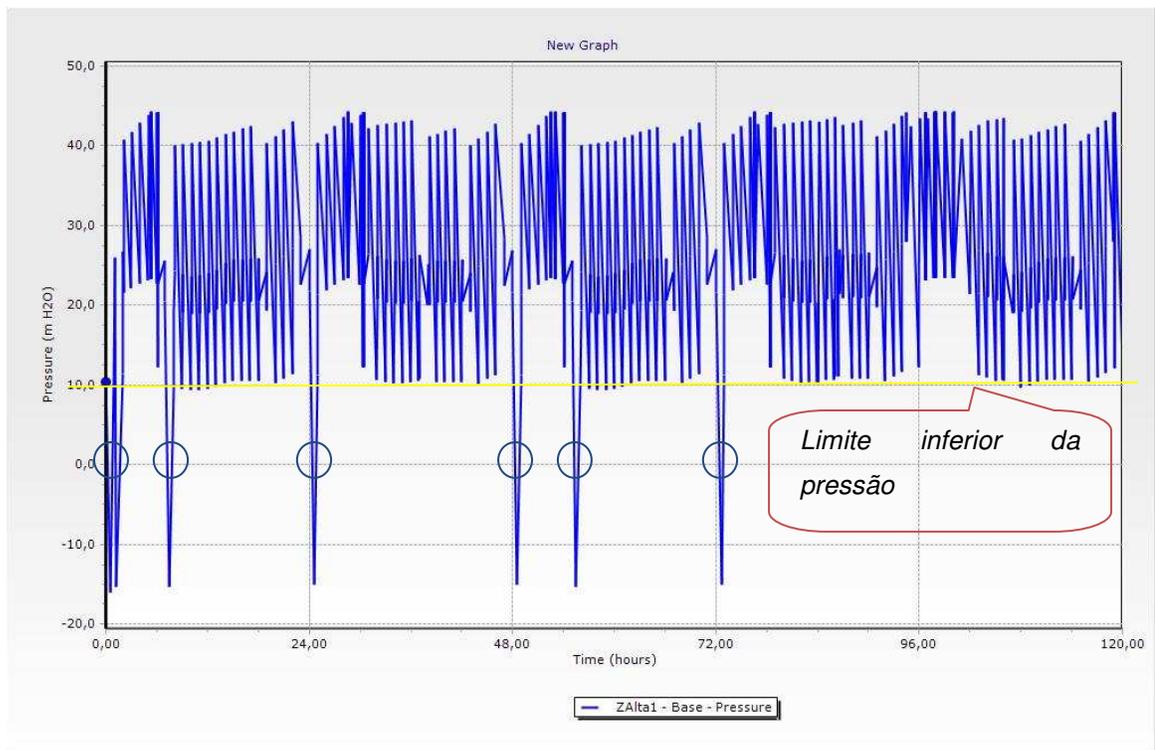


Figura 5.4 – Gráfico da pressão na Zona Alta 1 – Fonte: Autor, 2011.

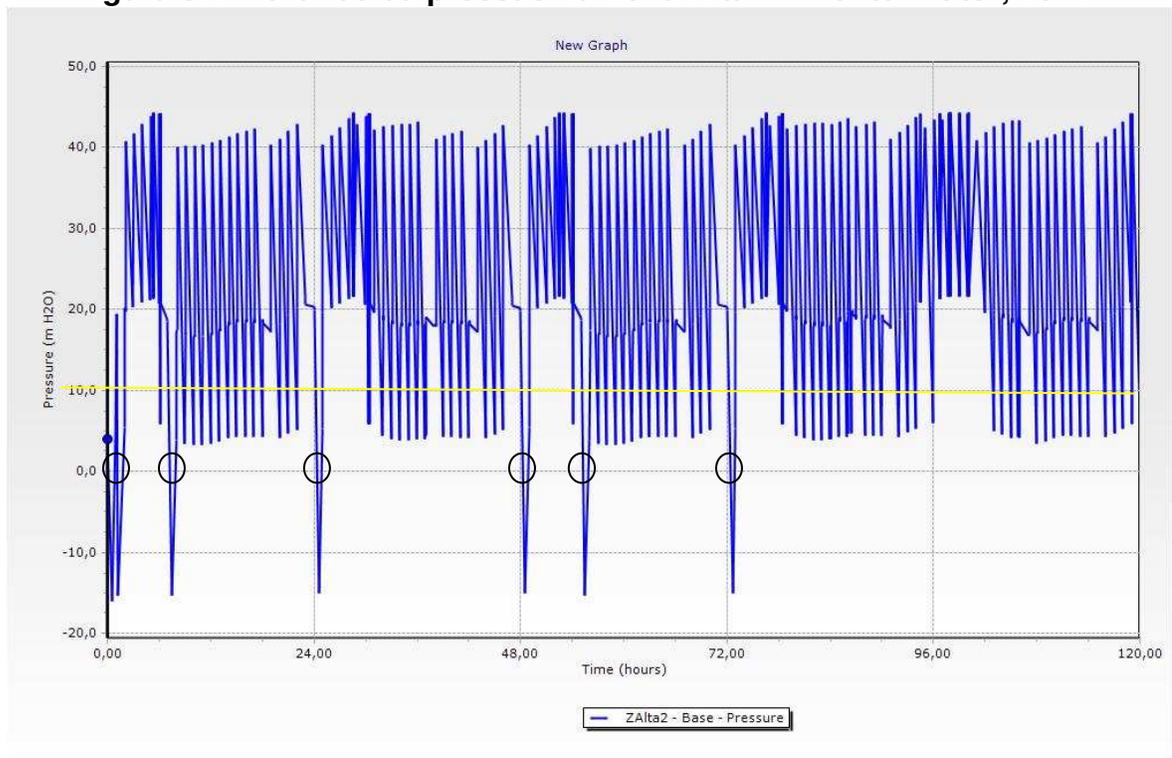


Figura 5.5 – Gráfico da pressão na Zona Alta 2 – Fonte: Autor, 2011.

Este trabalho apresentou uma proposta para resolver um problema de abastecimento de água numa determinada região de um município e que através da utilização de equipamentos de ultima geração possibilitou também uma melhor monitoração e controle desse sistema.

A proposta do trabalho foi implantar inteligência artificial a um sistema de distribuição de água para melhorar a distribuição de água nos reservatórios do município.

A Figura 5.6 ilustra uma tela com os níveis dos reservatórios após a implantação do sistema.

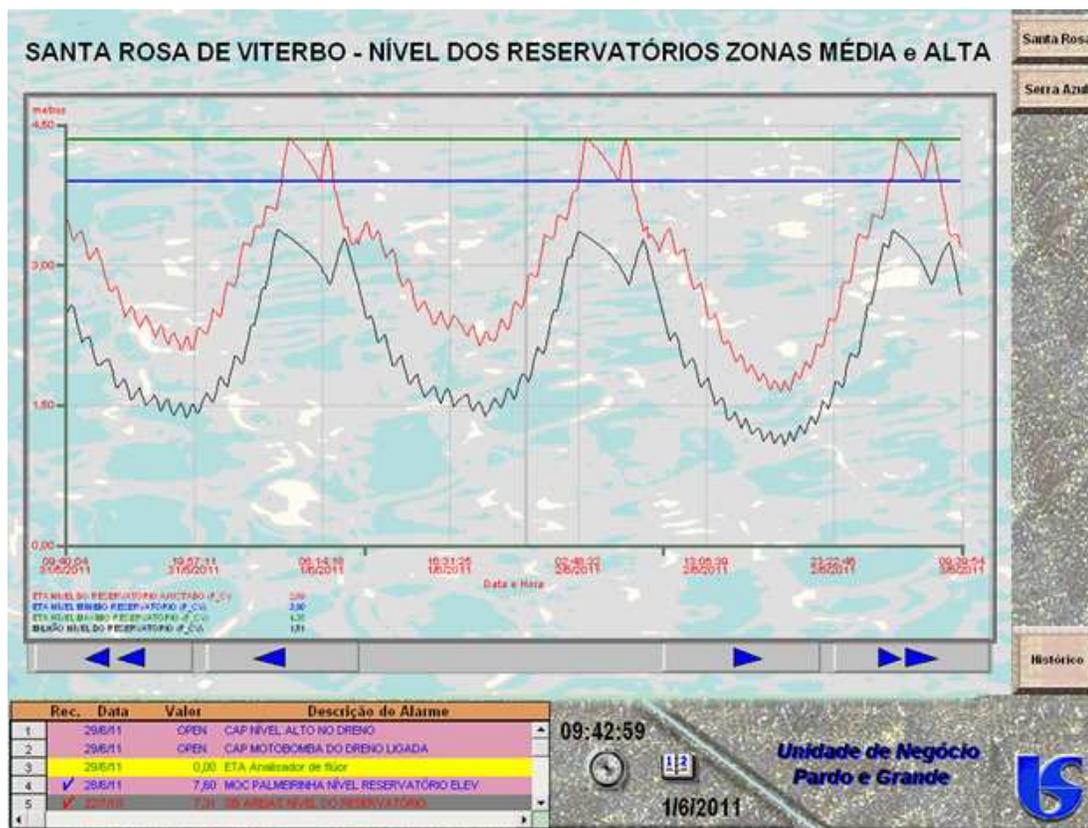


Figura 5.6 - Tela dos níveis dos reservatórios das Zonas Alta e Média (Município de Santa Rosa de Viterbo - S.P.) – Fonte: Sistema de supervisão e controle da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Superintendência de Franca, 2011.

Pode-se observar que após a implantação do sistema os níveis dos reservatórios estão sincronizados, sendo que o nível do reservatório da Zona Média (cor preta) trabalha em função do nível do reservatório da Zona Alta (cor vermelha).

Após a implantação desse sistema, houve um melhor aproveitamento no volume dos reservatórios, pois estes vão enchendo de maneira proporcional.

Com base nos resultados obtidos o objetivo foi alcançado, pois o problema de falta de abastecimento em uma determinada região do município foi solucionado, assim faz-se necessário algumas considerações:

- A implementação de automação em sistemas de saneamento é uma alternativa que se mostra extremamente eficaz e vantajosa.
- A utilização de sensores do tipo hidrostático foi uma opção que possibilitou uma maior estabilidade no sistema, com relação a temperatura se comparados a sensores do tipo ultra-sônicos.
- A utilização de rádios com a tecnologia “spread spectrum” trouxe também maior confiabilidade no sistema de comunicação, pois permitiu a troca de informações entre as estações remotas com extrema eficácia, pois sistemas que utilizam Linhas Privativas se tornam vulneráveis quando ocorrem longos períodos de chuvas.
- O protocolo MODBUS empregado neste sistema mostrou-se bastante confiável nos diversos dispositivos em que foi utilizado, e que, apesar de ser considerado um protocolo antigo, que já sofreu inúmeras atualizações, comprova sua grande aceitação e aplicação no mercado de automação.

- A conectividade entre Controladores Lógico Programáveis (CLPs) de diferentes fabricantes se torna imprescindível, pois em sistemas automatizados é comum existirem máquinas que possuem CLPs de fabricantes diferentes e que necessitam por algum motivo serem interligados.

O uso de sistemas supervisórios é uma tendência no processo de automação das companhias de saneamento. Essa tendência se manifesta na busca pela melhor qualidade dos serviços prestados, tais como:

- Melhoria nos parâmetros de qualidade da água;
- Monitoramento em tempo real de todas as variáveis do sistema;
- Maior precisão no controle das variáveis do processo;
- Redução no consumo de produtos químicos;
- Maior rapidez na detecção de falhas no sistema;
- Diminuição no índice de perdas e;
- Diminuição no consumo de energia elétrica.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O resultado da simulação da operação do sistema de abastecimento de água antigo utilizando o software WaterCAD se mostrou eficaz, pois se constatou exatamente o problema existente. Para que a simulação ocorresse com precisão, foi necessário obter dados e informações confiáveis, uma tarefa árdua nesta fase.
- Quando se utiliza Controladores Lógico Programáveis (CLPs) para o controle de processos, é possível elaborar sistemas inteligentes. Para isso é necessária uma correta avaliação do processo e um algoritmo adequado para que o controle correto possa ser obtido.
- Pode-se empregar CLPs “simples” de baixo custo, obtendo-se um custo total de implantação relativamente baixo, pelo fato da velocidade de processamento necessária para o controle do sistema como um todo ser baixa (aspecto comum na automação de sistemas de saneamento) quando comparada a outros tipos de processo, como por exemplo, o controle de uma caldeira.
- A implantação do software SCADA, permitiu a interatividade com os CLPs. A implantação destes softwares se mostra cada vez mais essencial para uma ótima solução em automatização.

7 RECOMENDAÇÕES

Para novos trabalhos, pode-se destacar:

1. Para implementação

- Automatização de todo o sistema deste município, ou seja, um sistema todo integrado entre a Captação, a Estação de Tratamento de Água e os Reservatórios.
- Monitoramento e Controle de todas as variáveis existentes, possibilitando, por exemplo: através de medidores de vazão detectar vazamentos em uma determinada zona de pressão rapidamente, diminuindo assim o índice de perdas.

2. Com relação à estruturação

- Integração a um sistema de controle central para uma melhor gestão da produção.
- Utilização de software para “digitalizar” o processo e assim padronizar a operação, eliminando e automatizando os passos da produção, facilitando em tomadas de decisões.

- Disponibilizar as informações em telas de formato de paginas de internet para que um maior número de usuários e em diferentes níveis de gestão tenha acesso ao sistema.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, L. A. (2007). Enciclopédia de automática: controle e automação, volume I. São Paulo. Editora Blucher, p. 35-41.

ALBUQUERQUE, P. U. B. e ALEXANDRIA, A. R. (2007). Redes Industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. Fortaleza. Edições Livro Técnico, p. 56-59.

ANATEL – Lista de antenas homologadas.

Apostila do curso 154A – Fundamentos do iFIX - GE FANUC – Manual do fabricante.

Automation Controlers Tutorial. Disponível em: <http://theplctutor.com/history.html>. - Acesso em 15/04/2011.

Controlador Programável – Klockner Moeller - Manual do Fabricante.

CORETTI, J. A. (1998). Manual de Treinamento Básico de Controlador Programável. Sertãozinho, Centro de Treinamento SMAR.

FAUSTINO, M. R. (2005). Norma IEC 61131-1: aspectos históricos, técnicos e um exemplo de aplicação. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FONSECA, F. R. (2009). Modelo para automação de sistemas de abastecimento hídrico. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo.

GEORGINI, J. M. (1999). Elementos para implementação de sistemas automatizados de produção. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica. Unicamp, Campinas.

GOMES, M. F. P.(2002), Canal SCADA na WEB. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – Porto – Portugal.

Hardware and Engeneerig – Klockner Moeller –Manual do Fabricante.

HAYES, T. (2003), Planning and Implementing a Wireless SCADA System, Technical Information Bulletin, Edison Automation Inc. Nashville TN.

KISSEL, T. E. (1986). Understanding and using programmable controllers. Englewood Chiffs. Prentice Hall, p. 1-7, 43-48.

MELORE, P. (2001). Your Personal PLC Tutor Site. Disponível em: <http://www.plcs.net/>. - Acesso em 10/02/2011.

MENDES, M.J. Redes Industriais de Chão-de-fábrica. Campinas, 1991. Apostila.

MIYAGI, P. E. (1996). Controle programável: Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. São Paulo. Editora Edgard Blucher, p. 173,174.

MODICON Inc.(1996). Modicon ModBus Protocol Reference Guide. Rev. J.

MORAES, C. C. e CASTRUCCI, P. L. (2007) Engenharia de automação industrial. Rio de Janeiro. Editora LTC, p. 117-120,127,143.

MT6050i_DataSheet_Eng_101028 – Disponível em: www.eintek.com. Acesso em 08/06/11.

NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM (2004) Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems - Technical Information Bulletin 04-1.

PUPO, M. S. (2002). Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

ROSÁRIO, J. M. (2005). Princípios de Mecatrônica, São Paulo, Editora Prentice Hall, p. 285,296,319.

ROSÁRIO, J. M. (2009). Automação Industrial, São Paulo, Editora Baraúna, p. 55,56.

SABESP (2011). Estudo de Custos de Empreendimentos. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, p. 22, 27.

SILVEIRA, P. R. (1998). Automação e controle discreto. São Paulo. Editora Érica, p. 87.

SOUSA, L. B. (2005). Redes: transmissão de dados, voz e imagem. São Paulo. Editora Érica, p. 261.

SIMPSON, C. D. (1994). Programmable Logic Controllers. NJ. Regents/Prentice Hall, p. 2-4.

SOARES NETO, V. (1999). Comunicação de dados: conceitos fundamentais. São Paulo. Editora Érica, p. 164-167.

Spread Spectrum Data Transceiver – MDS TransNet 900 MDS TransNET 2400 – Microwave Data Systems Inc. Rev. D August 2006. Manual do Fabricante.

TORRES, G. (2001). Redes de Computadores Curso Completo. Rio de Janeiro. Editora Axcel Books do Brasil, p. 65.

TSM – Instruções de instalação – Antena Omnidirecional - (900-930) MHz – Modelo: OM91505

TSM – Instruções de instalação – Antena Yagi - (890-960) MHz – Modelo: Y92511-07SG

TSUTIYA, M. T. (2004). Abastecimento de água. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 605-607.

WARNOCK, I. G. (1997). Programmable Controlers – Operation and Application. Prentice Hall Europe, p. 1-3.