

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

JULIANO CEZAR ZAMPIERI

**PROPOSTA DE SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAÇÃO VIA
RÁDIO PARA ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE EFLUENTES**

MONOGRAFIA – ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2012

JULIANO CEZAR ZAMPIERI

**PROPOSTA DE SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAÇÃO VIA
RÁDIO PARA ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE EFLUENTES**

Monografia apresentada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná como parte dos requisitos necessários para obtenção de grau de Especialista em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade divina da vida.

Aos meus pais.

A minha esposa Andressa e à minha filha Helena.

Agradeço também ao Professor Valmir e a todos os Mestres da UTFPR pelo conhecimento transferido.

O telégrafo sem fio não é difícil de entender.
O telégrafo comum é como um gato muito comprido.
Você puxa o rabo dele em Nova York e ele mia em Los Angeles.
O telégrafo sem fio é a mesma coisa, só que sem o gato.
Albert Einstein (1879-1955)

Reformemos as nossas escolas, e não teremos que reformar grande coisa nas
nossas prisões
John Ruskin (1819-1900)

RESUMO

ZAMPIERI, Juliano Cezar. **Proposta de sistema de controle e monitoração via rádio para estações de bombeamento de efluentes.** 2012. 70 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

As crescentes preocupações com a eficiência no tratamento de efluentes somada com as exigências da legislação ambiental tornam necessária uma operação confiável das plantas de tratamento e de bombeamento de efluentes, também chamadas de elevatórias de esgoto. Este trabalho apresenta uma proposta para telemetria e controle de estações de bombeamento de efluentes, as quais são operadas normalmente por empresas de saneamento municipais ou estaduais. A pesquisa é do tipo tecnológica e aborda as opções de monitoração e controle hoje disponíveis, apontando as vantagens e desvantagens de cada sistema segundo o ponto de vista técnico e a visão geral do mercado. O objetivo é apontar um sistema de controle e monitoração utilizando rádios para comunicação de dados, tecnicamente simples, de custo viável e que atenda às expectativas mais comuns das empresas de saneamento.

Palavras-chave: Telemetria em coleta de esgoto. Telemetria via rádio. Monitoração de estações elevatórias. Controle e monitoração.

ABSTRACT

ZAMPIERI, Juliano Cezar. **Proposal for a control and monitoring system by radio for wastewater pumping stations**. 2012. 70 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

The growing concerns about the efficiency of wastewater treatment and the environment law requirements make necessary a reliable operation of the wastewater treatment plants and pumping stations, also known as lift stations. This research work presents a proposal of a control and monitoring system by radio for wastewater pumping stations, which normally operated by municipal or state water and wastewater utilities companies. It is a technological research, which goes into current available control and monitoring options, pointing out advantages and disadvantages for each system, in a technical view and general market perception. The goal is to point out a control and monitoring system based on radio data communication, technically simple, cost-effective in order to meet the most common expectations of water and wastewater treatment companies.

Keywords: Telemetry in wastewater collection. Radio telemetry. Lift stations monitoring. Control and monitoring.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema de controle.....	16
Figura 2.2 – Aplicação genérica do Controlador Lógico Programável.....	17
Figura 2.3 – CLP com módulos de entradas/saídas e comunicação.....	19
Figura 2.4 – Comunicação ModBus.....	22
Figura 2.5 – <i>Frame</i> do ModBus Ethernet.....	22
Figura 2.6 – Rede DeviceNet.....	23
Figura 2.7 – Rede Profibus.....	24
Figura 2.8 – Barramento Foundation Fieldbus.....	24
Figura 2.9 – Arquitetura da rede GSM.....	30
Figura 2.10 – Arquitetura da rede GSM + GPRS.....	31
Figura 2.11 – Configuração de rádio <i>modems</i>	33
Figura 2.12 – Rádio <i>modem</i>	33
Figura 2.13 – Esquema de comunicação via rádio para telemetria.....	36
Figura 2.14 – Tela de sistema supervisorio.....	37
Figura 2.15 – Sistema de coleta e tratamento de esgoto.....	39
Figura 3.1 – Casa de bomba de estação elevatória de esgoto – esquema de poço seco.....	41
Figura 3.2 – Quadro para proteção e acionamento de duas bombas.....	42
Figura 3.3 – Quadro para controle e monitoração de quatro bombas com controlador dedicado.....	43
Figura 3.4 – Sensor de nível hidrostático.....	44
Figura 3.5 – Antena GPRS de estação elevatória.....	45
Figura 3.6 – Controlador de bombas ABS PC 242 em caixa de simulação de sinais.....	59
Figura 3.7 – Parametrização do controlador.....	60
Figura 3.8 – Documentação de endereços de memória do controlador.....	61
Figura 3.9 – Configuração para comunicação com protocolo Modbus.....	62
Figura 3.10 – Associação de <i>tag</i> com endereço de memória do controlador.....	62
Figura 3.11 – Associação de <i>tag</i> com indicação de valor de nível de líquido.....	63
Figura 3.12 – Tela de funcionamento da estação.....	64
Figura 3.13 – Tela de alarmes.....	65
Figura 3.14 – Tela de gráfico de nível.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comparativo de características de controlador dedicado e CLP.	53
Tabela 3.2 – Comparativo de valores de controlador dedicado e CLP.....	54
Tabela 3.3 – Comparativo de valores de rádios.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone Service</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CSD	<i>Circuit Switched Data</i>
DP	<i>Decentralized Peripherals</i>
E/S	Entradas e Saídas
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HSE	<i>High-Speed Ethernet</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I/O	<i>Inputs and Outputs</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Telephone</i>
NSS	<i>Network and Switching Subsystem</i>
OMS	<i>Operation and Maintenance System</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
CLP	<i>Programmable Logic Controller</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RH	<i>Relative Humidity</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCORE	<i>Signal Communications by Orbiting Relay Equipment</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VLF	<i>Very Low Frequency</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA	10
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	11
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	11
1.4	OBJETIVOS	13
1.4.1	Objetivo geral	13
1.4.2	Objetivos específicos.....	13
1.5	JUSTIFICATIVA	13
1.6	METODOLOGIA DE PESQUISA	14
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO	14
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	SISTEMAS DE CONTROLE	16
2.2	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	17
2.3	REDES INDUSTRIAIS E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	20
2.3.1	ModBus	21
2.3.2	DeviceNet.....	23
2.3.3	Profibus DP	23
2.3.4	Foundation FieldBus.....	24
2.4	MEIOS DE TRANSMISSÃO.....	25
2.5	MEIOS DE TRANSMISSÃO SEM FIO	25
2.5.1	Comunicação GPRS	28
2.5.2	Comunicação via rádio	32
2.6	TELEMETRIA.....	34
2.7	SISTEMA SUPERVISÓRIO	36
2.8	SISTEMA PÚBLICO DE ESGOTO.....	38
2.9	TRABALHOS RELACIONADOS JÁ REALIZADOS	39
3	DESENVOLVIMENTO	41
3.1	SISTEMAS DE CONTROLE E MONITORAÇÃO ATUAIS	41
3.1.1	Os sistemas no Brasil.....	45
3.1.2	Os sistemas em países desenvolvidos.....	46
3.2	PROPOSTA DO SISTEMA	47
3.2.1	Benefícios.....	48
3.2.2	Especificação dos equipamentos, <i>softwares</i> e demais componentes	49
3.2.3	Limitações	51
3.3	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO.....	52
3.3.1	Exemplo de montagem.....	57
4	CONCLUSÕES	67
4.1	OPORTUNIDADE PARA TRABALHOS FUTUROS.....	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O saneamento é feito com objetivo de garantia da saúde, da segurança e do bem-estar da população, evitando as ameaças decorrentes da presença de contaminantes, detritos, resíduos, patógenos ou substâncias tóxicas em geral (IBGE, 2011). Para que o saneamento cumpra sua função é necessário considerar a qualidade de todos os processos envolvidos nos serviços oferecidos à população. Em 2008, quase a totalidade dos municípios brasileiros (99,4%) dispunham de um serviço de fornecimento de água tratada em pelo menos um distrito. Entretanto, quando se olha os dados referentes à qualidade e eficiência do serviço de coleta e tratamento de esgoto, conclui-se que ainda há muito a fazer. No mesmo ano de 2008, apenas 55,1% dos municípios brasileiros se beneficiavam do serviço de coleta de esgoto, número que é mais alarmante na região Norte: apenas 13,1% dos municípios com coleta (IBGE, 2011).

Para que o esgoto doméstico seja adequadamente coletado e tratado, são necessárias estações de bombeamento entre os consumidores e as estações onde o efluente é tratado, uma vez que as estações de tratamento não recebem todo o líquido por gravidade (ABNT, 1992). Uma estação de bombeamento de esgoto, ou uma estação elevatória de esgoto (EEE), consiste em uma instalação que se destina ao transporte do esgoto do nível do poço onde são instaladas as bombas ao nível de descarga na saída, acompanhando as variações da vazão afluyente (ABNT, 1992).

Em cada estação elevatória é instalado um ou mais painéis de controle das bombas. Estes painéis deverão possuir todos os componentes necessários ao acionamento e operação das bombas e demais dispositivos de controle da estação. Em alguns casos, também inclui um sistema de telemetria para monitoração remota.

Neste contexto, o presente trabalho aborda os temas referentes a estes sistemas de telemetria oferecidos hoje ao mercado, apontando para soluções simples e efetivas do ponto de vista técnico e econômico.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Várias são as possibilidades de sistemas de monitoração remota. A transmissão de dados pode ser feita tanto através de cabos quanto via rádio ou rede celular. A apresentação das informações pode ser feita simplesmente por meio de lâmpadas indicativas de alarme quanto por meio de um sistema supervisório completo.

Este trabalho se refere a um sistema de controle e monitoração baseado na transmissão de informações via rádio comunicação e um sistema de supervisão baseado em *software* instalado em computador pessoal para apresentação dos dados. Todos os equipamentos e *softwares* apontados são encontrados no mercado.

As estações elevatórias de esgoto as quais podem receber o sistema de monitoração via rádio situam-se a distâncias de até 60 km, quando utilizadas antenas adequadas e condições geográficas favoráveis (sem obstáculos como montanhas ou prédios). Esta distância é comumente indicada pelos fabricantes de rádios pesquisados. Quando em condições menos favoráveis, estudos mais aprofundados e outras técnicas associadas devem ser considerados e não fazem parte da presente pesquisa.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Devido à quantidade e tamanho da maioria das estações, a operação das mesmas não é assistida, o que as tornam suscetíveis a paradas prolongadas em caso de falha nas bombas, falha nos componentes internos do painel de acionamento, falha na rede de alimentação, vandalismo, entre outros motivos. Uma falha pode causar a parada total das bombas da estação e o extravaso do esgoto para a via pública, para rios próximos ou residências adjacentes, gerando grave problema ambiental. Tais acontecimentos não são desejáveis e procuram-se meios para que possam ser evitados.

Desta forma é bastante interessante uma monitoração remota, feito a partir da unidade central da empresa operadora da estação, o qual permite rápida ação em caso de paradas. E isto pode ser feito mediante um sistema de telemetria e supervisão, que permitem que informações de um processo sejam coletadas por

meio de equipamentos de aquisição de dados, transmitidas, manipuladas, analisadas e posteriormente apresentadas ao usuário (SILVA e SALVADOR, 2012).

Sistemas de telemetria são utilizados nas mais diversas aplicações, seja na indústria, comércio, setor de segurança ou até na monitoração de animais. Cada aplicação possui certas exigências, as quais podem ser questões relacionadas à segurança na transmissão da informação, velocidade e custo. Além do mais, questões regionais e mercadológicas também ditarão a tecnologia a ser empregada em cada setor.

Em sistemas de telemetria para estações elevatórias de esgoto a transmissão dos dados deve ser, devido à localidade geográfica em relação à unidade central, via um meio eletromagnético, já que cabos nesta situação se tornariam inviáveis. Uma das tecnologias é a *General Packet Radio Service* (GPRS), utilizando a rede de telefonia celular. Esta tecnologia possui vantagens e desvantagens, as quais tornam possível a utilização da mesma em mercados e locais distintos.

A tecnologia GPRS vem sendo empregada na monitoração de frota de automóveis e caminhões, pois se beneficia da principal característica: a mobilidade. Esta mesma tecnologia pode, e é em alguns mercados, ser utilizada também para monitoração de estações elevatórias em pacotes de serviço que incluem já o sistema de supervisão. Neste caso existe a desvantagem de exigir da empresa operadora da estação o pagamento periódico pelo serviço de transmissão de dados e supervisão, já que as informações trafegarão e serão tratadas pela rede e sistema mantidos por terceiros. Esta exigência, ainda que relativamente pequena em termos de valores, não é bem vista pelo mercado. Outro possível empecilho é a questão segurança das informações, já que estas são enviadas a servidores de dados fora da unidade do operador, que pode ser visto como não compatível com regras internas. Por fim, não existe a total garantia de transmissão dos dados que as aplicações exigem, pois as operadoras sempre priorizarão a transmissão de voz e não de dados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Propor um sistema de controle e telemetria simples e de custo efetivo baseado em rádio transmissor para estações elevatórias de esgoto.

1.4.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos para a proposta em questão, são apresentados:

- a) Identificar as necessidades do mercado em relação ao controle e monitoração de estações elevatórias de esgoto;
- b) Levantar as opções disponíveis em termos de tecnologia e prestação de serviço a níveis mundiais;
- c) Verificar a aceitação do mercado em relação às opções disponíveis;
- d) Especificar os equipamentos, *softwares* e demais componentes necessários à solução a ser proposta.

1.5 JUSTIFICATIVA

A utilização da tecnologia GPRS nem sempre é bem vista pelo mercado. Não pela tecnologia em si, mas pela forma em que ela é obrigatoriamente empregada e cobrada, além de não ser prioridade para as operadoras quando a rede está operando com muitas chamadas de voz.

Um sistema baseado em tecnologia em que os dados são transmitidos diretamente da estação elevatória até a unidade onde se encontra o operador é uma boa opção para contornar esta questão. O sistema se beneficia da faixa livre de frequência de 900 MHz a qual são empregados os rádios comerciais para transmissão de dados disponíveis no mercado.

O sistema supervisorio pode ser desenvolvido especificamente para cada estação, de forma a não haver envio de informações a terceiros e também a não cobrança por qualquer serviço de transmissão ou monitoração de dados.

1.6 METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho visa à proposta de um sistema de controle e telemetria que atenda aos requisitos de mercado. Portanto, uma pesquisa de campo preliminar se torna necessário, sendo esta a técnica utilizada. Por questões de facilidade, o universo de pesquisa será concentrado, mas não se limitando, aos mercados da região Sul e Sudeste do Brasil.

Este trabalho possui objetivos os quais podem ser utilizados futuramente em aplicações práticas. Desta forma a pesquisa está basicamente concentrada em percepções do mercado, normas, manuais e informações de fabricantes de equipamentos e trabalhos anteriormente apresentados e que possuem relação com o trabalho proposto.

1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Os sistemas de automação utilizam tecnologias de comunicação para automatizar o controle e monitoração dos processos, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, como o caso de estações elevatórias, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados (SILVA e SALVADOR, 2012).

Para que isso seja possível, o sistema o qual faz a aquisição dos dados deverá disponibilizar ao sistema de transmissão as informações pertinentes ao processo (nível de líquido, falhas, alarmes, estado de bombas, por exemplo). O sistema de transmissão deverá passar os dados ao sistema supervisorio de maneira transparente, ou seja, como se o sistema supervisorio estivesse diretamente conectado ao equipamento de aquisição de dados, que pode ser um Controlador Lógico Programável (CLP) ou outro controlador dedicado ao processo de coleta de esgoto. Logo, serão tratados os sistemas supervisorios baseados, sobretudo, em sistemas de transmissão de dados transparentes via GPRS e rádio na frequência de 900 MHz.

Após o recebimento das informações transmitidas pela estação, o sistema supervisorio se encarrega de tratá-las e apresentá-las ao operador. Eventualmente

este também poderá enviar informações à elevatória, como desligar uma bomba ou alterar algum parâmetro de processo.

A transmissão dos dados deverá ser feita por meio de protocolo comum entre o equipamento de aquisição de dados e o sistema de supervisão.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será composto de cinco capítulos dispostos conforme a seguir:

Capítulo 1: parte introdutória que trata do tema, objetivos e justificativas

Capítulo 2: trata da fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho, abordando os tipos de controle e comunicação existentes e comumente utilizados para os fins de telemetria

Capítulo 3: desenvolvimento do trabalho, com a pesquisa de mercado e a proposta do sistema

Capítulo 4: conclusões do trabalho proposto

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as tecnologias disponíveis no mercado para sistemas de controle e monitoração em estações elevatórias e as vantagens e desvantagens de cada uma para a aplicação em questão.

2.1 SISTEMAS DE CONTROLE

Um Sistema de Controle, independente do seu refinamento tecnológico e aplicação, pode ser dividido em duas partes interdependentes, mostradas na figura 2.1 (GEORGINI, 2000):

- Sistema Controlado – sistema que executa a operação física
- Equipamento de Controle – equipamento que recebe informações provenientes do operador, do processo a ser controlado e outros, e emite ordens ao Sistema Controlado.

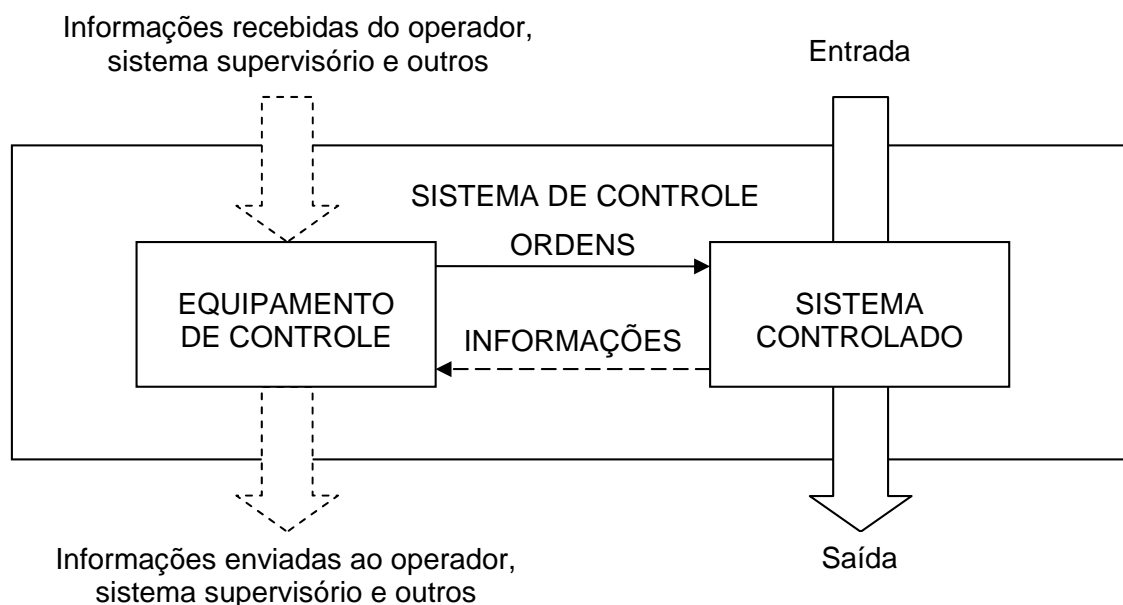


Figura 2.1 – Sistema de controle.
Fonte: GEORGINI, 2000

A estrutura mostrada na figura 2.1 pode não ser totalmente aplicada a determinado sistema. Os itens em linha pontilhada podem não ser necessários e simplesmente não existirem.

A descrição de um Sistema Automatizado pode ser feita em três níveis distintos, de acordo com as definições anteriores (GEORGINI, 2000):

- Sistema de Controle – descrição genérica do sistema como um todo.
- Equipamento de Controle – descrição detalhada, apresentando as informações de entrada e os comandos de saída relativos ao Equipamento de Controle.
- Sistema Controlado – descrição detalhada do processo controlado, apresentando detalhes relacionados à execução do controle.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Um Controlador Lógico Programável, ou simplesmente CLP (*Programmable Logic Controller*), segundo Georgini (2000, p. 30), é definido como “um dispositivo em estado sólido – um Computador industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização e contagem, por exemplo), além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de Sistemas Automatizados”. A figura 2.2 mostra uma aplicação genérica do CLP.

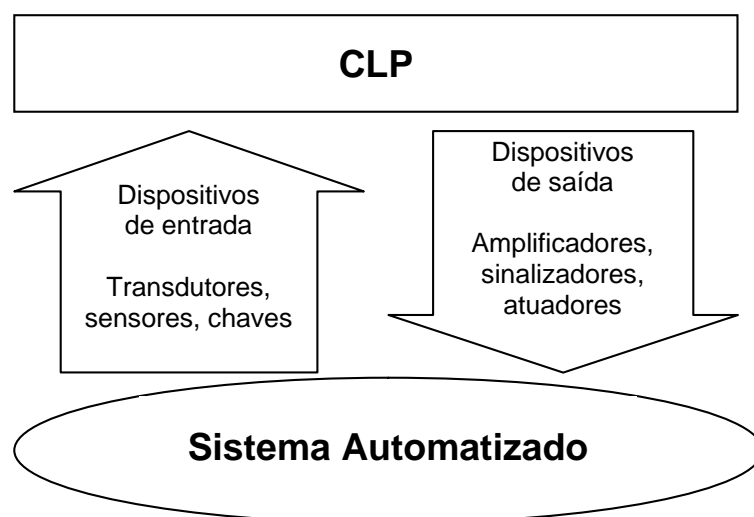


Figura 2.2 – Aplicação genérica do Controlador Lógico Programável.
Fonte: GEORGINI, 2000

Na década de 60, o aumento da competitividade na indústria automobilística faz com que esta indústria procurasse melhorar a produtividade e a qualidade das linhas de produção. Era, então, necessário encontrar uma maneira de substituir os sistemas convencionais baseados em lógicas com relés (GEORGINI, 2000).

A General Motor, então, imaginou um sistema baseado em computador. Determinou os critérios principais para o projeto do CLP em 1968, sendo que o primeiro equipamento a atender às especificações foi a Gould Modicon, em 1969 (GEORGINI, 2000):

- Preço competitivo em relação aos sistemas baseados em relés;
- Dispositivos de entradas e saídas de fácil substituição;
- Robustez de funcionamento em ambiente industrial;
- Facilidade de programação e manutenção;
- Repetibilidade de operação e uso.

Inicialmente estes equipamentos foram utilizados somente para controle discreto, da mesma forma como os relés, com diversas vantagens (economia de espaço, energia, entre outras). Além do mais, uma eventual mudança da lógica era rapidamente realizada sem a necessidade de alterações na parte elétrica do sistema (GEORGINI, 2000).

Na década de 70 houve grandes evoluções dos CLPs, que se aproveitaram das inovações tecnológicas dos microprocessadores, incorporando funções de temporização e contagem, operações aritméticas, comunicação com outros dispositivos, maior capacidade de memória, entre outros. Nos anos 80 e próximas décadas, novas evoluções os tornaram um dos equipamentos mais atraentes da automação industrial (GEORGINI, 2000) e modificou a forma de se implementar sistemas de automação, tornando-os mais flexíveis, de implementação mais rápida e menos custosa, graças a sua modularidade e programabilidade (AGUIRRE, 2007).

Um CLP típico é composto por:

- Uma Unidade Central de Processamento - CPU: que basicamente

executa os programas de cada aplicação, além de tarefas internas intrínsecas;

- Memórias: são as memórias associadas ao funcionamento básico do CLP, a memória de programa, que armazena os programas associados ao controle que se deseja implementar, e a memória de dados, que armazena os estados das entradas e saídas a cada instante, e outras informações, como variáveis e constantes associadas ao programa;
- Fontes de alimentação: além da alimentação requerida pela CPU, tem-se que utilizar fontes externas dimensionadas para alimentar os diversos módulos de entrada e saída I/O utilizados (AGUIRRE, 2007).

Para a programação do equipamento, é utilizado um Terminal de Programação. Além desta tarefa, também é útil na fase de depuração e ajustes, como alterações com o sistema em operação (*on line*), observar (e também impor valores) o estado das entradas, saídas e variáveis internas, e a realização de diagnósticos. Normalmente o Terminal de Programação é um computador pessoal, portátil ou não (AGUIRRE, 2007).



Figura 2.3 – CLP com módulos de entradas/saídas e comunicação.
Fonte: Schneider Electric.

2.3 REDES INDUSTRIAIS E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Uma rede faz a comunicação entre um determinado número de estações de forma que possam trocar informações entre si.

A rede industrial, entre outras coisas, transmite informação para o controle de um processo. Uma rede é distinguida pelo tipo de sistema que compõe o *backbone*. Suas características podem ser determinadas em função do gerenciamento do fluxo de informação dentro do sistema (LOPEZ, 2000).

Existem dois modelos distintos para troca de informação:

MODELO CLIENTE – SERVIDOR: dentro do protocolo de comunicação de cada estação e incluído um conjunto de filas para receber e enviar dados. Quando uma estação quer, por exemplo, ler o valor registrado por um sensor de temperatura, ela envia uma mensagem para sua interface de comunicação ler esta variável, desencadeando a sequência:

- A mensagem de solicitação é mantida numa fila de saída e será lançada para a rede na próxima vez que a estação se comunicar;
- O dispositivo responsável pela leitura de temperatura recebe a solicitação, que será mantida numa fila de recepção;
- O dispositivo responsável pela leitura de temperatura mede (ou calcula) o valor solicitado e retorna este valor utilizando a mesma sequência.

Cada transmissão é completada com segurança antes de ser iniciada outra. O tempo de espera nas filas representa o principal fator no tempo de resposta do modelo. Uma estação com baixo desempenho refletirá no desempenho do sistema inteiro. Por isso, os sistemas CLIENTE – SERVIDOR são difíceis de configurar (LOPEZ, 2000).

MODELO PRODUTOR – CONSUMIDOR: usa um grupo de *buffers* no caminho de comunicação de cada estação:

- Cada *buffer* corresponde a uma variável de aplicação;

- Cada *buffer* é identificado especificamente dentro do grupo de aplicação por um rótulo lógico;
- Cada *buffer* mantém o valor instantâneo de uma variável da aplicação, esperando para ser enviado via rede ou ser usado pela aplicação.

O instante exato no qual cada *buffer* é lido ou gravado é determinado pela rede de acordo com as instruções especificadas na configuração. Um *buffer* é um bloco de memória com capacidade para até 128 *bytes*.

Este modelo é complementado por três processos, que são independentes e podem operar no modo cíclico ou dirigido por evento:

- O produtor: deposita o novo valor em um *buffer* de transmissão;
- A rede: copia o conteúdo do *buffer* de transmissão do produtor em um *buffer* de recepção do consumidor.

Sistemas deste tipo são mais fáceis de configurar, especialmente onde é requerida operação cíclica. A aplicação principal é no Nível de Controle e Supervisão. O modelo PRODUTOR – CONSUMIDOR é limitado no gerenciamento de eventos e transmissão de grandes quantidades de informação crítica (LOPEZ, 2000).

Um protocolo de comunicação consiste em um conjunto de regras preestabelecidas de conhecimento das partes a se comunicarem, que disciplinam a comunicação de dados entre dois ou mais equipamentos com a finalidade de garantir que o intercâmbio de informações esteja sendo realizado de modo ordenado e sem erros (SILVEIRA, 2002).

Na sequência têm-se alguns dos principais protocolos de comunicação industriais.

2.3.1 ModBus

Um dos primeiros protocolos a se difundirem no meio industrial. Desenvolvido pela Modicon, em pouco tempo foi largamente usado para

comunicação entre diferentes CLPs, tornando-se de domínio público, portanto, protocolo aberto.

A evolução do mesmo gerou três tipos básicos: ModBus ASCII, ModBus RTU e ModBus Ethernet. O ModBus ASCII é caracterizado pela comunicação pergunta/resposta e difusão em ASCII. No modo pergunta/resposta o mestre pergunta ao escravo (e somente a ele) um determinado dado e envia um comando. O escravo recebe este pedido, executa-o (ou não) e responde ao mestre (e somente a ele), confirmando a execução ou não do comando. O modo difusão é usado pelo mestre para difundir algum comando importante (como: desligar tudo) a todos os escravos com apenas uma transmissão (AGUIRRE, 2007). Na figura 2.4 mostra-se o *frame* utilizado no Modbus.

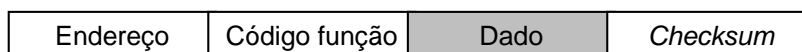


Figura 2.4 – Comunicação ModBus.
Fonte: AGUIRRE, 2007

O ModBus RTU é utilizado para comunicação entre o PC tipicamente de supervisão e o CLPs utilizados como terminais remotos.

O ModBus Ethernet utiliza o protocolo ASCII encapsulado num *frame* Ethernet como visto na figura 2.5 (AGUIRRE, 2007).

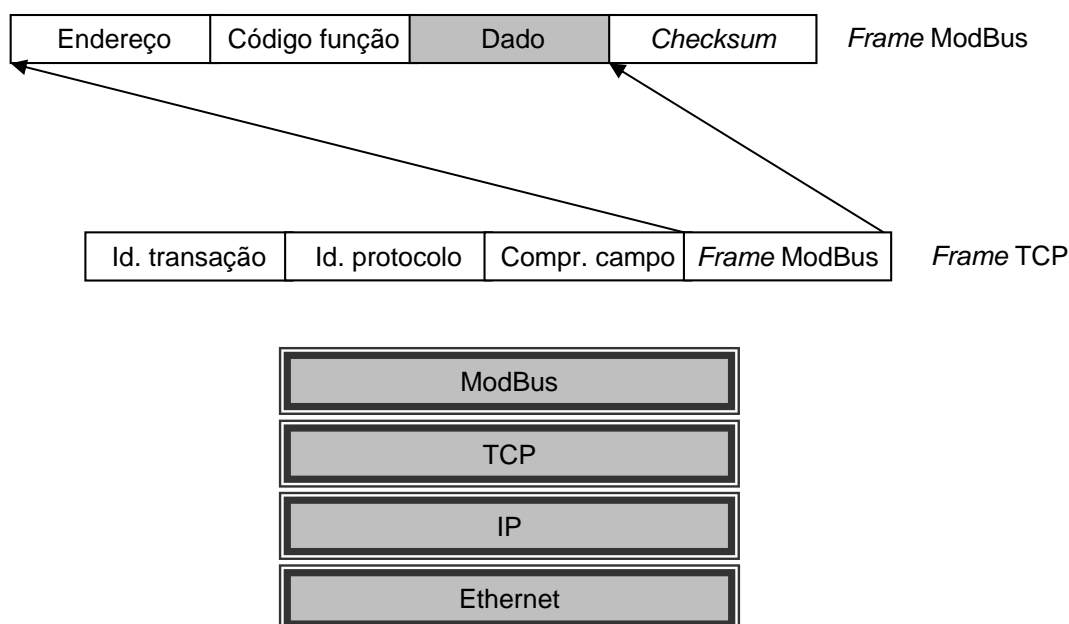


Figura 2.5 – Frame do ModBus Ethernet.
Fonte: AGUIRRE, 2007

2.3.2 DeviceNet

O DeviceNet foi desenvolvido pela Rockwell e especificado para a camada de enlace e parte da camada física, ambos padronizados pela *International Organization for Standardization* (ISO) como protocolo *Controller Area Network* (CAN). A figura 2.6 mostra a configuração de uma rede DeviceNet.

Como a camada de aplicação não foi especificada no CAN, diversos padrões como o DeviceNet usam o CAN, mas desenvolveram a camada de aplicação própria, tornando-os incompatíveis.

Sua comunicação foi especificada para trabalhar com mestre/escravo, produtor/consumidor, por evento e por *polling* (AGUIRRE, 2007).

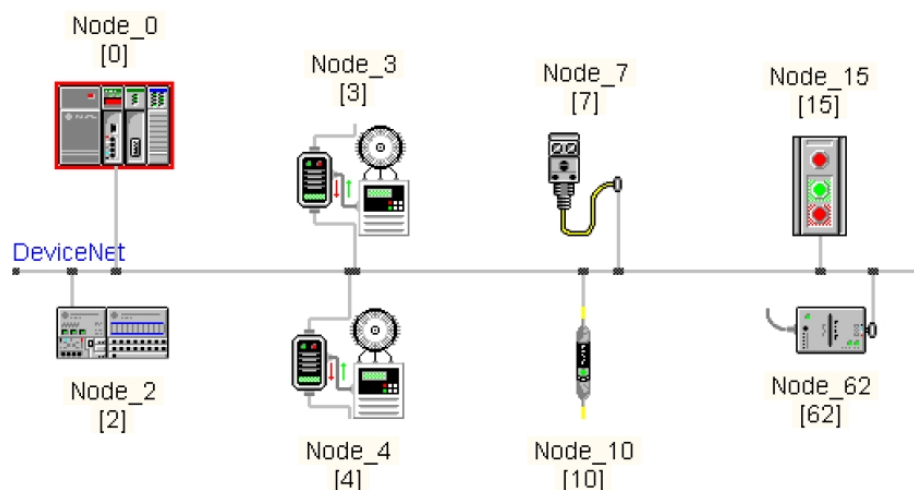


Figura 2.6 – Rede DeviceNet.
Fonte: Rockwell Automation

2.3.3 Profibus DP

O Profibus DP foi desenvolvido pela Siemens e destinou-se, inicialmente, para interligar CLPs.

Seus princípios básicos vistos na figura 2.7 são a comunicação mestre/escravo entre CLP e seus escravos e a comunicação por *token* entre os mestres (CLPs) no momento de delegarem o direito de mestre da rede (AGUIRRE, 2007).

Estimasse que no final de 2011 existissem mais de 6,8 milhões de dispositivos conectados em rede com este protocolo nas indústrias no mundo inteiro (Profibus web site, 2012).

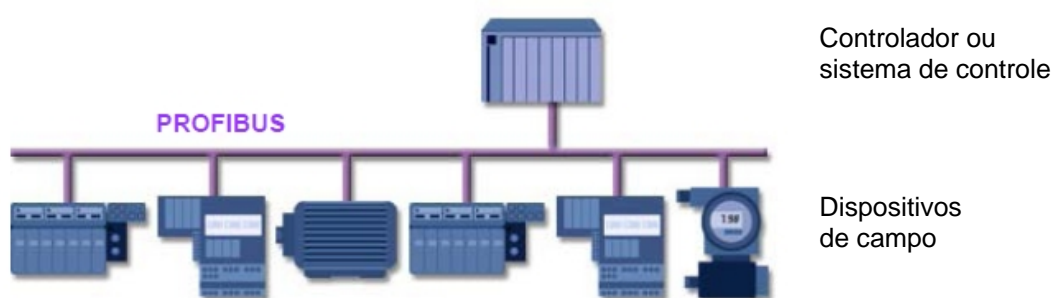


Figura 2.7 – Rede Profibus.
Fonte: Profibus web site

2.3.4 Foundation FieldBus

O Foundation Fieldbus foi desenvolvido por várias empresas que constituíram o Fieldbus Foundation. Originalmente os participantes deste desenvolvimento foram aqueles participantes da *International Electrotechnical Commission* (IEC) que buscavam um único padrão internacional totalmente distribuído. Sua comunicação baseia-se em produtor/consumidor, cliente/servidor. Atualmente existem duas especificações diferentes de barramento: o HSE para altas taxas de transmissão e o H1 para 31,25 kbps.

A figura 2.8 apresenta a arquitetura com as duas especificações atuais. Neste protocolo o controle é totalmente distribuído e foi voltado para o controle de processo. A grande particularidade é que para o controle ser distribuído, ele teve que ser implementado com estruturas de subprogramas padronizados para que pudessem ser executados em qualquer dispositivo, apesar de seu *hardware* diferenciado. Estas estruturas são conhecidas como blocos funcionais.

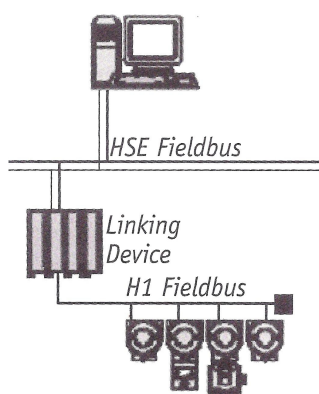


Figura 2.8 – Barramento Foundation Fieldbus.
Fonte: AGUIRRE, 2007

2.4 MEIOS DE TRANSMISSÃO

Meio de transmissão é o caminho físico pelo qual os sinais elétricos e as ondas eletromagnéticas se propagam. Atualmente os meios de transmissão mais usados na rede industrial são o cabo de pares trançados e o cabo de fibra ótica. Outros meios, tal como a tecnologia de transmissão sem fio, apresentam boas perspectivas de aplicação na indústria.

A capacidade de um meio de transmissão é normalmente denominada de banda passante. Banda passante é a faixa de frequência de ciclo, medida em Hertz (Hz) ou ciclos por segundo. As medições de banda passante são subjetivas, pois a capacidade do meio varia de acordo com as mudanças de distância e com as técnicas de sinalização utilizadas. A preocupação principal deve ser a quantidade de dados binários que pode ser transmitida com segurança na banda passante utilizável de um meio.

A atenuação é a redução na energia das ondas eletromagnéticas durante uma transmissão. À medida que uma onda se propaga por um meio, parte de sua energia é absorvida ou dispersada pelas propriedades físicas do meio.

A interferência eletromagnética (EMI) ocorre quando ondas eletromagnéticas indesejáveis afetam o sinal desejado (LOPEZ, 2000).

2.5 MEIOS DE TRANSMISSÃO SEM FIO

A tecnologia de transmissão sem fio (ou mídia sem cabo) ainda possui restrições para uso como meio de comunicação em rede de ambiente industrial, principalmente devido à baixa imunidade contra EMI. Mesmo assim, ela encontra aplicação em controle e supervisão de sistemas remotos e interligações de redes.

Os tipos de mídia sem cabo mais comuns são (LOPEZ, 2000):

- Ondas de rádio;
- Microondas;
- Luz infravermelha.

A história das comunicações via ondas eletromagnéticas tem cerca de 150 anos. Neste intervalo de tempo, tem sido intenso o desenvolvimento das rádio

comunicações. Alguns marcos desse desenvolvimento são (HAYKIN e MOHER, 2008):

- Em 1864, James Clerk Maxwell formulou a Teoria Eletromagnética da Luz, em que previu as ondas de rádio.
- A comprovação da existência física das ondas de rádio foi demonstrada pela primeira vez em 1887, por Heinrich Hertz.
- Em 1894, baseado nos trabalhos de Maxwell e Hertz, Oliver Lodge demonstrou as comunicações *wireless*, de apenas 150 m.
- Durante o período de 1895 a 1901, Guglielmo Marconi desenvolveu um aparato para transmitir ondas de rádio a longas distâncias, culminando na transmissão através do Oceano Atlântico no dia 12 de dezembro de 1901. Também neste período, um trabalho semelhante foi desenvolvido na Rússia.
- Em 1902, o primeiro enlace de rádio ponto a ponto foi estabelecido nos Estados Unidos. Este primeiro sistema de rádio era denominado de telegrafia *wireless*.
- Em 1906, Reginald Fessenden foi o primeiro na história a realizar uma transmissão em radiodifusão, transmitindo voz e música usando uma técnica que veio a ser conhecida como modulação em amplitude (AM).
- O uso militar e comercial das transmissões de rádio foram sendo adotados rapidamente. Frequentemente é creditado às comunicações *wireless* o salvamento de 700 pessoas durante o naufrágio do Titanic em 1912.
- Em 1921, o Departamento de Polícia de Detroit fez uso de comunicações *wireless* em um veículo operando um sistema de rádio cuja frequência portadora era próxima de 2 MHz.
- Trabalhos paralelos realizados em ambos os lados do Atlântico resultaram na primeira transmissão multidifusão de televisão em 1927.
- As técnicas de espalhamento espectral (*spread spectrum*) surgiram um pouco antes da Segunda Guerra Mundial e as pesquisas se intensificaram durante o período de guerra para fins estritamente militares.

- Em 1946 surgiram os primeiros sistemas públicos de telefonia móvel em cinco cidades americanas.
- Em 1947 foram implementados os primeiros enlaces de microondas constituídos de sete torres conectando Nova York e Boston. Suportava 2400 conversações simultâneas entre as duas cidades.
- Em 1958 foi lançado o satélite *Signal Communication by Orbital Relay Equipment* (SCORE). Era capaz de suportar apenas um canal de voz, mas impulsionou uma nova área nas comunicações via rádio.
- Em 1981, na Escandinávia, foi inaugurado o primeiro sistema de telefonia celular que ficou conhecido como *Nordic Mobile Telephone* (NMT). Dois anos depois entrou em operação o sistema americano *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS).
- Em 1988 foi implementado na Europa o primeiro sistema de telefonia celular digital, conhecido como *Global System for Mobile Communications* (GSM). Originalmente, a intenção era desenvolver um padrão europeu que substituísse a grande quantidade de sistemas analógicos incompatíveis em operação simultânea em diversos países. O padrão americano IS-54 foi lançado logo depois do padrão GSM.

Estes são apenas alguns dos desenvolvimentos realizados nas comunicações *wireless* nos últimos 150 anos. Hoje os dispositivos *wireless* estão em toda parte. É uma área em franco desenvolvimento nas redes públicas e tem se destacado nos sistemas de comunicação privados/dedicados. Estamos presenciando um momento histórico nas radiocomunicações (HAYKIN e MOHER, 2008).

Atualmente as redes em rádio frequência (RF) evoluíram a ponto de haver enlaces sem fio que suportam velocidades superiores a 10 Mbps. Os limites de distância funcionais das redes sem fio ultrapassam as dezenas de quilômetros e os protocolos de segurança são similares aos usados em redes cabeadas.

As redes sem fio modernas podem ter conexão com as redes cabeadas ou podem ser independentes de modo a formar uma rede inteiramente sem fio.

O espectro eletromagnético considerado como RF fica entre 10 kHz e 1 GHz e divide-se em três faixas:

- VLF;
- VHF;
- Parte da banda UHF (LOPEZ, 2000).

A maior faixa dessas frequências é regulada e os usuários devem obter licença da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), que é o órgão regulador. As pequenas faixas reservadas para transmissão não licenciadas (não reguladas) possuem poucas restrições.

As ondas de rádio podem ser transmitidas em todas as direções, ou ajustadas com precisão para emissões direcionais de uma variedade de antenas transmissoras. A antena e o transmissor determinam a frequência e a potência do sinal RF. As estações transmissoras e receptoras usam uma faixa de frequência adequada para as necessidades do sistema (conforme regulamentação) (LOPEZ, 2000).

2.5.1 Comunicação GPRS

Com o avanço dos sistemas de comunicações e da telefonia móvel, uma das formas de viabilizar o aumento do número de usuários foi a divisão de determinadas áreas geográficas em “células”, que são agrupadas em *clusters*. Cada célula é servida pelo seu próprio conjunto de radiotransmissores e radiorreceptores. Assim, reduz-se a potência necessária nas interfaces de RF, permitindo a reutilização das faixas de frequência em *clusters* diferentes. Dessa forma, em locais com grande densidade de usuários, projeta-se um sistema celular com células menores e transmissores de menor potência, para que os canais de frequência possam ser reutilizados mais vezes, aumentando a capacidade de usuários do sistema. Cada célula possui um determinado número de canais designados de acordo com o espectro disponível, e as BTSs (*Base Transceiver Station* – Estações-Base Transceptoras) são projetadas para atingir apenas a área de cobertura da sua célula (PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009).

O padrão GSM para telefonia celular começou a ser desenvolvido na Europa, na década de 80. O então criado grupo Groupe Spéciale Mobile teve o objetivo de desenvolver um novo padrão que substituísse os diversos padrões usados até então. Embora tendo sido pensado inicialmente apenas para a Europa, o padrão demonstrou condições de se tornar um padrão global.

Lançado no mercado europeu em 1991, a sigla GSM foi alterada para *Global System for Mobile Communications*. Por razões econômicas, o processo de padronização para o GSM só poderia ocorrer com o lançamento de seus serviços e, portanto, foram criadas fases para o desenvolvimento, as *GSM Phase 1* e *GSM Phase 2*. Atualmente utilizam-se as nomenclaturas de 2,5G e 3G, correspondentes as recentes implementações do padrão GSM.

No Brasil, o padrão foi adotado no ano de 2002 (PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009 apud ALENCAR, 2004).

Uma rede de telefonia celular é composta por diversos elementos, interligados entre si através de canais de comunicação. Cada elemento possui uma função distinta, como enviar o sinal de RF até um telefone celular ou buscar numa base de dados se o usuário que solicitou uma chamada tem autorização para isto. Esses elementos são instalados de acordo com a região de cobertura e as necessidades da operadora de telefonia celular.

A arquitetura da Rede GSM pode ser subdividida em três subsistemas, os quais são chamados de *Base Station Subsystem* (BSS), *Network and Switching Subsystem* (NSS) e *Operation and Maintenance System* (OMS). O BSS é visto como o subsistema da estação radiobase (BTS), o NSS é o subsistema de gerenciamento e comutação da rede, enquanto o OMS é o subsistema de suporte e operação (PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009). A figura 2.9 representa a arquitetura da rede GSM.

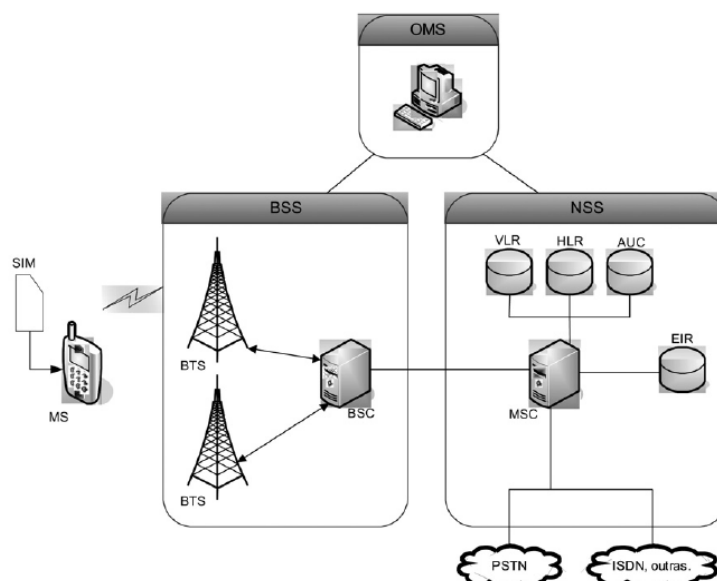


Figura 2.9 – Arquitetura da rede GSM.
Fonte: PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009

Mobile Station (MS) é o equipamento que se comunica na rede GSM, podendo ser, atualmente, um telefone celular ou também um equipamento qualquer que utilize a rede GSM para enviar ou receber informações.

Módulo de identidade do assinante: o módulo de identidade do assinante, *Subscriber Identity Module (SIM)*, fornece a identificação da MS para conexão na rede GSM.

Com a popularização da telefonia celular, novas possibilidades e necessidades começaram a surgir, como o uso da infra-estrutura já existente para o tráfego de dados. A rede GSM foi concebida, inicialmente, para o tráfego de voz, tendo o serviço CSD como uma alternativa para o tráfego de dados, mas se mostrando pouco interessante pela taxa de transmissão limitada e pela forma de tarifação, pois utiliza o modelo de comutação por circuitos. Estão sendo implantados outros serviços utilizando a arquitetura básica da rede GSM. Atualmente encontram-se em operação os serviços 2,5G GPRS, 2,75G *Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)* e o sistema de terceira geração 3G *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*.

O serviço GPRS (também chamado de rede GPRS) utiliza os recursos já existentes na rede GSM, acrescentando alguns equipamentos na infra-estrutura da rede para suportar os novos serviços de dados. Além de permitir aos usuários a troca de dados e acesso à internet, a rede GPRS permitiu que as operadoras de

telefonia utilizassem esta rede para testar e implementar novos serviços, que futuramente seriam aproveitados na implementação das redes 3G (PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009 apud SVERZUT, 2005)

Para a implementação do serviço de GPRS, utilizando a rede GSM, foram introduzidos novos elementos na arquitetura da rede, representados na figura 2.10.

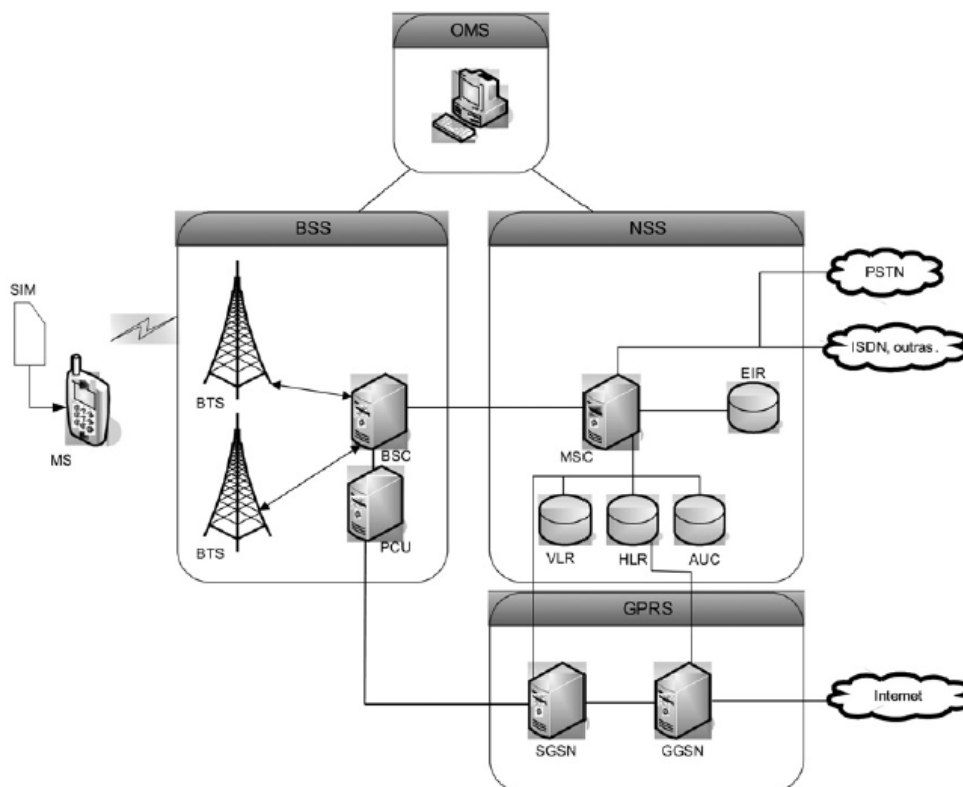


Figura 2.10 – Arquitetura da rede GSM + GPRS.
Fonte: PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009

Os terminais GPRS, denominados MS, são os equipamentos capazes de utilizarem os serviços da rede GPRS. Também chamados de *modems* GPRS, possuem o *hardware* para a comunicação RF, além do suporte à GSM e GPRS de acordo com as normas GSM, sendo configurados e utilizados através de comandos AT, que são comandos enviados ao modem via porta serial iniciados com as letras “A” e “T” e que podem alterar parâmetros de funcionamento do mesmo.

Os *modems* GPRS podem ser classificados de diversas formas, como (PIROTTI e ZUCCOLOTTO, 2009):

- Classes A, B ou C: os terminais classificados como classe A podem utilizar os serviços GPRS e GSM simultaneamente. Os terminais

classe B podem utilizar os dois serviços, mas não simultaneamente. Já os terminais classe C podem utilizar apenas os serviços GPRS.

- Classes de *multislot*: esta classificação indica a capacidade dos terminais de receber e enviar dados e o uso de *slots* da rede para isto.
- *Coding scheme*: são esquemas de modulação utilizados na interface RF da rede utilizados para tornar o enlace de rádio mais robusto.

A rede GPRS oferece transferência de dados rápida, “sempre conectado”, conectividade robusta e mecanismos de segurança confiáveis. Atualmente suporta médias de transferência de 115 kbps em condições favoráveis. Normalmente as médias ficam em torno de 50 kbps – mais de três vezes os 14,4 kbps da rede GSM.

A largura de banda é compartilhada por voz e tráfego de dados pela operadora, sendo que esta dá a preferência para tráfego de voz, ou seja, a transmissão de dados não é prioritária quando existe grande tráfego de voz e podem ocorrer dificuldades ao usuário que a utiliza. Quando este tráfego é menor, a capacidade de transmissão pode ser dinamicamente realocada para dados (SICHER e HEATON, 2002).

2.5.2 Comunicação via rádio

A comunicação entre dois dispositivos pode ser por rádios *modems*, que substituem os meios físicos de comunicação. São projetados para garantir que CLPs e computadores, por exemplo, possam se comunicar de maneira transparente através de um *link* de rádio sem necessidade de nenhum tipo de alteração nas suas especificações, conforme representado pela figura 2.11.

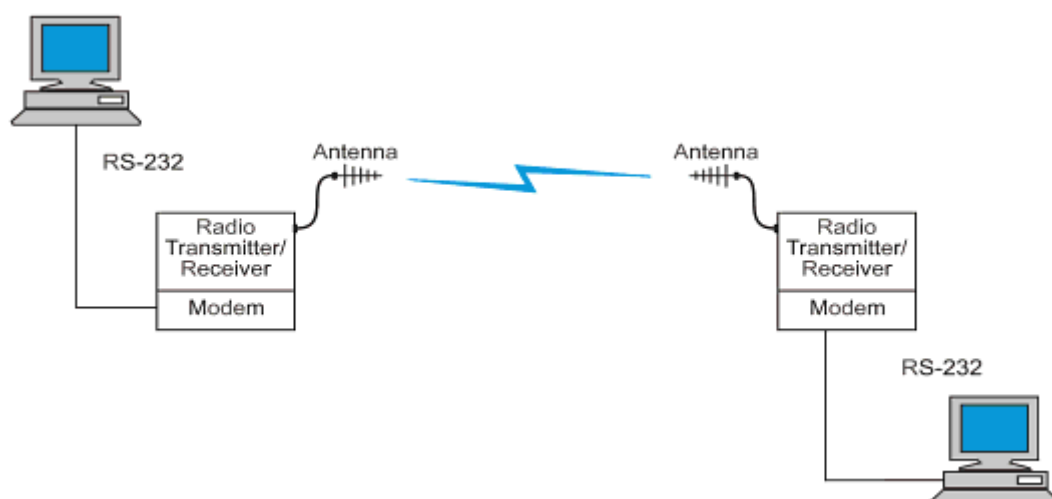


Figura 2.11 – Configuração de rádio *modems*.
Fonte: PARK; MACKAY; WRIGHT, 2003

Os rádios encontrados no mercado operam de 400 a 900 MHz, sendo que a primeira banda exige licença da Anatel para operar. Rádios *modems* podem operar em uma rede, mas requerem um sistema de gerenciamento para controle de acesso e detecção de erro. Frequentemente a estação mestre comunica com múltiplas estações em campo. A figura 2.12 mostra um rádio modem comercial.

A interface para o rádio *modem* é tipicamente a RS-232, mas RS-485 e Ethernet são também comuns (PARK; MACKAY; WRIGHT, 2003).

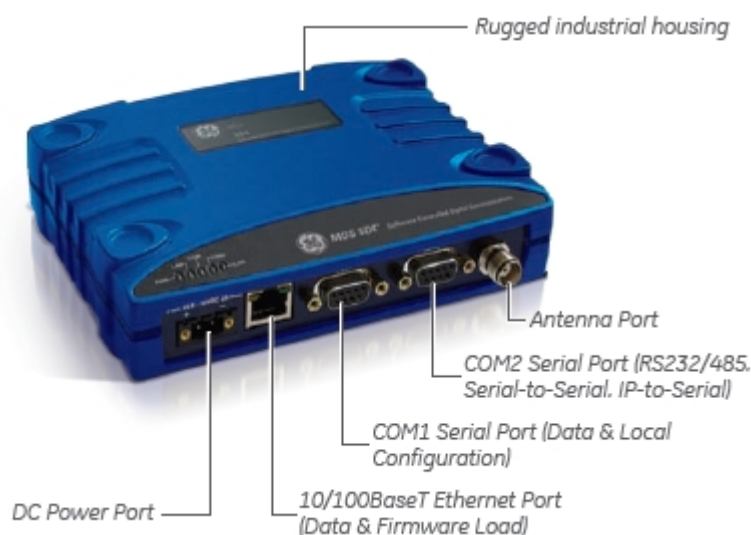


Figura 2.12 – Rádio *modem*
Fonte: GE Digital, 2012

A comunicação sem fio por *spread spectrum* proporciona transmissões sem erros, seguras e com alta taxa de transferência de dados nas bandas de rádio de 902 a 928 MHz, 2,4 a 2,483 GHz e 5,725 a 5,875 GHz sem necessidade de licença. Esta tecnologia utiliza técnicas para “espalhar” o sinal por todo o domínio de frequência, de maneira a aproveitar toda a largura da banda e minimizar interferências.

Uma boa parte dos rádios *modems* do mercado requer licença especial e estão baseados em tecnologias que não operam em aplicações propensas à emissão de interferências ou temperaturas extremas. Uma das maneiras de solucionar estes problemas é através do *transceiver* por variação de frequência.

Os *transceivers* que operam por variação de frequência, em bandas estreitas, utilizam um algoritmo predefinido para manter a sincronização e a alta taxa de transferência entre os *modems*. Fazem isto por meio de comutação contínua ou variação de transmissão em toda a banda do *spread spectrum*.

Desta forma, a sequência das frequências é muito difícil de ser prevista, sendo praticamente impossível interferir nas informações. Se for detectada interferência em alguma frequência, o corretor de erros incorporado detectará o erro e reenviará os dados no próximo salto de frequência.

Como a EMI/RF raramente afeta toda a largura de banda disponível, e cada variação de frequência é de pelo menos 6 MHz, o rádio transmissor tem mais de 100 frequências disponíveis, nas quais o espectro evita interferências, garantindo a transmissão de dados. A verificação de 32 *bits of cyclic redundancy check* (CRC) também garante que os dados enviados serão iguais aos dados recebidos (LOPEZ, 2000).

2.6 TELEMETRIA

O propósito da telemetria, segundo Garden et al (2002, p. 1), é a coleta de dados em um local remoto ou inconveniente e a transmissão destes dados para um ponto onde serão utilizados. Tipicamente o termo telemetria é usado em sistemas de rastreamento e movimentação de carros, aeronaves e mísseis. Mas também é aplicado em um grande número de indústrias pelo mundo todo (LOPEZ, 2000). Quando o sistema de telemetria é usado tanto para coleta de dados quanto para

controle, o termo Controle Supervisório e Aquisição de Dados é aplicado (GARDEN et al, 2002).

Os sistemas de telemetria constituem uma parte importante das estratégias de controle e comunicação nas indústrias. Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e de telemetria fazem uso de tecnologia complexa para fornecer métodos de monitoração e controle remotos.

Os componentes chave nos sistemas de telemetria são o RTU (*Remote Terminal Unit*), SCADA, protocolo de comunicação e a rede física de comunicação.

O RTU é o dispositivo remoto responsável pela aquisição da informação de processo, normalmente através de dispositivos de campo. Este dispositivo prepara e interpreta os dados provenientes dos equipamentos, formatando os dados de acordo com o protocolo de informação, e transmitindo-os através de um meio de comunicação.

RTUs adquirem informação por sinais elétricos conectados diretamente, ou outros dispositivos inteligentes, via comunicação serial de dados. RTUs também podem realizar funções de controle local.

O protocolo de comunicação fornece o meio físico para a transferência de informação (mensagem do RTU para o sistema SCADA). Existe um grande número de tecnologias utilizadas na rede de comunicação. A escolha correta representa um fator crítico na operação do sistema de telemetria e também uma parcela no custo do sistema.

Um sistema SCADA compreende um ou mais computadores que providenciam interface para a comunicação da rede física e interface entre o operador e os dados coletados por RTUs. Estes dados podem ser colocados na forma de mensagem, armazenados, analisados e transferidos para outros sistemas de computadores.

O sistema SCADA também fornece interface de controle para enviar dados para RTUs. Isto fornece o caminho para comandos de operação, varredura automática das RTUs ou informação recebida de outros sistemas de computadores (LOPEZ, 2000).

Na figura 2.13 mostra-se a configuração típica de um sistema de telemetria via rádio.

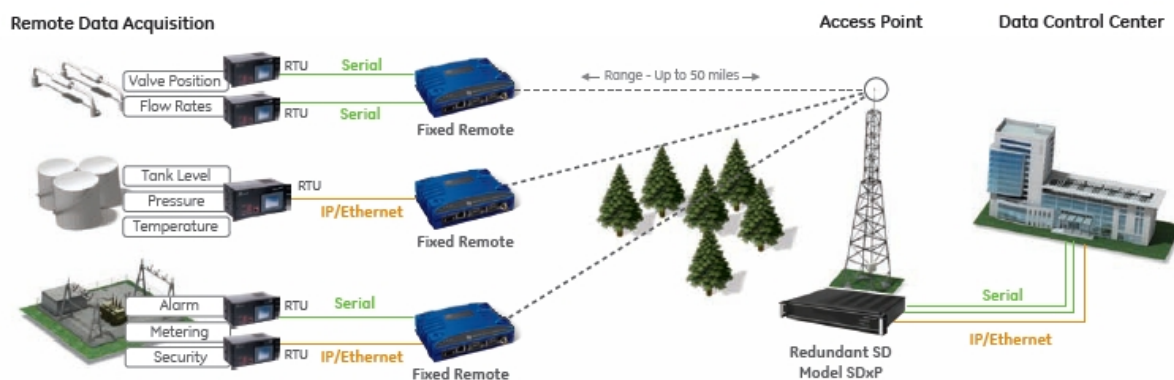


Figura 2.13 – Esquema de comunicação via rádio para telemetria.
 Fonte: GE Digital, 2012

2.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Um sistema supervisório permite que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou de uma instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA).

Os primeiros sistemas SCADA, basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado atual do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos através de um painel de lâmpadas e indicadores. Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados.

Os sistemas SCADA podem também verificar condições de alarmes, sendo possível programar a gravação de registros em bancos de dados, ativação de som, mensagem, mudança de cores, envio de mensagens por *pager*, *e-mail*, celular, entre outros.

O processo de controle e aquisição de dados do processo a ser monitorado é iniciado nas estações remotas, CLPs e RTUs, com a leitura dos valores atuais dos dispositivos associados a ele e seus respectivos controles.

A rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem dos CLPs/RTUs para o sistema SCADA; levando-se em consideração os requisitos do sistema e a distância a cobrir, pode ser implementada através de cabos Ethernet, fibras óticas, linhas *dial-up*, linhas dedicadas, rádio *modems*, dentre outros meios.

As estações de monitoração central são as unidades principais dos sistemas SCADA, sendo responsáveis por recolher a informação gerada pelas estações remotas e agir em conformidade com os eventos detectados; podem ser centralizadas em um único computador ou distribuídas por uma rede de computadores, de modo a permitir o compartilhamento das informações coletadas.

As tecnologias computacionais utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas SCADA têm evoluído bastante nos últimos anos, de forma que aumentem cada vez mais sua confiabilidade, flexibilidade e conectividade, além da inclusão de novas ferramentas que permitem diminuir cada vez mais o tempo gasto na configuração e adaptação do sistema às necessidades de cada instalação (SILVA e SALVADOR, 2011). Na figura 2.14 mostra-se a tela de um sistema supervisório.

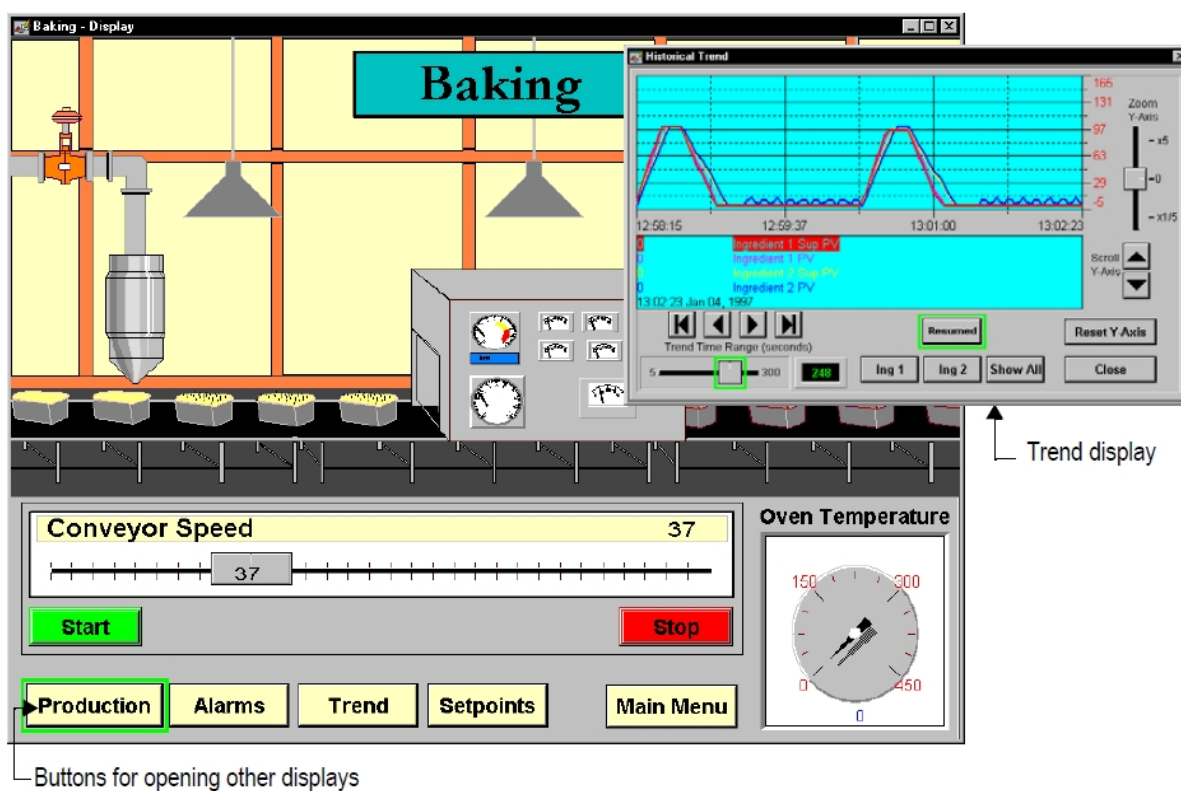


Figura 2.14 – Tela de sistema supervisório.
Fonte: Rockwell Software, 2011

2.8 SISTEMA PÚBLICO DE ESGOTO

A coleta, o afastamento, o condicionamento e a disposição final do esgoto e águas servidas são ações fundamentais para o saneamento do meio.

Os esgotos são constituídos por excretas humanas, por águas servidas, procedentes do uso doméstico, comercial, industrial, e por águas pluviais. São fontes de produção de esgotos as habitações, as indústrias, os estabelecimentos comerciais, as diversas instituições sociais, dentre outras.

A instituição responsável pela operação do sistema público de esgoto sanitário é chamada de “órgão operador”. Existe, ainda, uma instituição responsável pelo controle da poluição e pela preservação ambiental.

O crescimento das comunidades e o aumento da concentração demográfica requerem soluções de caráter coletivo para a captação, transporte, tratamento e disposição das águas residuais.

O sistema público de esgoto sanitário é constituído por uma canalização: coletores secundários, coletores-tronco, interceptores e emissários; pelas estações elevatórias e de tratamento e por instalações complementares.

Num sistema corretamente construído, o esgoto que sai das canalizações dos domicílios é despejado em coletores secundários, que recolhem os despejos de cada rua. Destes coletores o esgoto flui até os coletores-tronco ou principais e chega a estações elevatórias (EEE), que bombeiam até as estações de tratamento de esgoto.

Estações elevatórias são instalações eletromecânicas e obras civis destinadas a elevar as águas residuais coletadas pela rede de esgotos, tanto para evitar o aprofundamento excessivo das canalizações como para possibilitar o acesso do esgoto às estações de tratamento ou sua descarga final no curso d'água, lago ou mar receptor (CARVALHO e OLIVEIRA, 2003). Na figura 2.15 está representada a configuração de um sistema de coleta e tratamento de esgoto.

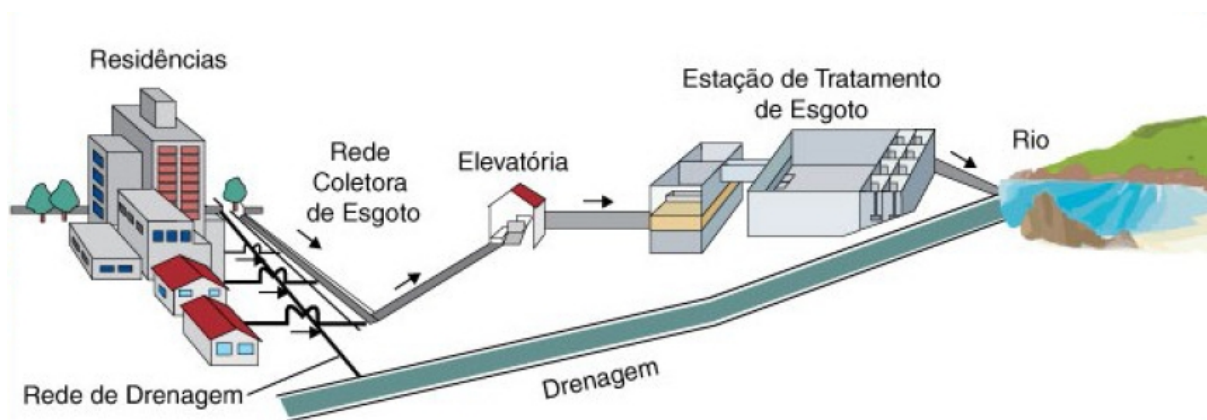


Figura 2.15 – Sistema de coleta e tratamento de esgoto.
Fonte: PRIMO, 2009

2.9 TRABALHOS RELACIONADOS JÁ REALIZADOS

Vários foram os trabalhos encontrados e que são correlacionados com o presente. Dentre eles, destaca-se:

- Tecnologia de comunicação em sistema SCADA – enfoque em comunicação *wireless* com espalhamento espectral, desenvolvido por Boaretto (2005). O trabalho desenvolvido foca o uso de tecnologias de transmissão sem fio, tendo como justificativa a eliminação da dispendiosa infraestrutura da comunicação por meios físicos quando a distância de transmissão de informações é relativamente grande. Neste trabalho o rádio com tecnologia *spread spectrum*, sem necessidade de licença no Brasil, também foi alvo de estudo. Também foi realizado um estudo de caso na Sanepar, no qual foram levantadas informações sobre o sistema de comunicação em algumas regionais da empresa, notadamente nas estações de tratamento de água e esgoto.
- Proposta de um sistema de telemetria para aplicação em processo industrial, desenvolvido por Filho (2009). Neste trabalho o autor aborda o sistema de telemetria com o fim de transmissão de informações de um processo industrial utilizando comunicação GPRS para disponibilizar os dados em um sistema supervisor.

- Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição, Spolaor (2011). O autor discute no trabalho a aplicação da automatização em sistemas de saneamento, como foco na operacionalidade dos mesmos, utilizando CLPs, sistema SCADA e comunicação via rádio entre os controladores para monitoração de informações vindas dos CLPs. O trabalho ressalta e mostra as vantagens de se aplicar a automação em um sistema real na cidade de Santa Rosa de Viterbo, no estado de São Paulo.

3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em duas frentes: uma delas na pesquisa de mercado e outra no início da implementação da proposta do sistema.

3.1 SISTEMAS DE CONTROLE E MONITORAÇÃO ATUAIS

Os sistemas utilizados em estações elevatórias podem se beneficiar dos mesmos recursos disponíveis na indústria, como a utilização de equipamentos de automação, sistemas supervisórios, dentre outros, que são perfeitamente adequados ao controle e monitoração das estações.

As elevatórias são constituídas basicamente de um sistema de bombeamento, o qual deverá ser acionado conforme a necessidade. A figura 4.1 mostra uma estação do tipo poço seco, onde as bombas não ficam no interior do poço.

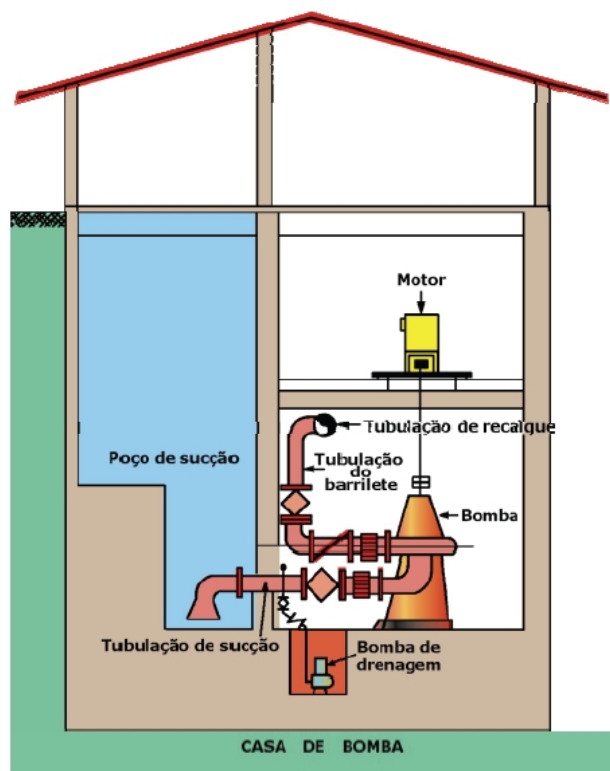


Figura 3.1 – Casa de bomba de estação elevatória de esgoto – esquema de poço seco.
Fonte: GUIA ESGOTAMENTO SANITÁRIO: OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS, 2008

Este sistema é constituído por uma ou mais bombas, sensor ou chave de nível e sistema de controle. As chaves de partida podem simplesmente ser acionadas pelas chaves de nível (normalmente chave bóia) ou um painel de comando bastante elaborado, com sistema de controle baseado em CLP ou controlador dedicado, sensores de nível analógicos, interface de operação baseado em computador, sistema de monitoração e proteção das bombas, sistema de monitoração remota, entre outros equipamentos.

A figura 4.2 mostra um quadro de comando apto a acionar e proteger 2 bombas através de chaves de nível e relé de proteção e sem nenhum tipo de automação agregada. Estão presentes os componentes necessários ao acionamento (*softstarters*), fusíveis, relés de proteção contra ingresso de umidade nas bombas e demais componentes auxiliares. Na figura 4.3 é mostrado um quadro para controle e monitoração completo de uma estação elevatória com controlador dedicado. Neste quadro, além dos componentes de acionamento, estão presentes o controlador de bombas e sua respectiva interface homem máquina (IHM) de operação, uma fonte de alimentação para o mesmo e diversos componentes auxiliares associados ao controlador.



Figura 3.2 – Quadro para proteção e acionamento de duas bombas.
Fonte: Autoria própria



Figura 3.3 – Quadro para controle e monitoração de quatro bombas com controlador dedicado.

Fonte: Autoria própria

As estações elevatórias são geralmente desassistidas e ficam a distâncias significativas do centro de operações. Quando um problema ocorre na estação e o esgoto para de ser bombeado, extravasando para o ambiente, os operadores são geralmente alertados pelos moradores da região ou então quando é feita visita periódica na elevatória. Esta situação é extremamente indesejável do ponto de vista ambiental e de manutenção – a estação é recolocada em operação apenas depois de horas ou dias após o problema ocorrer. Uma grande parte do esgoto que deveria ter sido bombeado para as estações de tratamento foi desviada para o ambiente, contribuindo para a poluição deste. Ainda, caso o problema que originou a parada pudesse ter sido detectado, a parada talvez tivesse sido evitada ou abreviada.

Grande parte dos problemas que provocam paradas nas estações pode ser previsto, mas não são facilmente detectados simplesmente pelo sistema de partida da bomba. Apenas a proteção contra sobrecarga da bomba não é suficiente para a completa proteção de todo o sistema de bombeamento. Hoje existem disponíveis no mercado relés especiais de proteção das bombas, que as protegem contra excesso de temperatura e ingresso de umidade no motor. Na própria estação podem ser instalados outros tipos de dispositivos de medição de nível, mais

elaborados que a popular chave bóia; sensores analógicos que informam o valor exato do nível de líquido, que podem ser princípio de medição hidrostático (figura 4.4) ou de ultrassom.

Um sistema de controle elaborado deve prever uma lógica de funcionamento das bombas de modo a garantir o funcionamento alternado das mesmas. Também deve ser capaz de apontar e registrar defeitos que venham a ocorrer na estação – caso uma das bombas apresente falha, as outras deverão compensar a que estiver parada. Também deve ser fácil de operar, apresentando de maneira clara os eventos e alarmes.



Figura 3.4 – Sensor de nível hidrostático.
Fonte: Autoria própria

A lógica de funcionamento de controle da estação é geralmente implementada em um CLP, com o conhecimento do funcionamento do sistema de bombeamento. Também é possível utilizar controladores desenvolvidos especificamente para o controle de estações elevatórias. São encontrados produtos bastante eficientes no mercado.

O sistema de controle também deve ser apto a disponibilizar as informações através de algum meio de comunicação, de modo a ser possível agregar um sistema de telemetria à estação.

São encontrados basicamente dois tipos de sistemas de telemetria: o primeiro baseado em comunicação GPRS e o segundo em rádio. A figura 4.5 mostra a antena GPRS de uma estação elevatória de esgoto.



**Figura 3.5 – Antena GPRS de estação elevatória.
Fonte: Autoria própria**

3.1.1 Os sistemas no Brasil

Apesar de haver tecnologia de ponta disponível, o Brasil ainda não desenvolveu a cultura de monitorar estações elevatórias de esgoto. Em vários estados a maior parte do esgoto produzido sequer é coletada, sendo necessária primeiramente a construção de todo o sistema básico de coleta e tratamento. A região Sudeste, com destaque para o estado de São Paulo, é a que apresenta certa evolução.

Na Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), o sistema encontrado é baseado em comunicação via rádio, porém mais voltado ao tratamento.

Os rádios utilizados trabalham nas bandas de 900 MHz e 400 MHz, estes últimos licenciados junto à Anatel, sendo que o enlace de maior distância é de 10 km, apesar de vários fabricantes de rádios anunciarem distâncias limite de mais de 50 km com visada. A experiência mostrou que os enlaces em 900 MHz são mais suscetíveis a interferências com automóveis, o que motivou a construção de antenas altas (de mais de 20 m), com custo aproximado de R\$ 10.000,00 para minimizar estas interferências. A experiência também mostrou a necessidade de sempre

efetuar um estudo preliminar e um projeto bastante criterioso de todo o sistema antes de qualquer construção. Embora o sistema de comunicação pareça bastante simples, apresenta diversas variáveis as quais devem ser consideradas no projeto, como a própria possibilidade de interferências com automóveis.

Outro ponto a ser considerado é o fato da banda de 900 MHz não ser licenciada, ou seja, pode ser utilizada por qualquer sistema. Desta forma, em certas regiões ocorrem interferências, com outras redes, de difícil solução.

A tecnologia GPRS não é comumente utilizada por alguns motivos; ainda não há total confiabilidade no sistema: os sinais trafegam pela rede de terceiros (operadoras), que priorizam a comunicação de voz e não de dados, atrasando ou interrompendo a transmissão das informações. Além do mais, como é disponibilizada via serviço de terceiros, também é cobrada por estes.

Os rádios que operam na banda de 400 MHz também são utilizados, embora necessitem de uma licença de custo aproximado de R\$ 180,00 anuais. Apesar deste custo, o sistema tem demonstrado ser bastante estável em relação aos que operam em 900 MHz, pois a frequência utilizada é de uso exclusivo na região após criterioso estudo e autorização de uso por parte da agência e as interferências são bem menos expressivas.

Em outras empresas de saneamento, como a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a tecnologia GPRS em estações também não é utilizada principalmente devido à segurança dos dados. As informações saem das estações e não seguem diretamente para o centro de operações, o que causa desconforto quando à certeza da transmissão dos dados e ao sigilo dos mesmos, contrariando regras internas das companhias.

3.1.2 Os sistemas em países desenvolvidos

Nos países desenvolvidos, em especial nos europeus, os sistemas de controle e monitoração de estações elevatórias estão em fase muito mais avançada. Sistemas com CLPs e supervisórios específicos para coleta e tratamento de esgoto são facilmente encontrados. Destaca-se a empresa Lacroix Sofrel (Lacroix Sofrel web site, 2012), que é especializada no desenvolvimento de tais sistemas de telemetria. A tecnologia de transmissão via rádio é a mais popular para distâncias curtas (como no caso das distâncias entre as estações elevatórias e central de

operação), seguida pelo GPRS para grandes distâncias e várias estações monitoradas. Para distâncias muito curtas, também é frequentemente utilizada a transmissão de dados via fibra ótica.

3.2 PROPOSTA DO SISTEMA

A proposta do trabalho é um sistema de monitoração de uma elevatória com duas bombas baseado em transmissão de dados através de rádios operando na banda de 900 MHz (*spread spectrum*), que se beneficiam da não necessidade de licença de uso. Os rádios são comuns no mercado e utilizam uma tecnologia conhecida e confiável.

O sistema de controle local da elevatória pode ser feito por um CLP ou por um controlador de bombas dedicado, conectado a um dos rádios do sistema de comunicação. E o sistema supervisor será composto de um *software* e microcomputador de interface, conectado ao outro rádio.

Várias são as opções no mercado para equipamentos e *softwares*.

O sistema de controle será capaz de controlar completamente a estação elevatória, com os seguintes recursos:

- Decidir sobre a partida e a parada de cada bomba segundo níveis de líquido parametrizados pelo operador;
- Apontar falhas ocorridas nas bombas – sobretemperatura, ingresso de umidade, sobrecorrente, subcorrente e baixa vazão;
- Parar a bomba que apresente falha, ligando a próxima bomba da sequência;
- Mostrar as condições de funcionamento de cada bomba: em operação ou parada, corrente elétrica, vazão bombeada, se apresenta falhas ou bloqueio externo por chave ou outro dispositivo;
- Registrar o tempo decorrido de funcionamento de cada bomba, assim como a quantidade de partidas e paradas;
- Estimar a vazão bombeada por cada bomba e a vazão de entrada da elevatória através das dimensões da mesma e da velocidade de subida e descida do nível de líquido;

- Mostrar as condições de funcionamento do tanque da estação: nível de líquido, vazão de entrada, vazão de saída, extravaso e estado de chaves de nível auxiliares;
- Apontar falhas ocorridas no tanque – nível alto, nível baixo, extravaso, alta vazão de entrada, abertura do quadro elétrico e falta de energia elétrica;
- Gerar e registrar alarmes ocorridos devido a falhas nas bombas e do tanque da elevatória.

O sistema de supervisão deverá oferecer os seguintes recursos:

- Mostrar, de maneira amigável (com animações), o funcionamento de cada bomba, mostrando o estado (funcionando, parada, com falha, bloqueada), a corrente elétrica e a vazão de saída da mesma;
- Mostrar uma lista com as principais informações de cada bomba: tempo total de funcionamento, número de partidas e paradas, vazão média de bombeamento;
- Mostrar alarmes que ocorram devido a falhas nas bombas ou no tanque da elevatória conforme ocorrido no sistema de controle;
- Registrar os alarmes e eventos ocorridos para posterior consulta;
- Apresentar, quando solicitado, relatório com alarmes e/ou eventos segundo filtros implementados;
- Apresentar gráficos com nível de líquido;
- Mostrar, em uma tela separada, o estado das entradas e saídas digitais e analógicas do controlador instalado no quadro.

3.2.1 Benefícios

O sistema proposto apresenta os seguintes benefícios:

- Permite o controle total da estação elevatória, de maneira a otimizar o funcionamento das bombas;
- Permite monitoração preciso das bombas, detectando quaisquer

falhas que ocorram e que possam danificar as mesmas;

- Avisa ao operador, no centro de operações, de qualquer anomalia que possa causar a parada da estação, evitando ou minimizando os danos causados por extravaso de esgoto no ambiente;
- Oferece dados para melhor aproveitamento e otimização da estação, como manutenção preventiva programada das bombas segundo tempo decorrido de funcionamento ou quantidade de partidas e paradas por hora;
- Dados históricos registrados, como vazão média de bombeamento e aumento gradativo desta vazão ao longo dos meses e anos, permitem estudos para melhorias de todo o sistema, da coleta do esgoto até a estação de tratamento para onde o mesmo é transferido.

3.2.2 Especificação dos equipamentos, *softwares* e demais componentes

Os principais componentes do sistema serão, basicamente, o controlador presente na estação elevatória, os rádios para comunicação e o *software* supervisor instalado em um microcomputador no centro de operações.

As especificações básicas destes componentes seguem:

- Controlador
 - Controlador microprocessado dedicado ou programável;
 - Montado em caixa plástica para fixação em trilho DIN 35 mm, grau de proteção mínimo IP 20;
 - Porta de comunicação serial RS-232 para serviço e telemetria, com velocidade mínima de 19,2 kbps;
 - Porta de comunicação com a IHM;
 - Protocolo de comunicação Modbus, com documentação para consulta;
 - Alimentação: 24 Vcc;
 - Mínimo de 12 entradas digitais;
 - Mínimo de 3 entradas analógicas 4-20 mA;
 - Mínimo de 5 saídas digitais a relé;

- Os módulos de entradas e saídas podem estar integrados ao controlador ou conectados a este através de rede de comunicação.
- Baterias para funcionamento em modo emergencial
 - Conjunto de duas baterias 12 V, 2 Ah;
 - Carregador de baterias para duas baterias 12 V, 2 Ah.
- Módulo de detecção de umidade
 - Duas entradas para sensores de umidade, com sensibilidade mínima de 10 k Ω ;
 - Saída digital a relé para indicação de falha para cada entrada;
 - Integrado ao controlador ou conectado a entradas digitais do mesmo.
- *Software* para parametrização do controlador dedicado ou programação do controlador programável para instalação em ambiente Windows de acordo com o equipamento escolhido
- IHM para operação local da estação
 - Tela em LCD colorida de 7 ”;
 - Botões para navegação em menus;
 - Montagem na porta do painel;
 - Grau de proteção mínimo IP55;
 - Alimentação de 24 Vcc;
 - Porta de comunicação serial RS-232;
 - A IHM pode ser integrada ao controlador dedicado.
- *Software* para programação da IHM
- *Software* supervisor
 - Instalação em ambiente Windows;
 - Módulo de comunicação para protocolo ModBus;
 - Módulo *runtime*;
 - Mínimo de 200 *tags*.
- Rádio
 - Rádio transceptor para operação na banda de 900 MHz sem necessidade de licença conforme legislação;
 - Tecnologia de espalhamento espectral de saltos de frequência (*frequency hopping spread spectrum*);

- Atendimento à legislação local (Anatel);
- Conector para antena;
- Alimentação em 24 Vcc;
- Porta serial RS-232 para comunicação;
- Velocidade mínima de transmissão da porta de 19,2 kbps;
- Potência entre 1 mW e 1 W ajustável por *software*;
- *Software* para parametrização do rádio.
- Microcomputador para supervisor
 - Microcomputador de acordo com configuração mínima exigida pelo *software* supervisor;
 - Porta serial para comunicação com rádio.
- Microcomputador portátil (*laptop*)
 - Utilizado para parametrização dos rádios, criação das telas da IHM e parametrização do controlador dedicado ou programação do CLP;
 - Configuração mínima de acordo com os *softwares* de parametrização dos rádios, criação das telas da IHM e parametrização do controlador dedicado ou programação do CLP.
- Cabos de comunicação entre rádios, controlador, IHM e microcomputador de acordo com os requisitos destes

É pressuposto que o sistema de acionamento, sensores e demais componentes pertinentes à aplicação na estação estejam disponíveis e aptos a receber o sistema de controle de acordo com as especificações dos equipamentos citados.

3.2.3 Limitações

O sistema de controle e monitoração proposto terá as seguintes limitações:

- Caso utilizado um CLP para lógica de controle, este CLP deverá ser programado segundo recursos especificados anteriormente. Normalmente programadores de CLPs não conhecem o processo e

então será necessária a presença de uma pessoa que entenda do mesmo nas fases de programação, testes e implementação. Se for utilizado um controlador dedicado, basta seguir a parametrização do controlador conforme instruções do fabricante.

- Futuramente, caso seja necessária uma intervenção no programa do CLP para manutenção ou alteração da lógica, um programador (de preferência a pessoa que originalmente gerou o programa) deverá ser solicitado para o serviço. Caso utilizado um controlador dedicado para bombas, não será possível alterar ou implementar nova lógica – mas poderá ser feita alteração em parâmetros de funcionamento da lógica conforme instruções do fabricante.
- O sistema de transmissão prevê comunicação entre apenas dois rádios (um na elevatória e outro no centro de operação, conectado ao supervisório). Para adição de mais elevatórias, será necessário novo estudo do sistema de comunicação.

3.3 REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação de um sistema simples para estudos tem como requisitos gerais:

- Controlador dedicado para 2 bombas ou CLP conforme especificações anteriores;
- *Software* de programação do CLP ou software para parametrização do controlador dedicado;
- Microcomputador pessoal de configuração mínima conforme requisitos do *software* do CLP ou controlador dedicado;
- Cabo de comunicação entre controlador ou CLP e microcomputador;
- Fonte de alimentação do CLP ou controlador dedicado;
- Dois rádios para comunicação em 900 MHz com mini antena para limitação do alcance e demais acessórios;
- Placa com chaves, lâmpadas, potenciômetros e outros para simulação de sinais de entrada e saída digitais e analógicas (chaves de nível,

acionamento das bombas e outros) compatível com as entradas e saídas do equipamento de controle escolhido.

Para a implementação do protótipo foi escolhido um controlador dedicado para bombas ao invés de um CLP. A principal razão é a não necessidade de criação da lógica de controle – esta lógica e todos os recursos necessários para controle das bombas já estão implementados no controlador dedicado, bastando ajustar os parâmetros do mesmo de acordo com a aplicação e manual do fabricante.

Na tabela 3.1 é apresentado um comparativo entre um controlador dedicado e um CLP e demais equipamentos necessários para que se tenham recursos similares.

Característica	Controlador dedicado	CLP
Modelo	PC 242 (fabricação Sulzer)	TPW03-30HRA (fabricação WEG)
Quantidade de bombas a controlar	2	2
Software de parametrização/ programação	AquaProg (Sulzer)	TPW03-PCLink (WEG)
Entradas digitais	14, incorporadas	16, incorporadas
Saídas digitais	6, incorporadas	14, incorporadas
Entradas analógicas 4-20 mA	4, incorporadas	8, módulo adicional TPW03/8AD (WEG)
Porta de comunicação/ protocolo	RS-232/Modbus, incorporada	RS-232/Modbus, incorporada
Monitor de ingresso de umidade	Incorporado, 2 entradas	Relé TDM (Sulzer)
Monitor de temperatura (sensor Pt100)	Incorporado, 2 entradas	Relé DK6 PT 100/3 (Conexel)
IHM	Incorporada	PWS6300S-S (WEG)
Lógica de controle e telas da IHM	Incorporadas no controlador	Necessário desenvolver

Tabela 3.1 – Comparativo de características de controlador dedicado e CLP.
Fonte: Autoria própria

A tabela 3.2 traz os valores comparativos do controlador dedicado e do CLP, com todos os componentes necessários para a implementação de um sistema de controle de duas bombas.

Componente	Controlador dedicado	CLP
Controlador	R\$ 2.800,00	R\$ 1.250,00
Software de programação/ parametrização	R\$ 4.000,00	-
Módulo de entradas digitais	-	-
Módulo de saídas digitais	-	-
Módulo de entradas analógicas	-	R\$ 1.250,00
Módulo de comunicação Modbus	-	-
Relés monitores de ingresso de umidade (2 peças)	-	R\$ 1.600,00
Relés monitores de temperatura (2 peças)	-	R\$ 300,00
IHM	-	R\$ 1.225,00
Desenvolvimento de lógica de controle e telas da IHM	-	R\$ 6.000,00
Totais	R\$ 6.800,00	R\$ 11.625,00

Tabela 3.2 – Comparativo de valores de controlador dedicado e CLP.

Fonte: Autoria própria

Os vários componentes a serem agregados ao CLP para que tenha os mesmos recursos do controlador dedicado fazem do primeiro o mais caro do comparativo. O segundo ainda conta com a vantagem de apresentar maior simplicidade em termos de *hardware*, simplificando, também, a instalação.

O estudo do protótipo deve ser feito em bancada. Assim não exige estudos quanto à instalação (agressividade, compatibilidade eletromagnética) e topologia do terreno, no caso da instalação das antenas dos rádios.

Foi realizado um estudo de mercado quanto a valores de algumas opções de rádios. Foram consultados 2 modelos em alguns representantes dos fabricantes com características que atendem à proposta. Na tabela 3.2 são mostrados os valores para comparação.

	Rádio 1		Rádio 2
	Representante 1	Representante 2	Único representante
Fabricante	Digi International		Microhard
Modelo	XT09-PKI-RA-NA		IP-921
Valor unitário	R\$ 1.100,00	R\$ 1.676,40	R\$ 6.450,00
Data da consulta	18.jan.2012	23.jan.2012	01.dez.2011

Tabela 3.3 – Comparativo de valores de rádios.
Fonte: Autoria própria

As especificações dos dois rádios são as seguintes:

Rádio 1

- Fabricante: Digi International
- Modelo: XT09-PKI-RA-NA
- Rádio Transceptor: *Frequency Hopping Spread Spectrum* (Espalhamento Espectral de Saltos de Freqüência)
- Freqüência: 915 a 928 MHz
- Canais disponíveis – 10 (divididos em 50 frequências)
- Potência de transmissão: 1 W (selecionável via *software* de 1 mW a 1 W)
- Sensibilidade do receptor: -110 dBm @ 9,6 kbps e -100 dBm @ 115,2 kbps
- Alcance máximo: até 64 km com visada sem obstáculos, dependendo do ambiente, das condições geográficas e do tipo de antena utilizada
- Taxa de transmissão RF: até 115,2 kbps (configurado através de *software* fornecido) *half duplex* assíncrono

- Conformidade: ANATEL, FCC Part 15 Class A e FCC15247
- Conexão da antena: SMA macho reverso - Impedância 50 Ohms
- Alimentação: 7 a 28 Vcc
- Corrente em repouso da fonte: 17 mA
- Corrente em repouso da porta serial: 45 mA
- Corrente ao transmitir: (1 mW a 1 W): 110 a 800 mA
- Corrente ao receber: 110 mA
- Ambiente operacional
 - Temperatura: -40 a 85 °C
 - Umidade: 0 a 95% RH – sem condensação
- Invólucro: alumínio extrudado: 69,90 x 13,97 x 28,60 mm, montagem em superfície
- Indicação através de *led*: Power, TX, RX, RSSI
- Porta serial: taxas padrão de 1,2 a 115,2 kbps (configurado através de *software* fornecido)

Rádio 2

- Fabricante: Microhard
- Modelo: IP-921
- Frequência: 902 - 928 MHz
- *Spread Method Frequency Hopping* / DTS
- Velocidade do *link*: 345 kbps ou 1,1 Mbps (selecionável)
- Detecção de erro: 32 *bits* de CRC, ARQ
- Criptação 128-*bit* WEP/WPA
- Alcance de 100 km @ 345 kbps
- Sensitividade: -106 dBm @ 345 kbps, -98 dBm @ 1,1 Mbps
- Saída de potência: 100 mW - 1W (20-30 dBm)
- Interface Serial
 - RS232: RxD, TxD, RTS, CTS, DCD, DSR, DTR
 - RS422: Tx+, Tx-, Rx+, Rx-
 - RS485: 4-fios/2-fios
- Velocidade da porta serial: 300 bps a 921 kbps
- Ethernet 10/100 BaseT, IEEE 802.3

- Protocolos de rede: TCP, UDP, TCP/IP, ARP, ICMP, DHCP, HTTP, SNMP, FTP, Serial over IP, QoS
- Gerenciamento: *Local Serial Port Console*, Telnet, WebUI, SNMP, FTP Upgrade, autenticação RADIUS
- Modos operacionais: Ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto, *Store & Forward repeater*, *Peer-to-Peer*
- Diagnose: VSWR, tensão de bateria, Temperatura, RSSI, e diagnóstico remoto
- Alimentação: 9-30 Vcc
- Conectores
 - Antena: RP-TNC *Female Bulkhead*
 - Dados: RS232 DB-9F, RJ45, *locking screw connector*
 - Ethernet: RJ-45
- Instalação: -40 a +70 °C
- Umidade: 5-95% RH, sem condensação
- Peso: 420 g
- Dimensões: 121 x 95,3 x 44,5 mm
- Invólucro em alumínio
- Aprovações: FCC Part 15.247, IC RSS210

O rádio 2 possui, vendo as especificações, mais recursos que o primeiro. O rádio 1, no entanto, atende às características desejadas, não sendo justificável o os recursos extras e o valor muito mais alto do rádio 2 para a aplicação.

3.3.1 Exemplo de montagem

Foi realizada uma montagem com alguns equipamentos emprestados. Os rádios, no entanto, não estavam disponíveis.

A montagem foi feita utilizando:

- Controlador de bombas de fabricação Sulzer, modelo ABS PC 242, montado em caixa de simulação de sinais (utilizado para

demonstração do equipamento), com as seguintes características, dentre outras:

- Controle de até 2 bombas e 1 misturador
- Alimentação de 9 a 34 Vcc
- 14 entradas digitais
- 2 entradas para sensores de umidade das bombas
- 6 saídas digitais
- 4 entradas analógicas 4-20 mA
- 2 entradas para sensores de temperatura
- 1 porta de comunicação para telemetria com protocolos Modbus e Comli
- 1 porta de comunicação de serviço
- IHM para operação local (integrada ao controlador)
- *Software* AquaProg de parametrização do controlador
- *Software* Elipse SCADA, versão de demonstração
- Microcomputador pessoal Pentium Dual Core

Nesta montagem foram desenvolvidas algumas telas do *software* supervisor, o qual mostrava o funcionamento da elevatória simulada através de cabo serial conectando diretamente o controlador ao microcomputador.

A figura 4.6 mostra o controlador em funcionamento, simulando a operação de uma estação elevatória com duas bombas. As chaves na parte inferior do equipamento simulam a elevação do nível de líquido, corrente de funcionamento das bombas e os diversos alarmes que possam ocorrer (nível de extravaso, nível baixo, atuação das proteções das bombas, entre outros). Ainda existem alguns *leds* na parte inferior direita, os quais indicam o funcionamento das bombas e um *display* que mostram o funcionamento e os dados mais relevantes da estação elevatória.



Figura 3.6 – Controlador de bombas ABS PC 242 em caixa de simulação de sinais.
Fonte: Autoria própria

Na primeira etapa foram ajustados os diversos parâmetros do controlador a fim de prepará-lo à simulação desejada. Para isto foi utilizado o *software* AquaProg, do mesmo fabricante do controlador, conectado ao mesmo através de cabo serial na porta de serviços. Basicamente foram definidos:

- 2 bombas a serem controladas
- Controle de nível através de sensor de nível analógico
- Valores de níveis de partida e parada individuais para cada bomba
- Aquisição do valor de corrente das bombas através de entradas analógicas
- Entradas analógicas conforme a seguir:
 - Sensor de nível analógico
 - Corrente das bombas, com valores proporcionais a 4-20 mA
- Entradas digitais para recebimento de:
 - Chave de nível de extravaso
 - Chave de nível alto
 - Chave de nível baixo
 - Atuação das proteções por sobrecarga das bombas

- Atuação das proteções por sobretemperatura das bombas
- Atuação das proteções por excesso de umidade das bombas
- Saídas digitais para acionamento do sistema de partida das bombas

Na figura 4.7 são mostrados alguns dos parâmetros definidos.

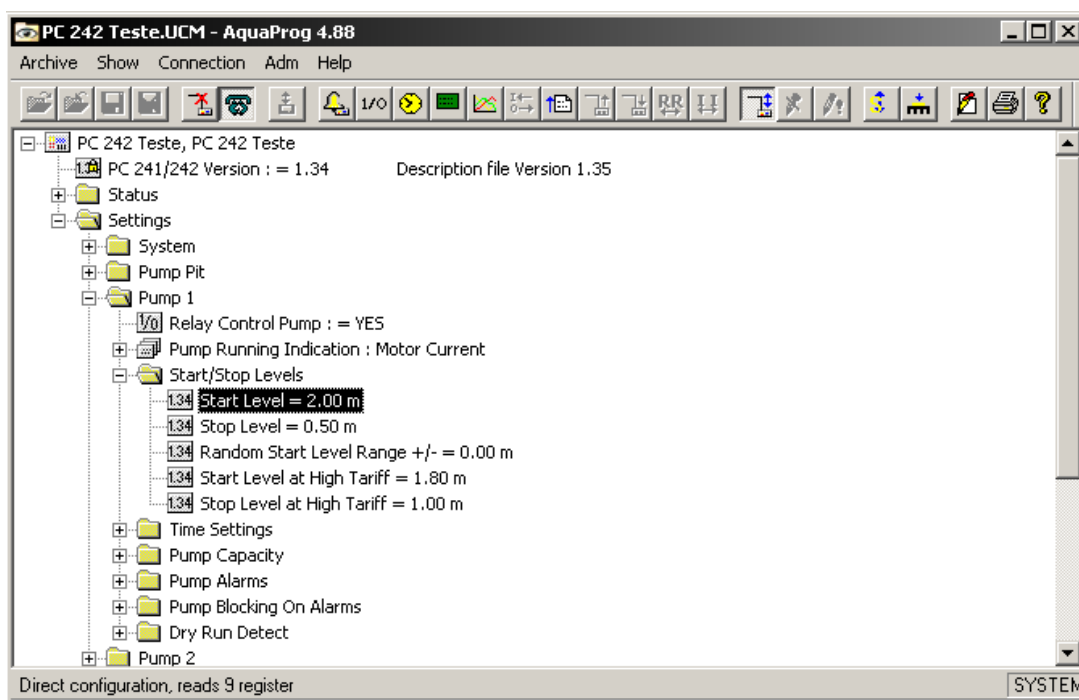


Figura 3.7 – Parametrização do controlador.
Fonte: Autoria própria

O protocolo de comunicação para a porta de serviços é o Modbus – por praticidade foi utilizada esta mesma porta para a comunicação com o *software* supervisor durante as simulações.

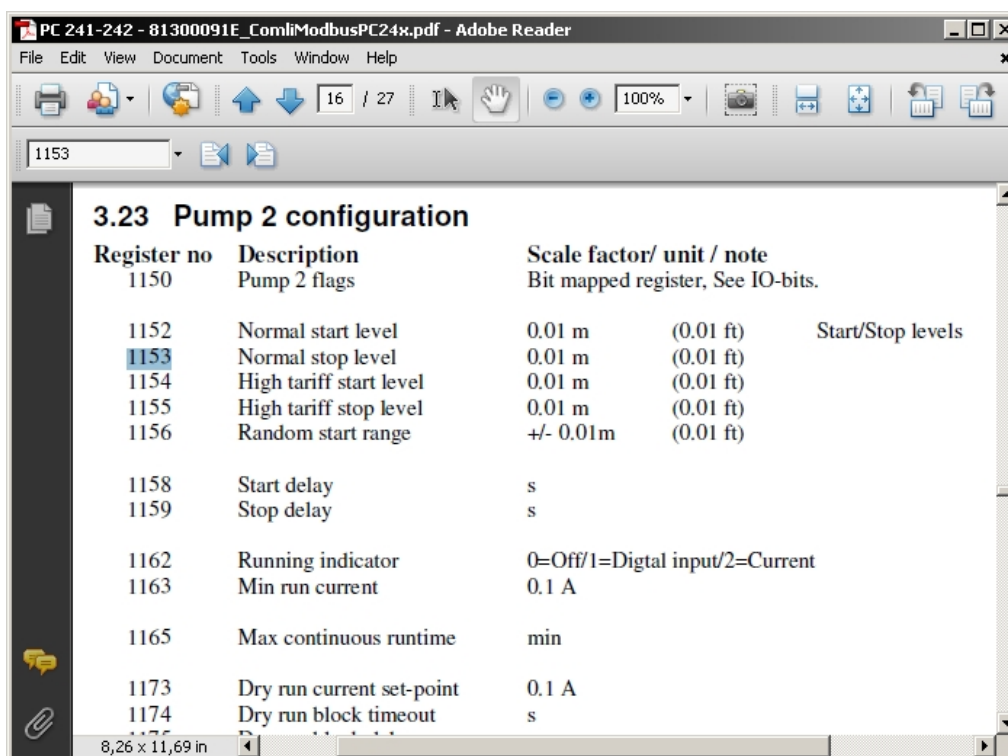
Muitos outros recursos estão disponíveis neste controlador, como:

- Cálculo de vazão de cada bomba, vazão de entrada e vazão total de saída através de variação do nível de líquido e dimensões do tanque da estação
- Registro de eventos
- Alternância automática do funcionamento das bombas
- Diversos alarmes associados a falhas das bombas, como sobrecorrente, subcorrente, atuação de proteções, entre outros

- Diversos alarmes associados a falhas da estação, como nível alto, nível baixo, extravaso, alta vazão de entrada, entre outros
- Aviso de abertura da porta do quadro elétrico
- Falha de alimentação de energia
- Registros analógicos (vazão de entrada, nível de líquido, dentre outros)
- Apresentação de gráficos

Utilizando a versão de demonstração do *software* Elipse SCADA (possui limitação do número de *tags* a serem salvas), foram criadas algumas telas – de operação da estação, de apresentação de alarmes e gráfico de nível de líquido.

Para associar as *tags* aos endereços de memória do controlador, foi consultado o manual do mesmo. Neste manual constam os endereços dos registros e de I/Os os quais serão utilizados nas telas do supervisor. Na figura 4.8 são mostrados alguns dos endereços de registros, com destaque para o endereço do valor de nível de parada da bomba 2.



Register no	Description	Scale factor/ unit / note
1150	Pump 2 flags	Bit mapped register, See IO-bits.
1152	Normal start level	0.01 m (0.01 ft) Start/Stop levels
1153	Normal stop level	0.01 m (0.01 ft)
1154	High tariff start level	0.01 m (0.01 ft)
1155	High tariff stop level	0.01 m (0.01 ft)
1156	Random start range	+/- 0.01m (0.01 ft)
1158	Start delay	s
1159	Stop delay	s
1162	Running indicator	0=Off/1=Digital input/2=Current
1163	Min run current	0.1 A
1165	Max continuous runtime	min
1173	Dry run current set-point	0.1 A
1174	Dry run block timeout	s

Figura 3.8 – Documentação de endereços de memória do controlador.
Fonte: Autoria própria

Ainda no *software* supervisor, foram criadas as *tags* a serem associadas aos endereços de memória utilizando protocolo de comunicação Modbus, mesmo protocolo do controlador. A figura 4.9 mostra a configuração do protocolo de comunicação Modbus do *software* supervisor e a figura 4.10 mostra as configurações de uma das *tags* criadas.

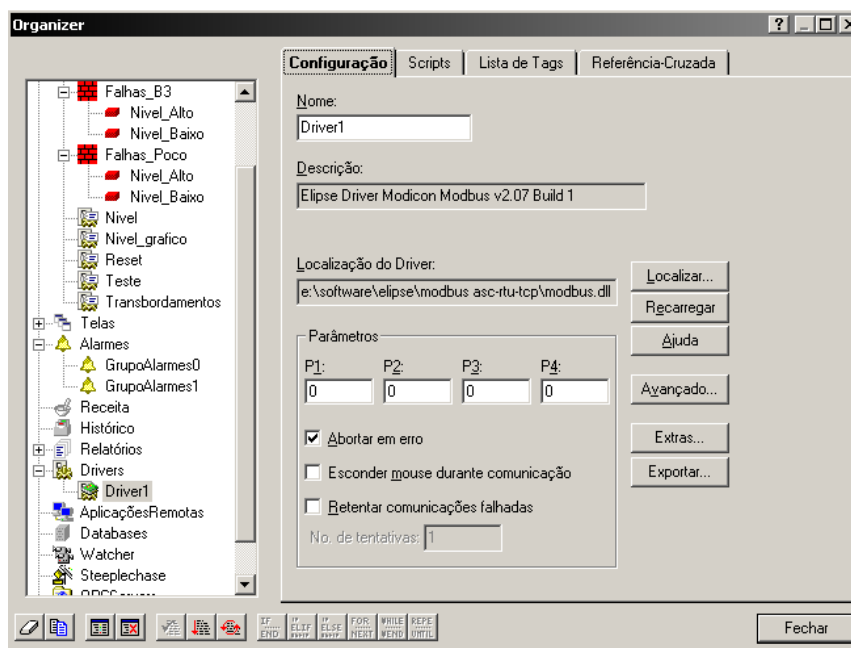


Figura 3.9 – Configuração para comunicação com protocolo Modbus.
Fonte: Autoria própria

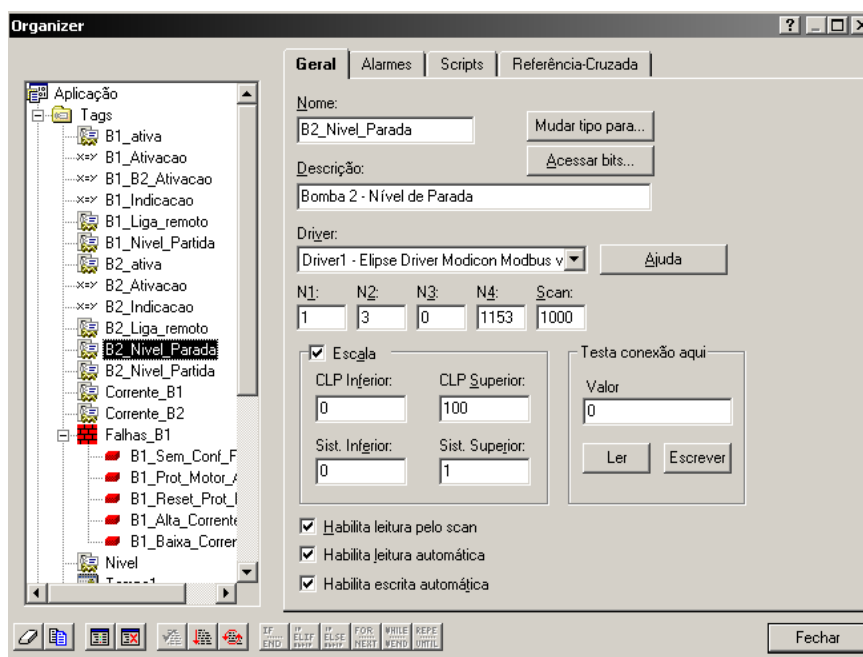


Figura 3.10 – Associação de *tag* com endereço de memória do controlador.
Fonte: Autoria própria

Após a criação das *tags*, estas são associadas aos pontos de indicação das telas. Na figura 4.11 é mostrada a associação da *tag* de valor de nível ao item de indicação deste valor em uma das telas.

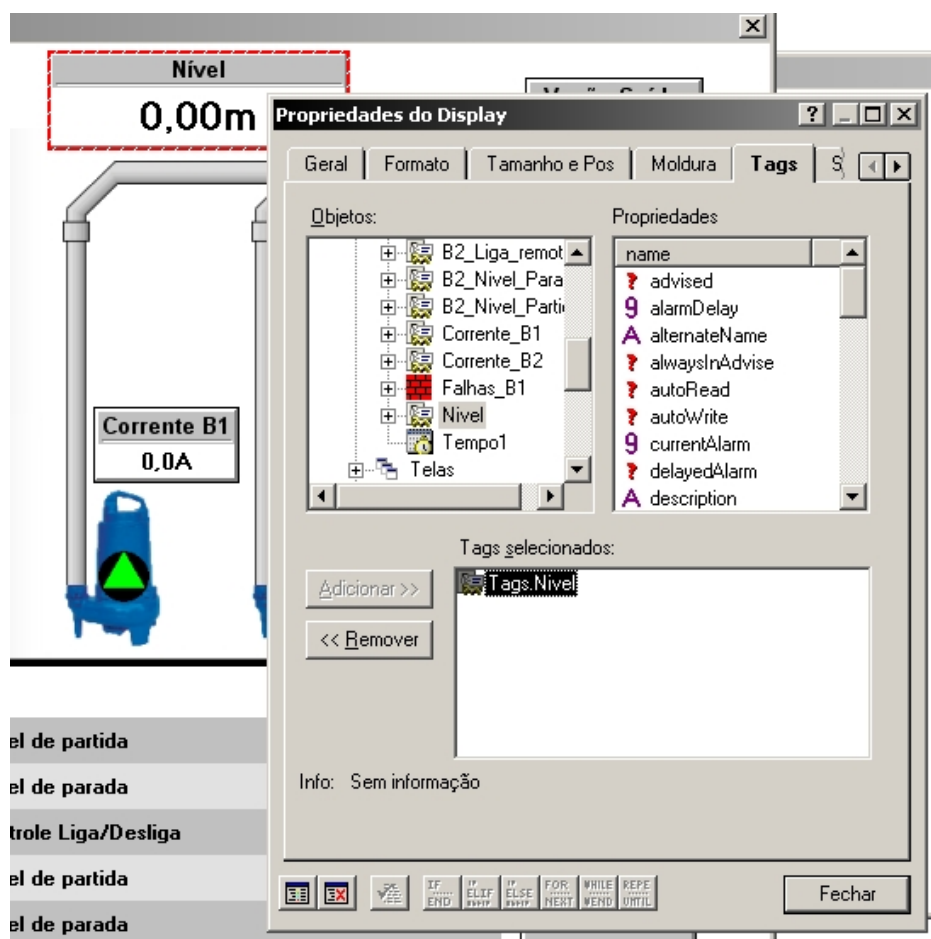


Figura 3.11 – Associação de *tag* com indicação de valor de nível de líquido.
Fonte: Autoria própria

As telas, com os botões e animações estão, então, prontas para as simulações. Primeiramente foi criada uma tela a qual mostra as bombas e as chaves de nível da estação, em analogia ao que é mostrado no *display* do controlador. Estão disponíveis as seguintes informações:

- Nível de líquido
- Vazão de entrada
- Vazão de saída
- Chave de nível de extravaso
- Chave de nível alto

- Chave de nível baixo
- Corrente da bomba 1
- Corrente da bomba 2
- Estado da bomba 1 (parada ou funcionando) com animação
- Estado da bomba 2 (parada ou funcionando) com animação
- Níveis de partida e parada para as bombas 1 e 2, com possibilidade de alteração destes parâmetros (escreve o novo valor no endereço de memória do controlador)
- Indicadores de funcionamento das bombas 1 e 2, com possibilidade de alteração deste estado (escreve o novo estado no *bit* de I/O correspondente do controlador)

A figura 4.12 apresenta a tela em funcionamento, comunicando com o controlador. No momento a bomba 2 estava em funcionamento e era alterado o nível de parada desta.

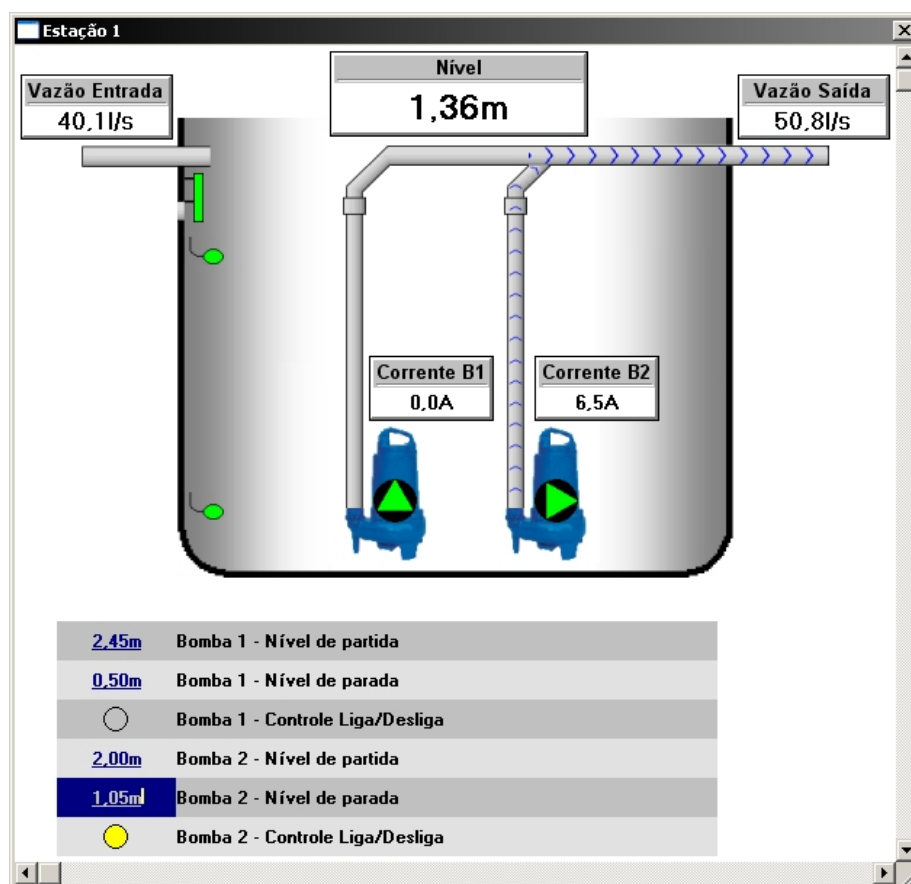


Figura 3.12 – Tela de funcionamento da estação.
Fonte: Autoria própria

Outra tela também criada foi a de alarmes, utilizando o módulo de alarmes do *software* Elipse. Quando ocorre alguma falha, o supervisor apresenta uma *popup* com a informação desta e que convida o usuário a ir até a tela de alarmes. As falhas as quais geram tais informações também são associadas a *tags* e estas a endereços de memória do controlador, da mesma forma como feito na tela anterior. A diferença é que os endereços do controlador são específicos para alarmes. Na figura 4.13 é apresentada uma *popup* de indicação de falha e ao fundo a tela de alarmes, já mostrando outros alarmes ocorridos.

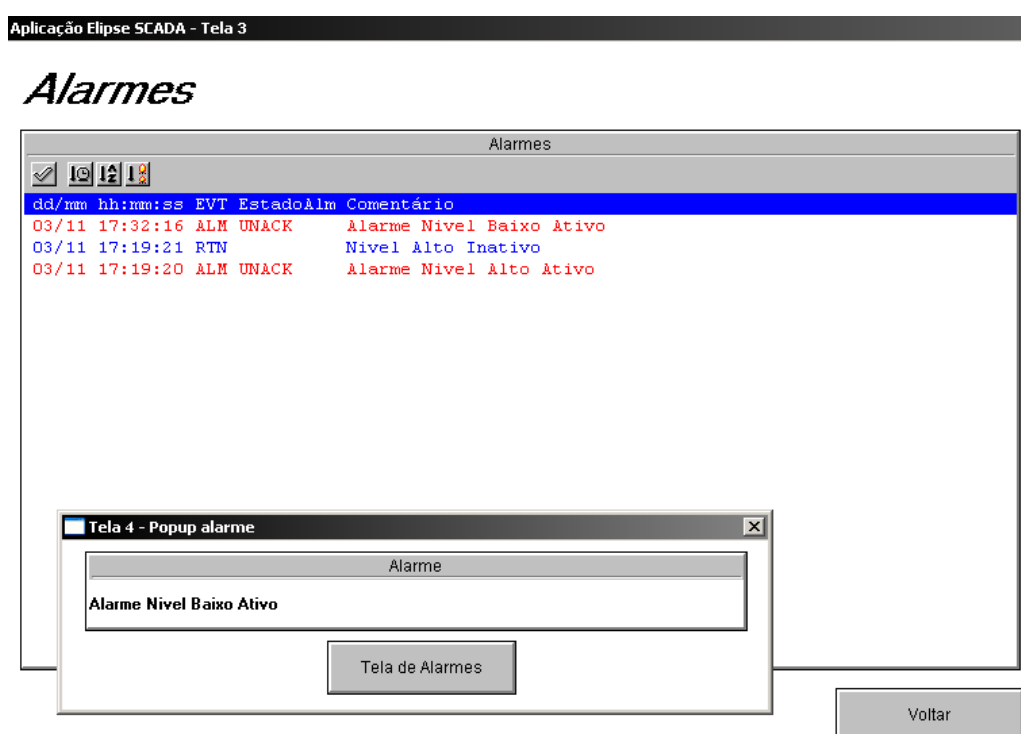


Figura 3.13 – Tela de alarmes.
Fonte: Autoria própria

As telas de operação e de alarmes são as principais em um sistema. Outras telas podem ser criadas para objetivos mais específicos – um gráfico de nível pode ser interessante para mostrar ao operador o perfil da contribuição do líquido ao longo de um período, como apresentado na figura 4.14. Este perfil pode também ajudar ao pessoal de manutenção a determinar a causa de problemas que venham a ocorrer na estação – por exemplo, uma bomba com níveis de partida e parada muito próximos revela um equipamento com número de partidas excessivo e prejudicial ao motor.

Da mesma forma, uma tela de eventos revela o perfil de funcionamento da estação quanto a frequência de partidas e paradas, falhas e alarmes ocorridos, dentre outros, que também auxiliam a manutenção e talvez até alterações na estação focando em melhorias e prolongamento da vida útil dos equipamentos.

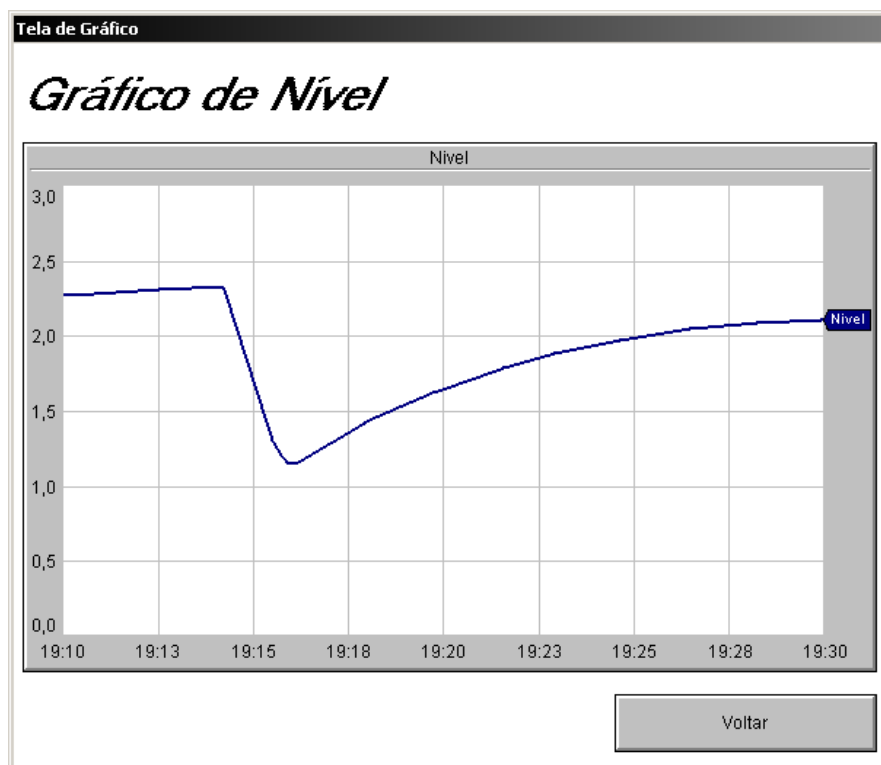


Figura 3.14 – Tela de gráfico de nível.
Fonte: Autoria própria

4 CONCLUSÕES

A preocupação acerca da preservação dos recursos naturais é fato, não apenas pelos apelos de campanhas de conscientização, mas também por força de legislação. Nesta linha é necessária a aplicação de soluções que apresentem a melhor relação custo-benefício e que garantam a confiabilidade do sistema de coleta de esgoto.

Um sistema simples e confiável de controle e monitoração das estações elevatórias que fazem parte do sistema de coleta e tratamento é altamente desejável e colabora para atendimento dos interesses quanto à preservação do ambiente e cumprimento de requisitos legais.

Os estudos de mercado, um dos objetivos, demonstraram principalmente a preocupação com a confiabilidade do sistema, apontando para equipamentos que permitam o domínio do meio. Com isso, sistemas utilizando tecnologia GPRS ainda não são apreciados, ao contrário de sistemas que utilizam rádios. Os primeiros possuem a vantagem de uma rede já disponível e pronta para uso, não necessitando de criteriosos estudos, pois estes já foram feitos pelas operadoras do sistema. Entretanto este é o grande ponto negativo visto pelas empresas de saneamento – o domínio do meio de transmissão não pertence a elas e sim a terceiros, o que compromete a confiabilidade e o sigilo das informações transmitidas.

Além dos estudos práticos realizados sobre as opções de tecnologia disponíveis e percepções de mercado, foi determinado tecnicamente o sistema de controle e monitoração das estações, atendendo a outro objetivo do trabalho proposto, com foco nos controladores dedicados a bombas. Este controlador foi escolhido para a proposta de implementação de um sistema protótipo, ao contrário do CLP. Em aplicações específicas, como é o caso de estações elevatórias, equipamentos genéricos utilizados na indústria podem ser utilizados, mas requerem toda a programação de recursos e módulos adicionais (como módulo de detecção de umidade) que já estão disponíveis nos controladores dedicados. A proposta do sistema se completou com a especificação dos requisitos dos equipamentos de transmissão e *softwares* necessários para o desenvolvimento do supervisor, dentre outros componentes. Foi apresentado um estudo entre dois fabricantes de rádios e notou-se grande diferença de valores e também de recursos disponíveis em cada

modelo. Entretanto, para a aplicação em questão, os recursos não são complexos e o rádio mais simples mostrou-se a escolha de maior relação custo-benefício.

Foi também apresentada uma montagem, atendendo aos requisitos das especificações, de um sistema de controle e monitoração com um controlador dedicado e um *software* supervisor os quais são encontrados no mercado e que podem ser facilmente inseridos na proposta. Infelizmente os rádios não foram utilizados como meio de transmissão, mas sim um cabo de comunicação serial. Entretanto eles não impediram a realização da montagem, uma vez que se comportam de maneira transparente para os equipamentos de controle e supervisão. Nesta montagem foram apresentadas as principais telas do sistema supervisor em funcionamento, com simulações de operação de uma estação elevatória.

Considerando a evolução da diminuição dos recursos naturais e, por consequência, da procura pela conservação do mesmo, é clara a viabilidade de sistemas como o proposto neste trabalho como meio de garantir a continuidade do funcionamento do sistema de coleta e tratamento de esgoto, pois utiliza tecnologias conhecidas, de fácil aquisição, de custo acessível e relativa simplicidade de implementação.

4.1 OPORTUNIDADE PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento do trabalho observou-se, em alguns casos, o apreço pela utilização de rádios operando em 400 MHz, que necessitam de licença para operação, ao contrário dos rádios operando em 900 MHz (com tecnologia *spread spectrum*). O custo para esta licença pode parecer uma desvantagem em seu uso. Entretanto, com a faixa licenciada na região, evita-se grande transtorno com interferências geradas por outros sistemas de comunicação que operam na mesma frequência, pois todos estão na “faixa livre”. Além disso, a frequência de 400 MHz, que é menos da metade da frequência de 900 MHz, apresenta comprimento de onda mais do que o dobro maior, o que facilita o contorno de obstáculos e diminui a influência do meio (árvores, prédios e outros).

Como proposta para trabalhos futuros, é sugerido um estudo comparativo da utilização das duas faixas de frequência quanto a funcionalidade e viabilidade de cada uma.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio. **Enciclopédia de automática: controle & automação, volume I.** São Paulo: Blucher, 2007.

_____. **Enciclopédia de automática: controle & automação, volume II.** São Paulo: Blucher, 2007.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 12208.** Rio de Janeiro, 1992.

BOARETTO, Neury. **Tecnologia de comunicação em sistema SCADA – enfoque em comunicação *wireless* com espalhamento espectral.** 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2005.

CARVALHO, Anésio Rodrigues de; OLIVEIRA, Mariá Vendramini Castrignano. **Princípios básicos de saneamento do meio.** São Paulo: Senac São Paulo, 2003

Esgotamento sanitário: operação e manutenção de estações elevatórias de esgotos. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Sigma, 2008. 48 p.

FILHO, José Omar Abdo. **Proposta de um sistema de telemetria para aplicação em processo industrial.** 2009. 49 f. Monografia (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2009.

GARDEN, Frank; JEDLICKA, Russell P.; HENRY, Robert. **Telemetry Systems Engineering.** Norwood, 2002.

GE Digital. **SD Series – catálogo.** Disponível em <<http://www.gedigitalenergy.com>>. Acesso em 27 out. 2012.

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada. Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com CLPs.** São Paulo: Érica, 2000.

HAYKIN, Simon; MOHER Michael. **Sistemas Modernos de Comunicação Wireless.** São Paulo: Bookman, 2008.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Atlas de saneamento 2011.** Rio de Janeiro, 2011.

Lacroix Sofrel web site. Disponível em <<http://www.sofrel.com/>>. Acesso em 05.dez.2012.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Sistemas de redes para controle e automação.** Guarulhos: Book Express, 2000.

PARK, John; MACKAY, Steve; WRIGHT, Edwing. **Practical Data Communications for Instrumentation and Control**. Burlington: Newnes, 2003

PIROTTI, Rodolfo Pedró; ZUCCOLOTTO, Marcos. **Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes GSM e GPRS**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v.10, n. 13, p. 81-89, jan./jun. 2009.

PRIMO, Francisco Caniçali. **Projeto elétrico do sistema de esgotamento sanitário de Muniz Freire**. 2009. 122 f. Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

Profibus web site. Disponível em <<http://www.profibus.com/technology/profibus/>>. Acesso em 19 out.2012.

Rockwell Software. **Getting results guide – RSView 32**. 2011.

SCHNEIDER ELECTRIC. **CLP para controle de processos e infraestrutura - Modicon Premium - TSX 57 – Sales Presentation**. Disponível em <<http://www.schneider-electric.com.br>>. Acesso em 26 out. 2012.

SICHER, Alan; HEATON, Randall. **GPRS Technology Overview**. White Paper, Dell, 2002.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da; SALVADOR, Marcelo. **O que são sistemas supervisórios?** Disponível em: <<http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/62>>. Acesso em 01 abr. 2012.

SILVEIRA, Jorge Luis da. **Comunicação de dados e sistemas de teleprocessamento**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 2002.

SPOLAOR, Antônio Sérgio. **Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.