

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO / MESTRADO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SUPERVISÃO COMPUTADORIZADA APLICADA
A UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

CARLOS ALBERTO COELHO BELCHIOR

Fortaleza, Maio de 2007

CARLOS ALBERTO COELHO BELCHIOR

**SUPERVISÃO COMPUTADORIZADA APLICADA
A UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Ricardo Silva Thé Pontes, Dr.

Fortaleza, Maio de 2007

CARLOS ALBERTO COÊLHO BELCHIOR

SUPERVISÃO COMPUTADORIZADA APLICADA
A UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Eletrônica de Potência e Conservação de Energia e aprovado em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Ceará.

Carlos Alberto Coêlho Belchior

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Silva Thé Pontes, Dr.
Presidente

Prof. Otacílio da Mota Almeida, Dr.

Prof. José Almeida do Nascimento, Dr.

Profa. Marisete Dantas Aquino, Dra.

Prof. Adrianus Cornelius Van Haandel, Ph.D

Fortaleza, Maio de 2007

*Aos meus pais, Osória Façanha Coêlho Belchior e
Alberto Leite Barbosa Belchior, pelo imensurável apoio,
pelo amor incondicional, pela formação que me deram,
pelo exemplo de vida a seguir, eu dedico este trabalho.*

A Berenice Façanha Coêlho (†), querida vovó Berê, pelo amor sem medidas, pela contagiante alegria de viver e por sempre ter me aconselhado em direção aos estudos, eu dedico este trabalho.

“Uma das grandes virtudes que o homem tem na vida é o seu conhecimento. Todos os bens materiais podem lhe ser arrancados, mas o conhecimento, este sim, ninguém tira”.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ricardo Silva Thé Pontes pela valiosa orientação, visão de engenharia e amizade. Este que, nos momentos de fraqueza se mostrou como um dos pilares para o meu retorno à engenharia dando-me o ânimo necessário para terminar a graduação e ingressar no mestrado. Se hoje eu digo que amo minha profissão, o professor Thé é um dos responsáveis por isso.

Aos meus pais Osória Façanha Coêlho Belchior e Alberto Leite Barbosa Belchior, pelo imensurável apoio, pelo amor incondicional, pela formação que me deram e pelas incontáveis vezes que leram o presente texto com a intenção de corrigir os erros por mim despercebidos.

Aos professores Otacílio da Mota Almeida, José Almeida do Nascimento, Marisete Dantas Aquino e Adrianus C. van Haandel por dedicarem parte de seu precioso tempo ajudando a aprimorar este trabalho através da leitura minuciosa e considerações relevantes e construtivas.

A todos os integrantes do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC, os quais auxiliaram na minha formação no programa de Mestrado, em especial aos professores Fernando Luiz Marcelo Antunes, José Carlos Teles Campos, Laurinda Lúcia N. dos Reis, Luiz Henrique Silva Colado Barreto e Ruth Pastora Saraiva Leão.

A todas as formações da equipe de trabalho, Oliver Nottingham, Rachel Studart, Alcidney Valério, Francisco Alexandre de Souza, Francisco Paiva, e Eurânio Aguiar, pois este trabalho não foi de uma pessoa só, mas sim de toda uma equipe. Agradeço, pela amizade, apoio, parceria e paciência.

Aos meus amigos do mestrado Tobias Fernandes, Halisson Alves, Eber de Castro, Lucas Maciel, Paulo Praça, Rômulo Nunes, Nélber Ximenes, Celso Schmidlin, Ádson Bezerra, Valdeci de Lima, pelo companheirismo e por todas as etapas que foram vencidas ao longo do curso de mestrado.

Aos meus amigos do GPAR Gabriel Lopes, Antonio Leydson, Otávio Viana, Eduardo Farias, Tiago Duarte, Luiz Daniel, Rômulo Thardelly, Salomão Gomes, pelo bom ambiente de trabalho, parceria e intensa troca de informações.

À FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que contribuiu com apoio financeiro necessário à realização desse trabalho e desenvolvimento científico.

RESUMO

Buscam-se de soluções de automação computadorizada de baixo custo que auxiliem estações compactas de tratamento de efluentes a adequar o efluente tratado aos requisitos legais, protegendo os corpos receptores contra lançamentos inadequados. Tem por objetivos específicos o desenvolvimento de um sistema de supervisão automática para pequenas estações de tratamento de águas residuais e a criação de uma base de dados histórica para apoio à tomada de decisão no que concerne a operação e manutenção do processo. Para alcançar tais objetivos, foi analisada uma configuração combinada, constituída pelo reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo, seguido do sistema de lodo ativado convencional. Tal sistema é utilizado para tratar os efluentes sanitários do Hospital Waldemar de Alcântara, situado no bairro de Messejana, em Fortaleza – CE. De modo geral, há poucos estudos sobre instrumentação eletrônica e automação aplicados a sistemas combinados desse tipo. Inicialmente são apresentados os conceitos básicos sobre o tratamento de efluentes, bem como descritas as partes componentes do sistema de tratamento, dando, assim, suporte para que estudos sobre automação sejam desenvolvidos. No decorrer do trabalho são apresentadas a descrição e a motivação para o uso de sensores no sistema de monitoramento automático de estações de tratamento, bem como da eletrônica necessária para sua implantação. Também é apresentada a descrição da arquitetura mestre-escravo usada no sistema, bem como do funcionamento de cada módulo que o compõe, abordando o desenvolvimento de *hardware* e *software* para cada um. Por fim, são analisados os resultados da experimentação de campo do sistema de monitoramento automático. A pesquisa resultou em um sistema computadorizado de monitoramento aplicado a situações reais em campo, possibilitando uma compreensão mais profunda a respeito do processo de tratamento de esgoto e de sua operação mediante o acesso a dados, seja em tempo real, seja acessando a base de dados formada.

Palavras-chave: Automação, Instrumentação Eletrônica, Microcontroladores, Sensores, Sistemas Ambientais, Tratamento de Efluentes.

ABSTRACT

This work focuses on the investigation of low costs computerized automation solutions to assist compact wastewater treatment plants, adjusting the treated effluent to the legal requirements, protecting the water's receptors against inadequate discharge. The objectives are the development of an automatic supervision system for small wastewater treatment plants and the creation of a historical database to support the decision making process concerning the process operation and maintenance. In this work, a combined configuration is analyzed, constituted of the up flow anaerobic sludge blanket reactor followed by conventional active sludge. Such system treats the effluents of the Hospital Waldemar de Alcântara, situated in the neighborhood of Messejana, in Fortaleza - CE. In general, few researches can be found on the electronics instrumentation and automation applied for combined systems like this one. Initially, the basic concepts on wastewater treatments are presented, as well as a description of parts that compose the system, therefore supporting the development of automation studies. After that, the description and the motivation for the use of the sensors in the automatic supervision system for small effluent treatment systems is presented, as well as the electronics necessary for its implementation. A description of the master-slave architecture used in the system is presented, as well as the functioning of each module that composes it, approaching the hardware and software development for each one. The research resulted in an applied system for real field situations, making possible a deeper understanding of the wastewater process and its operation through the data access, either in real time or by the access of the built database.

Keywords: Automation, Electronic Instrumentation, Microcontrollers, Sensors, Environmental Systems, Wastewater Treatment.

LISTA DE PUBLICAÇÕES

Os trabalhos realizados no âmbito desta dissertação deram origem às seguintes publicações:

BELCHIOR, C.A.C., PAIVA, F.V., CHAVES, A.V., PONTES, R.S.T. **Sistema de Monitoramento Automático para uma Estação de Tratamento de Efluentes**, VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, SIBESA. Setembro de 2006.

PAIVA, F.V.; PONTES, R.S.T.; BELCHIOR, C.A.C.; NOTTINGHAM, O. **Monitoramento e controle automático de uma estação de tratamento de efluentes**. In: II Seminário Nacional Sobre Tratamento e Pós-tratamento de Águas Residuárias. Setembro de 2004.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 –	Diagrama de blocos de um sistema completo de tratamento de efluente.....	10
Fig. 2.2 –	Diagrama de blocos do sistema de lagoa facultativa.....	13
Fig. 2.3 –	Diagrama de blocos do sistema de lagoa anaeróbia - lagoa facultativa.....	14
Fig. 2.4 –	Diagrama de blocos do sistema de lagoa aerada facultativa.....	14
Fig. 2.5 –	Diagrama de blocos do sistema de lagoa aerada de mistura completa - lagoa de decantação....	15
Fig. 2.6 –	Diagrama de blocos do sistema convencional de lodos ativados (fluxo contínuo).....	16
Fig. 2.7 –	Diagrama de blocos do sistema de lodos ativados com aeração prolongada (fluxo contínuo)...	16
Fig. 2.8 –	Diagrama de blocos do sistema de lodos ativados com fluxo intermitente.....	17
Fig. 2.9 –	Diagrama de blocos do sistema de filtro biológico de baixa carga.....	18
Fig. 2.10 –	Diagrama de blocos do sistema de filtro biológico de alta carga.....	18
Fig. 2.11 –	Diagrama de blocos do sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo....	19
Fig. 2.12 –	Diagrama de blocos do sistema de fossa séptica - filtro anaeróbio.....	19
Fig. 3.1 –	Diagrama representativo da estação de tratamento com seus principais constituintes.....	23
Fig. 3.2 –	Representação esquemática de um reator UASB e seus componentes internos.....	25
Fig. 3.3 –	Representação esquemática de um reator aeróbio de lodos ativados e seus componentes internos.....	27
Fig. 3.4 –	Localização dos instrumentos na planta de tratamento de esgoto.....	29
Fig. 3.5 –	(a) Encapsulamento e (b) diagrama de bloco do LM35.....	30
Fig. 3.6 –	Circuito condicionador de sinal do LM35.....	31
Fig. 3.7 –	Foto da placa de condicionamento de sinal do LM35.....	32
Fig. 3.8 –	Figura representativa de montagem do medidor de vazão na tubulação.....	34
Fig. 3.9 –	Circuito condicionador de sinal de 4 a 20mA.....	35
Fig. 3.10 –	Circuito de ajuste de <i>offset</i>	35
Fig. 3.11 –	Foto da placa de condicionamento de sinal de corrente em tensão.....	36
Fig. 3.12 –	Figura representativa de montagem do medidor de pH instalado.....	38
Fig. 3.13 –	Aplicação multiponto típica do padrão RS-485.....	39
Fig. 3.14 –	Exemplo de transmissão de bits por meio do barramento diferencial.....	40
Fig. 3.15 –	Comprimento do cabo <i>versus</i> taxa de transmissão de dados.....	40
Fig. 3.16 –	Circuito conversor de RS-232 para RS-485.....	42
Fig. 4.1 –	Diagrama representativo de uma arquitetura centralizada.....	45
Fig. 4.2 –	Diagrama esquemático da arquitetura hierárquica.....	46
Fig. 4.3 –	Mestre enviando um comando endereçado a apenas um escravo.....	47
Fig. 4.4 –	Diagrama de blocos da estrutura da mensagem.....	48
Fig. 4.5 –	Fluxograma de recebimento e validação de mensagem.....	50
Fig. 4.6 –	Diagrama esquemático do sistema mestre-escravo de aquisição de dados.....	50
Fig. 4.7 –	Diagrama de blocos do escravo.....	52
Fig. 4.8 –	Foto do escravo montado instalado em campo.....	52

Fig. 4.9 –	Fluxograma de recepção, interpretação e execução de uma <i>query</i>	53
Fig. 4.10 –	Fluxograma de execução da tarefa ‘Descarrega dados adquiridos’	54
Fig. 4.11 –	Estrutura dos eventos possíveis do mestre.....	55
Fig. 4.12 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Configurar barramento’	56
Fig. 4.13 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Parametrizar escravo’	57
Fig. 4.14 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Recuperar parametrização’	58
Fig. 4.15 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Capturar em tempo real’	59
Fig. 4.16 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Armazenar dados’	59
Fig. 4.17 –	Fluxograma descritivo do evento ‘Limpar memória do escravo’	60
Fig. 4.18 –	Tela principal do software mestre.....	60
Fig. 4.19 –	Tela de configuração do barramento de comunicação.....	61
Fig. 4.20 –	Tela de parametrização dos escravos.....	61
Fig. 4.21 –	Tela de captura em tempo real.....	63
Fig. 4.22 –	Tela de descarga e armazenamento de dados.....	64
Fig. 4.23 –	Tela de visualização dos dados armazenados no banco de dados.....	65
Fig. 5.1 –	Estação de tratamento do Hospital Geral Waldemar de Alcântara.....	67
Fig. 5.2 –	Planta baixa da estação de tratamento de esgoto do HGWA.....	68
Fig. 5.3 –	Média móvel da vazão instantânea com janela de uma hora relativo ao dia 01 de março de 2007, de 15h10min a 17h10min (fig. 7.4).....	70
Fig. 5.4 –	Valor instantâneo da vazão relativo ao dia 01 de março de 2007, de 15h10min a 17h10min....	70
Fig. 5.5 –	Média móvel da vazão instantânea com janela de uma hora relativa ao dia 09 de dezembro de 2006, de 15h10min a 17h10min (fig. 7.6).....	71
Fig. 5.6 –	Valor instantâneo da vazão relativo ao dia 09 de dezembro de 2006, de 15h10min a 17h10min.....	72
Fig. 5.7 –	Valor instantâneo da vazão do dia 28 de fevereiro de 2007.....	73
Fig. 5.8 –	Valor instantâneo da temperatura interna do reator UASB entre os dias 09 e 12 de dezembro de 2006.....	74
Fig. 5.9 –	Média móvel da temperatura interna do UASB entre os dias 09 e 12 de dezembro de 2006.....	74
Fig. 5.10 –	Valor instantâneo do pH interno do reator UASB do dia 02 de março de 2007.....	75
Fig. 5.11 –	Média móvel do pH interno do reator UASB do dia 02 de março de 2007.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 –	Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos.....	12
Tabela 5.1 –	Parâmetros de projeto da estação de tratamento de efluente do HGWA.....	68
Tabela 5.2 –	Lista dos canais usados no sistema automático de monitoramento.....	69

LISTA DE SIGLAS

UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente em Manta de Lodo
BF	Reator de Bio-Filtro
GPAP	Grupo de Pesquisa em Automação e Robótica
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HGWA	Hospital Geral Waldemar de Alcântara
pH	Potencial Hidrogenônico
OD	Oxigênio Dissolvido
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
COT	Carbono Orgânico Total
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
A/D	Conversor analógico-digital
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
f.e.m.	Força eletromotriz
CPVC	Cloreto de Polivinila Clorado
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
TIA	<i>Telecommunication Industry Association</i>
Tx	<i>Transmitted Data</i>
Rx	<i>Receive Data</i>
RTS	<i>Request To Send</i>
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
PLL	<i>Phase Locked Loop</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
LWI	<i>Long Word Instruction</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface Bus</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit Bus</i>
E/S	Entradas e Saídas
PWM	<i>Pulse-width modulation</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ADO	<i>ActiveX Data Objects</i>
ODBC	<i>Open Data Base Connectivity</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>

LCR	<i>Longitudinal Redundancy Check</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
SST	Sólidos Suspensos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tratamento de efluentes.....	01
1.2 Revisão bibliográfica.....	03
1.3 Justificativa.....	03
1.4 Objetivos.....	04
1.5 Organização do texto.....	04

2. NOÇÕES ACERCA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

2.1 Introdução.....	06
2.2 Características das impurezas.....	06
2.3 Parâmetros de qualidade da água.....	07
2.3.1 Parâmetros físicos.....	07
2.3.2 Parâmetros químicos.....	07
2.3.3 Parâmetros biológicos.....	09
2.4 Requisitos de qualidade do efluente.....	09
2.4.1 Objetivos do tratamento.....	09
2.4.2 Estudos de impacto ambiental do corpo receptor.....	09
2.4.3 Etapas do tratamento de efluentes.....	10
2.5 Classificação dos métodos de tratamento.....	11
2.6 Principais sistemas de tratamento secundário.....	13
2.6.1 Lagoas de estabilização.....	13
2.6.2 Lodos ativados.....	15
2.6.3 Sistemas aeróbios com biofilme.....	17
2.6.4 Sistemas anaeróbios.....	18
2.7 Tendências do tratamento de esgotos.....	19
2.8 Algumas considerações.....	21

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução.....	22
3.2 Sistema de tratamento de esgoto com reator UASB+LA.....	22
3.2.1 Tratamento preliminar e estação elevatória.....	23

3.2.2 Caixa repartidora de vazão.....	24
3.2.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente em Manta de Lodo.....	24
3.2.4 Reator de Lodo Ativado.....	26
3.2.5 Poço de lodo.....	28
3.2.6 Unidade de desinfecção.....	28
3.3 Instrumentação eletrônica.....	29
3.3.1 Sensor de temperatura.....	29
3.3.2 Sensor de vazão de esgoto.....	32
3.3.3 Sensor de potencial hidrogenônico (pH).....	36
3.4 Bomba submersa.....	38
3.5 Meio físico de comunicação.....	38
3.5.1 Modo de operação RS-485.....	40
3.5.2 Conversor RS-232 para RS-485.....	41
3.6 Engenharia da instalação dos equipamentos em campo.....	42
3.6.1 Temperatura ambiente.....	42
3.6.2 Corrosão.....	42
3.6.3 Infiltração.....	43
3.7 Algumas considerações.....	43

4. ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO

4.1 Introdução.....	44
4.2 Arquitetura do sistema.....	44
4.2.1 Arquitetura centralizada.....	45
4.2.2 Arquitetura hierárquica.....	45
4.3 Protocolo de comunicação de dados.....	46
4.3.1 Fluxo de dados.....	47
4.3.2 Estrutura da mensagem.....	47
4.3.3 Recebimento e validação da mensagem.....	49
4.4 Sistema Mestre-Escravo.....	50
4.4.1 Módulo escravo.....	51
4.4.2 Módulo mestre.....	55
4.5 Interface homem-máquina do sistema.....	60
4.6 Algumas Considerações.....	65

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1 Introdução.....	67
5.2 Estação de tratamento de efluentes do Hospital Geral Waldemar de Alcântara.....	67
5.3 Medições em campo.....	69
5.3.1 Vazão de entrada de esgoto.....	69
5.3.2 Temperatura.....	73
5.3.3 Potencial hidrogenônico (pH).....	75
5.4 Algumas Considerações.....	76

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões.....	77
6.2 Trabalhos Futuros.....	77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
---------------------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	82
-------------------	----

APÊNDICE A.....	84
-----------------	----

APÊNDICE B.....	89
-----------------	----

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Das riquezas que o Brasil possui, a água é um dos bens naturais mais valiosos. O desenvolvimento acelerado, principalmente nos grandes complexos urbanos e industriais, leva a um quadro de degradação dos mananciais disponíveis para abastecimento público e para outros usos. Isto acontece porque uma parcela significativa das águas, depois de utilizadas para o abastecimento público ou nos processos industriais, retorna poluída para os cursos d'água. A verdade é que a água está se transformando em um recurso escasso, que constitui fator limitante para o desenvolvimento humano e a melhoria da qualidade de vida de todos os povos.

Nas últimas décadas, a preocupação do homem com a qualidade das águas de superfície disponíveis para os mais variados usos levou à implantação de normas mais restritivas para o lançamento de efluentes líquidos nos corpos receptores, tais como rios, lagoas e açudes. O lançamento de esgoto sanitário sem tratamento ou parcialmente tratado no rio Cocó é um exemplo desse problema atualmente enfrentado pelo Município de Fortaleza – CE, Brasil.

Processos de depuração de esgotos ditos simplificados ou naturais, tais como a lagoa de estabilização, são consideradas como uma das técnicas mais simples de tratamento de esgoto. Essas unidades possuem, no entanto, problemas de integração e aceite por parte da população, causados pela falta de espaço e de problemas olfativos e visuais, além de suprimir da população áreas essenciais para uso coletivo (BASTOS, 2002).

Desta forma, requisitos como compacidade, confiabilidade, baixo consumo energético e impacto ambiental reduzido ganham em importância em projetos de novas unidades de tratamento. Assim, a opção por sistemas descentralizados, que objetivam o reúso de seu efluente e que possibilitam a implantação de unidades dentro do perímetro urbano, pode reduzir gastos desnecessários com infra-estrutura e energia para transporte do esgoto através de longas distâncias, além de poupar água de boa qualidade para fins não nobres (BASTOS, 2002).

A colocação de um operador especializado em tempo integral é dificultada, pois as estações de tratamento de esgoto que compõem um sistema descentralizado possuem orçamento reduzido pelo fato de atenderem individualmente a pequenas populações. Além disso, dada a natureza geograficamente dispersa das estações, a visita periódica de tal operador pode acarretar um comprometimento dos custos. Em resumo, a operação e a manutenção de sistemas

compactos são fortemente condicionadas por fatores de caráter econômico que restringem os recursos disponíveis, fazendo com que tais sistemas estejam mais sujeitos a sofrer violações dos limites de qualidade em virtude da operação inadequada (LANDECK, 2002).

A automação do sistema deve tornar possível a detecção de distúrbios, o cálculo de variáveis não observáveis a partir de medidas primárias, a detecção e correção de falhas no processo ou em equipamentos, garantindo a qualidade do tratamento. Uma vez alcançados tais objetivos, será possível diminuir a necessidade da presença permanente de um operador especializado no comando dos sistemas de tratamento de esgotos.

A vigilância constante e ininterrupta dos sistemas de tratamento de esgoto e de seus efluentes mediante um sistema de aquisição automática de dados possibilita minimizar o lançamento indesejável de cargas poluidoras no meio ambiente; criar e gerenciar alarmes indicadores de pontos críticos do processo; dar suporte à geração de relatórios *on-line* da situação atual do lançamento de efluentes, tanto para quem opera quanto para quem fiscaliza. Assim, esta pesquisa visa impulsionar a mudança do atual paradigma de operação e controle de tais sistemas, trazendo confiabilidade na qualidade dos efluentes. As soluções encontradas nesta investigação certamente poderão ser aplicadas, além do tratamento de águas e esgoto, no reaproveitamento de água em processos industriais e no acompanhamento da degradação ambiental de foz de rios, áreas de mangues, lagoas e açudes.

Os trabalhos que conduziram à presente dissertação foram iniciados em 2004, no Grupo de Pesquisa em Automação e Robótica (GPAR), do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. A oportunidade surgiu com o estabelecimento de uma colaboração entre o GPAR e a empresa Sanebrás Engenharia e Meio Ambiente, com o apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Esta colaboração permitiu a partilha de conhecimentos e o acesso à estação de tratamento necessária ao desenvolvimento e implantação de um sistema com as características propostas.

O fruto desta colaboração materializou-se na instalação de um protótipo do sistema automático de monitoramento na estação de tratamento do Hospital Geral Waldemar de Alcântara (HGWA), no bairro de Messejana, em Fortaleza – CE. Uma aplicação em um sistema real direciona as opções de desenvolvimento em termos das características próprias das unidades e das tecnologias a serem empregadas. É firme, no entanto, a convicção de que um trabalho desta natureza só pode avançar e ser validado nestas condições, isto é, o trabalho deve ter, necessariamente, aplicações reais em campo para sua total experimentação.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas intensivas sobre novos tipos de sensores, atuadores e sistemas de monitoramento e controle são realizadas, visando à inserção da automação computadorizada nos processos de tratamento de esgoto. A partir dos trabalhos de (HAMILTON et. al., 2006) e (HÄCK & WIESE, 2006), porém, foi comprovado que ainda hoje há lacunas nas áreas de instrumentação e controle aplicados a sistemas reais de tratamento de efluentes sanitários, bem como efluentes industriais.

Diversos centros de pesquisa do Brasil e do mundo apresentam trabalhos nesta linha servindo de referência e de ponto de partida para o desenvolvimento do presente trabalho, tais como: Universidad de Pamplona, Colombia, com o projeto “Design of Process Control and Monitoring of an Anaerobic Biological Reactor in University of Pamplona, Colombia” (GARCIA & MALDONADO, 2004); Universidade Federal do Espírito Santo, com o projeto “Monitoramento via internet de uma estação de tratamento de esgoto sanitário tipo UASB+BF” (MUNARO et. al., 2003); Universidade de Coimbra, Portugal, com o projeto “Monitorização e Controlo Remoto de Pequenos Sistemas de Tratamento de Águas Residuais” (LANDECK, 2002); Universidade Federal de Minas Gerais, com o projeto “Sistema de Tratamento de Esgotos por Processos Anaeróbios e Aeróbios: Modelagem Matemática, Instrumentação e Controle do Processo” (BRAGA, 2000).

1.3 JUSTIFICATIVA

Nesta dissertação analisa-se uma configuração combinada, constituída pelo reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo, seguido do sistema de lodo ativado convencional. De modo geral, há poucos estudos sobre instrumentação eletrônica e automação computadorizada aplicados a sistemas combinados desse tipo. Segundo Braga (2000), provavelmente, isto está relacionado ao fato de que reatores anaeróbios demandam temperatura mais elevada, o que dificulta sua utilização em vários países desenvolvidos, os quais possuem temperaturas ambientais baixas na maior parte do ano, exigindo consumo elevado de energia para o aquecimento dos reatores, possivelmente tornando a aplicação inviável economicamente.

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo buscar soluções de automação computadorizada de baixo custo que auxiliem estações de tratamento de efluentes a adequar o efluente tratado aos requisitos legais, protegendo os corpos d'água receptores contra lançamentos inadequados. Os

objetivos específicos são: desenvolver um sistema de monitoramento automático para pequenas estações de tratamento de águas residuais que apresente funcionalidade e facilidade de expansão; criar uma base de dados histórica para apoio à tomada de decisão no que diz respeito a operação e manutenção do processo; disponibilizar o acesso a dados, possibilitando uma compreensão mais profunda do tratamento de esgoto sanitário e de sua operação.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Além da presente introdução, o texto está dividido em seis outros capítulos inclusive as conclusões do trabalho e dois apêndices, os quais são descritos a seguir.

No capítulo dois, apresenta-se uma descrição sucinta de conceitos fundamentais envolvidos no tratamento de esgoto sanitário. Comenta-se sobre os parâmetros e requisitos de qualidade das águas, discorre-se sobre a classificação dos métodos de tratamento e listam-se os principais sistemas de tratamento secundário utilizados no Brasil. Com base no princípio de que, para automatizar qualquer processo, deve-se entendê-lo o máximo possível, compreendendo sua configuração, funcionamento e operação, é descrito também o sistema de tratamento de esgoto a ser automatizado. Tal sistema é composto por uma configuração combinada constituída pelo reator anaeróbico de fluxo ascendente em manta de lodo (UASB) seguido de um processo de lodo ativado, com recirculação de lodo. Por último, discorre-se sobre as tendências atuais do tratamento de esgotos no Brasil e no mundo, formando, assim, a base necessária para o projeto e a implantação de um sistema de monitoramento automático adaptado ao processo.

No capítulo três, trata-se da descrição e da motivação para o uso de sensores no sistema de monitoramento automático de estações de tratamento, bem como do condicionamento de seus sinais e da disposição e instalação desses equipamentos ao longo da planta, assim como de toda a eletrônica usada no projeto.

No capítulo quatro, o objetivo é detalhar a descrição da arquitetura mestre/escravo usada no sistema, justificando as opções tomadas em face das limitações tecnológicas e das características da aplicação. Nesse capítulo, cuida-se também do funcionamento de cada módulo que compõe o sistema mestre-escravo, abordando o desenvolvimento de *hardware* e *software* para cada um. Para o módulo escravo, é detalhada a construção da placa de aquisição de dados analógicos usada no sistema. Além disso, são descritas as principais funções de programação. Detalham-se, também, os princípios de funcionamento do mestre, a interface homem-máquina, assim como seus recursos de configuração e de adaptação aos escravos.

No capítulo cinco, os resultados experimentais são descritos, bem como destes é

realizada uma análise qualitativa.

Em seguida as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas, constituindo o capítulo sexto.

No Apêndice ‘A’, apresenta-se um glossário de termos relacionados ao tratamento de esgoto, de forma a facilitar o entendimento do segundo capítulo do presente texto. No Apêndice ‘B’, são apresentadas as partes principais do código-fonte do mestre e do escravo, escrito em Delphi e em C ANSI, respectivamente.

Capítulo 2

NOÇÕES ACERCA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

2.1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo, baseado em Sperling (1995) e Haandel & Marais (1999), trata dos diversos conceitos necessários à compreensão dos termos relativos à área de tratamento de esgotos que serão abordados ao longo deste ensaio. Serão descritos os principais requisitos e parâmetros de qualidade da água, assim como os processos e sistemas de tratamento de esgoto. Em seguida, apresentam-se as tendências do Brasil e do mundo na área de tratamento de esgoto. Segundo Sperling (1995), o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H_2O . Isto porque a água, em virtude das suas propriedades de solvente e de sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem sua qualidade.

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS IMPUREZAS

Os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados com arrimo em suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. As principais características da água podem ser expressas como:

- características físicas – as impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes podem ser em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho;
- características químicas – as características químicas das impurezas da água podem ser interpretadas por meio de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica; e
- características biológicas – os organismos presentes na água pertencem aos reinos animal, vegetal e protistas (seres microscópios como as bactérias e as algas). Tais organismos podem estar vivos ou mortos.

2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os esgotos domésticos contêm 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos. Portanto, em razão dessa porcentagem de 0,1% é que há necessidade de se tratar os esgotos (BASTOS, 2002). A qualidade da água residuária pode ser representada por diversos parâmetros, que traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. Os itens seguintes descrevem alguns dos principais parâmetros, de forma sucinta, apresentando seu conceito, importância sanitária e utilização. Todos esses parâmetros são de determinação rotineira em laboratórios de análise de água (SPERLING, 1995).

2.3.1 PARÂMETROS FÍSICOS

- **Turbidez:** a turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, a esta conferindo uma aparência turva. É causada por sólidos em suspensão presentes no líquido. Quando originada naturalmente, não traz inconvenientes sanitários diretos, porém os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microorganismos patogênicos, diminuindo a eficácia da desinfecção. Esse parâmetro pode estar associado a compostos tóxicos e organismos patogênicos. Em corpos d'água, pode reduzir a penetração de luz, prejudicando a fotossíntese de plantas e algas. Sua utilização mais frequente ocorre na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas e no controle da operação das estações de tratamento de água.
- **Temperatura:** é a medição da intensidade de calor. Elevações da temperatura aumentam a taxa das reações químicas e biológicas na faixa corriqueira de temperatura do esgoto, bem como diminuem a solubilidade dos gases, por exemplo, o oxigênio dissolvido. Além disso, elevações da temperatura aumentam a taxa de transferência de gases, o que pode originar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis. Sua utilização mais frequente se dá na caracterização de corpos d'água e de águas residuárias brutas.

2.3.2 PARÂMETROS QUÍMICOS

- **pH:** potencial hidrogenônico. Representa a concentração de íon hidrogênio H^+ em escala anti-logarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14. Os principais fatores que influenciam o pH e suas variações na água são as proporções de espécies carbonadas, a presença de ácidos dissociáveis, constituição do solo, decomposição da matéria orgânica, esgoto sanitário,

efluentes industriais e solubilização dos gases da atmosfera. Vários vegetais e animais são responsáveis por processos como a fotossíntese e a respiração, que aumentam ou diminuem o pH das águas. O emprego mais freqüente deste parâmetro ocorre na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas, na caracterização de águas residuária brutas e corpos d'água, bem como no controle da operação de estações de tratamento de água e esgoto.

- **Oxigênio dissolvido (OD):** é de essencial importância para os organismos aeróbios. Muitas das mortandades de peixes não são causadas diretamente pela presença de compostos tóxicos, e sim pela deficiência de oxigênio resultante da excessiva degradação biológica de matéria orgânica. Assim, o oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. A atmosfera, que contém aproximadamente 21% de oxigênio, é a principal fonte de reoxigenação de corpos d'água, por meio da difusão do gás na interface água/ar. O oxigênio também pode ser introduzido pela ação fotossintética das algas. A maior parte do gás oriundo dessa última fonte, no entanto, é consumida durante a respiração, além da própria degradação de sua biomassa morta. Este parâmetro é usado na caracterização de corpos d'água e no controle operacional de estações de tratamento de esgotos.
- **Matéria orgânica:** a matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é característica importante, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas – o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Em termo prático, ordinariamente, não há necessidade de se caracterizar a matéria orgânica em termos de proteínas, gorduras, carboidratos etc. Além disso, há certa dificuldade na determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias em face da grande variedade de formas e compostos em que esta pode se apresentar. Com efeito, é comum a utilização de métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica, ou do seu potencial poluidor. Nesta linha, há três principais métodos de medição: a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) e o carbono orgânico total (COT).

2.3.3 PARÂMETROS BIOLÓGICOS

Os microorganismos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos. Outro aspecto de grande relevância em termo da qualidade biológica da água é o relativo à

possibilidade da transmissão de doenças. A determinação da potencialidade de uma água de transmitir doenças pode ser efetuada de forma indireta, por intermédio dos organismos indicadores de contaminação fecal.

2.4 REQUISITOS DE QUALIDADE DO EFLUENTE

Em estudos ou projetos, deve-se definir com clareza qual o objetivo do tratamento de esgoto, e a que nível o mesmo deve ser processado. Para tanto, os seguintes aspectos devem ser bem caracterizados:

- objetivos do tratamento;
- estudos de impacto ambiental do corpo receptor; e
- nível do tratamento.

2.4.1 OBJETIVOS DO TRATAMENTO

Além dos requisitos de qualidade, que traduzem de forma generalizada e conceitual a qualidade desejada para a água, há a necessidade de se estabelecer padrões de qualidade, os quais devem ser cumpridos por força da legislação. Tanto a qualidade desejável quanto os padrões são definidos com base no uso previsto da água.

No território brasileiro, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005, estabelece tais padrões de qualidade de corpos receptores, bem como de lançamentos de efluentes. As águas residuais, após tratamento, devem atender aos limites máximos e mínimos estabelecidos pela referida Resolução, e os corpos d'água receptores não devem ter sua qualidade alterada.

2.4.2 ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DO CORPO RECEPTOR

Segundo a Resolução nº. 001/86 do CONAMA, impacto ambiental é definido como a alteração das propriedades físico-químicas e biológicas do meio ambiente, alteração esta provocada direta ou indiretamente por atividades humanas, as quais afetam saúde, segurança, bem-estar da população, atividades socioeconômicas, biota, condições estéticas e sanitárias do meio e qualidade dos recursos naturais.

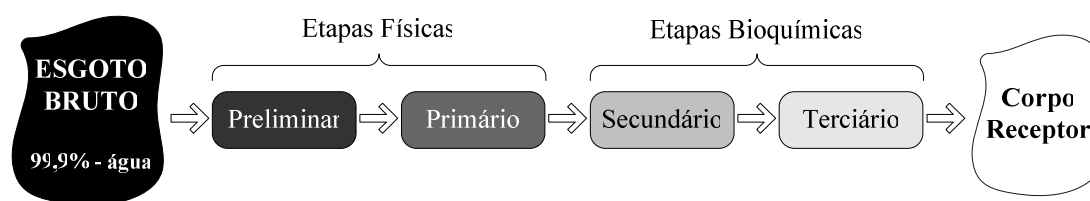
No caso dos corpos d'água receptores, o decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido é um dos principais indícios de poluição. A introdução de matéria orgânica em um corpo d'água receptor resulta, indiretamente, no consumo de oxigênio dissolvido. Tal se deve

aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração.

A importância da compreensão do fenômeno do consumo do oxigênio dissolvido, após o lançamento de esgotos no contexto da área de tratamento de esgotos, relaciona-se à determinação da qualidade permitida para o efluente a ser lançado, incluindo o nível de tratamento necessário e a eficiência a ser atingida na redução da DBO.

2.4.3 ETAPAS DO TRATAMENTO DE EFLUENTES

A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar à qualidade pretendida do efluente a ser lançado ao padrão de qualidade vigente, está associada aos conceitos de etapas e eficiência do tratamento. A figura 2.1 mostra uma visão geral de um sistema completo de tratamento de esgoto.



Adaptado de: Bastos, 2002.

Figura 2.1 – Diagrama de blocos de um sistema completo de tratamento de efluente.

Na primeira etapa de tratamento, designada por tratamento preliminar ou pré-tratamento, o esgoto é sujeito aos processos de separação dos sólidos mais grosseiros. Nesta fase, o esgoto é preparado para as fases de tratamento subseqüentes. Após a etapa de tratamento preliminar, apesar de o esgoto apresentar aspecto mais razoável, suas características poluidoras continuam praticamente inalteradas.

Na segunda etapa de tratamento, designada por tratamento primário, a matéria poluente é separada da água por sedimentação nos decantadores primários. Como mostrado na figura 2.1, predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes tanto na etapa preliminar como na primária. Após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída por colóides, não sendo por isso passível de ser removida por processos exclusivamente físico-químicos.

Na terceira etapa de tratamento, designada por tratamento secundário, dá-se início a um processo biológico no qual a matéria orgânica (poluente) coloidal é consumida por microorganismos. O esgoto saído processo biológico contém grande quantidade de microorganismos,

sendo muito reduzida a matéria orgânica remanescente. Os microorganismos passam posteriormente por processo de sedimentação nos designados decantadores secundários. Terminado o tratamento secundário, as águas residuárias tratadas apresentam reduzido nível de poluição por matéria orgânica, podendo, na maioria dos casos, ser admitidas no meio ambiente receptor.

Em outros casos, porém, antes do lançamento final no corpo receptor, pode ser necessário proceder à desinfecção das águas residuais tratadas para a remoção dos organismos patogênicos ou, em casos especiais, à remoção de determinados nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, que podem potencializar, isoladamente ou em conjunto, a eutrofização das águas receptoras. O tratamento terciário ainda é bastante raro no Brasil, mas se torna uma necessidade diante da Resolução nº. 357 (HAANDEL & MARAIS, 1999).

2.5 CLASSIFICAÇÕES DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

Os métodos de tratamento dividem-se em operações e processos unitários, e a integração destes compõem os sistemas de tratamento. Os conceitos de operação e processo são por vezes utilizados de forma mesclada, pois estes podem ocorrer simultaneamente numa mesma unidade de tratamento. De forma geral Metcalf & Eddy (1991) definem os processos da seguinte forma:

- físicos – tais processos atuam com uma mudança física nas propriedades dos contaminantes, ao passo que a natureza química dos componentes não é afetada. Os processos deste tipo, normalmente empregados em tratamento de esgotos industriais, são separação por gravidade, flotação, evaporação, filtração, adsorção em carvão ativado, extração líquido/líquido;
- químicos – manipulam as propriedades químicas dos contaminantes para facilitar a remoção dos poluentes ou a decomposição dos componentes orgânicos do esgoto bruto. Os tratamentos químicos mais frequentemente empregados no tratamento de esgotos industriais são precipitação química e coagulação, recuperação eletrolítica, troca de íons, oxidação química e redução; e
- biológicos – utilizam mecanismos biológicos e bioquímicos para produzir mudança química nas propriedades dos contaminantes. As propriedades químicas são alteradas pela ação de grande variedade de microorganismos que decompõem os componentes do esgoto a ser tratado. A decomposição ou metabolismo dos componentes orgânicos

produz mais biomassa, bem como mais energia, necessária para manter os microorganismos vivos.

Dependendo do processo a ser utilizado, vários mecanismos podem atuar separada ou simultaneamente na remoção de poluentes. Os principais mecanismos são apresentados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos.

<i>Poluentes</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Principais mecanismos de remoção</i>	
Sólidos	Maiores que ~1 cm	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre barras
	Maiores que ~0,001mm	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
	Menores que ~0,001 mm	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
Matéria orgânica	Maiores que ~0,001 mm	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior a do esgoto
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Estabilização	Utilização como alimento pelas bactérias, com conversão a gases, água e outros componentes inertes
	Menores que ~0,001 mm	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Estabilização	Utilização como alimento pelas bactérias, com conversão a gases, água e outros componentes inertes
Organismos transmissores de doenças		Radiação ultra-violeta	Radiação ao sol ou artificial
		Condições ambientais adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição com outras espécies, tempo.
		Desinfecção	Adição de algum agente desinfetante, como o cloro e o ozônio.

Fonte: Guimarães & Nour, 2001.

2.6 PRINCIPAIS SISTEMAS DE TRATAMENTO SECUNDÁRIO

A tecnologia de tratamento de esgotos possui vários outros importantes processos de tratamento secundário, porém apenas os sistemas mais freqüentes no Brasil serão apresentados.

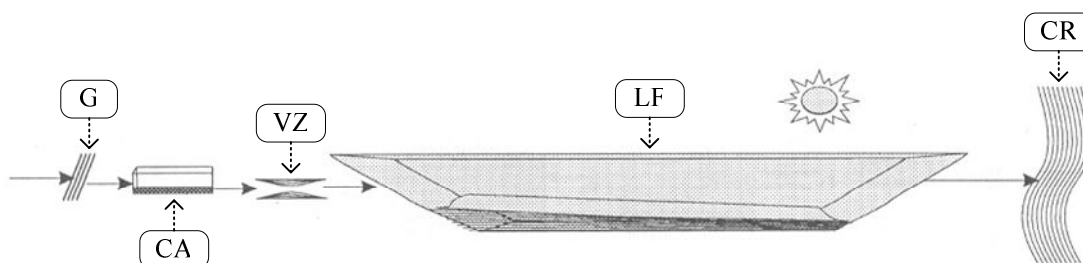
2.6.1 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização constituem grandes tanques escavados no solo, nos quais os esgotos fluem continuamente e são tratados por processos naturais mediante a decomposição da matéria orgânica pelas bactérias que habitam as lagoas. Conforme o processo biológico que nelas ocorre, as lagoas são classificadas como se segue.

2.6.1.1 Lagoa facultativa

O fluxograma do sistema de lagoa facultativa é apresentado na figura 2.2. Antes de ser introduzido na lagoa, o esgoto bruto passa por uma unidade de tratamento preliminar, composta por uma caixa de grades (G), e uma caixa de areia (CA) com o objetivo de remover sólidos grosseiros e inertes (não biodegradáveis). Em seguida, passa por um medidor de vazão (VZ). Nota-se que todos os sistemas de tratamento secundário apresentados nesta seção possuirão esta unidade de tratamento preliminar, seguida por um medidor de vazão, e estarão indicadas em seus respectivos fluxogramas.

Na lagoa facultativa (LF), a DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, mediante a fotossíntese. Depois de passar pela lagoa, o efluente é jogado no corpo receptor (CR).

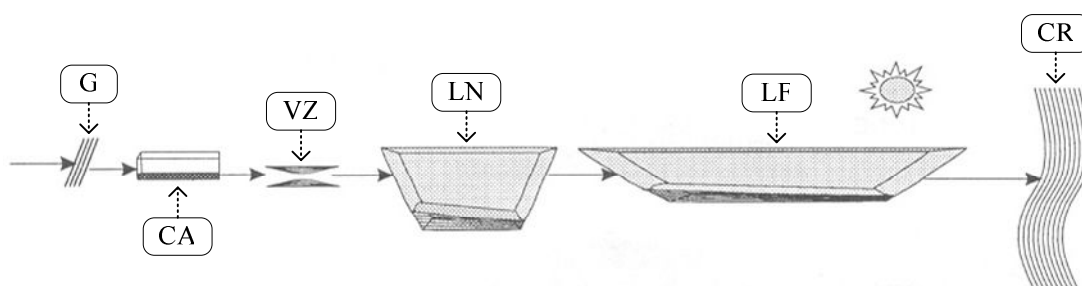


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.2 – Diagrama de blocos do sistema de lagoa facultativa.

2.6.1.2 Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa

O fluxograma do sistema de que associa uma lagoa anaeróbia a uma lagoa facultativa é apresentado na figura 2.3. Similar ao primeiro exemplo, o sistema inicia com uma caixa de grades (G), uma caixa de areia (CA) para remover sólidos grosseiros e inertes, passando em seguida por um medidor de vazão (VZ). Já no processo biológico, a DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (LN), que é mais profunda e com menor volume. A DBO remanescente é removida na lagoa facultativa (LF) e o efluente final é jogado em um corpo receptor (CR). Esse sistema ocupa área menor do que a de uma lagoa facultativa única.

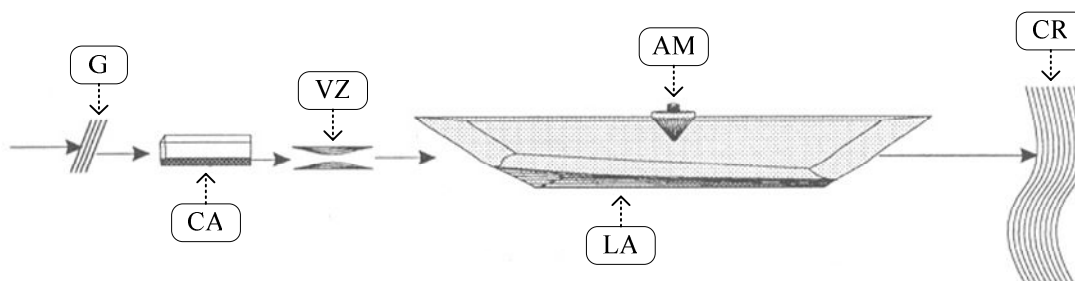


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.3 – Diagrama de blocos do sistema de lagoa anaeróbia - lagoa facultativa.

2.6.1.3 Lagoa aerada facultativa

O fluxograma do sistema de lagoa aerada facultativa é apresentado na figura 2.4. Os mecanismos de remoção da DBO de uma lagoa aerada facultativa (LA) são similares aos de uma lagoa facultativa convencional. O oxigênio, porém, é fornecido por aeradores mecânicos (AM), em vez da fotossíntese das algas. Como a lagoa é também facultativa, grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimentada é decomposta anaerobiamente no fundo.

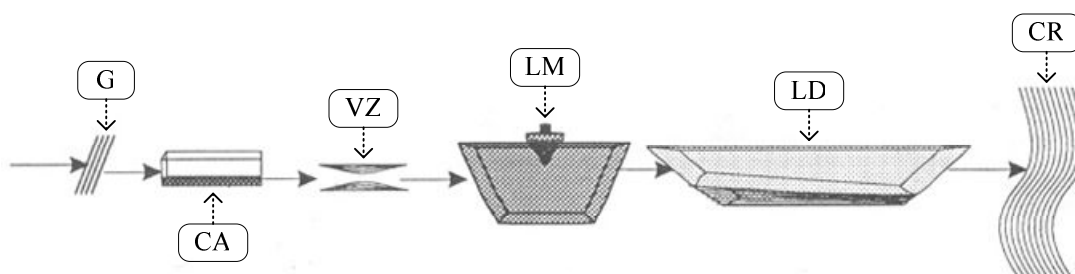


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.4 – Diagrama de blocos do sistema de lagoa aerada facultativa.

2.6.1.4 Lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação

O fluxograma do sistema de lagoa aerada de mistura completa associada a uma lagoa de decantação é apresentado na figura 2.5. Na lagoa aerada de mistura completa (LM), a energia introduzida por unidade de volume é elevada, fazendo com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido. A maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. O efluente contém, todavia, elevadas quantidades de bactérias, que necessitam ser removidas antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação (LD) a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.



Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.5 – Diagrama de blocos do sistema de lagoa aerada de mistura completa - lagoa de decantação.

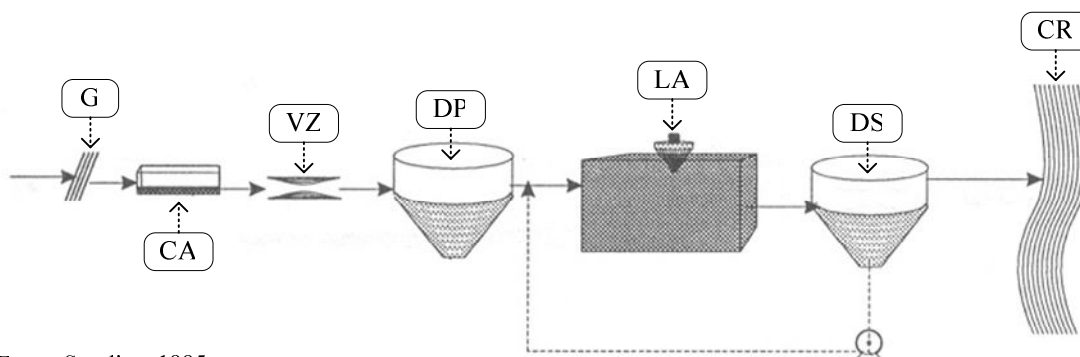
2.6.2 LODO ATIVADO

O processo de lodo ativado é biológico. Nele o esgoto afluyente e o lodo ativado – este composto de bactérias aeróbias – são intimamente misturados e aerados para logo após se separarem em decantadores. A alta eficiência deste sistema em grande parte decorre da recirculação de lodo. Esta permite que o tempo de detenção hidráulico seja pequeno e, conseqüentemente, que o reator possua pequenas dimensões. A seguir são descritos os principais tipos de tratamento baseados nesse processo.

2.6.2.1 Lodo ativado convencional

O fluxograma do sistema de lodos ativados convencional é apresentado na figura 2.6. Neste sistema, a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, em virtude da recirculação dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário (DS). A biomassa permanece por mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante elevada remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo equivalente à que é produzida. O lodo removido ainda necessita de estabilização. O fornecimento de oxigênio é

feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso no reator de lodos ativados (LA). A montante do reator há uma unidade de decantação primária (DP), objetivando a remoção dos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.

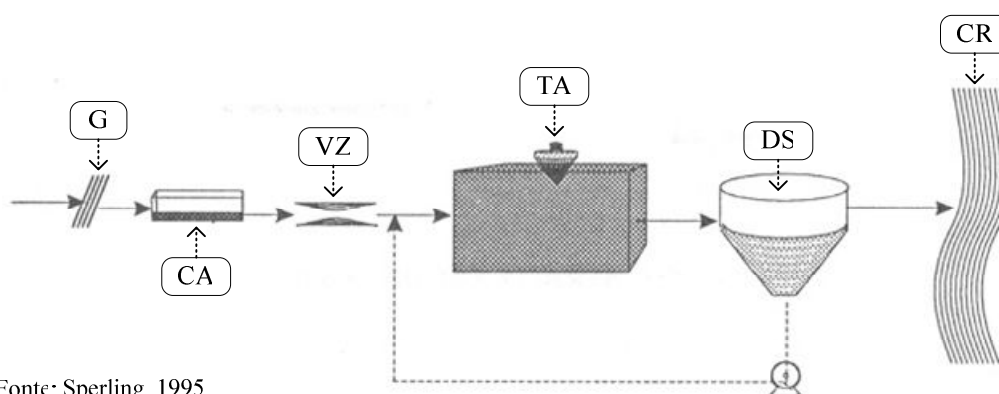


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.6 – Diagrama de blocos do sistema convencional de lodos ativados (fluxo contínuo).

2.6.2.2 Lodos ativados por aeração prolongada

O fluxograma do sistema de lodos ativados por aeração prolongada é apresentado na figura 2.7. É similar ao sistema anterior, com a diferença de que a biomassa permanece mais tempo no sistema, pois, além de haver recirculação dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário (DS), são maiores os tanques de aeração (TA). Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, fazendo com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção. Em decorrência, o lodo excedente retirado já sai estabilizado. Não incluem, de ordinário, unidades de decantação primária.



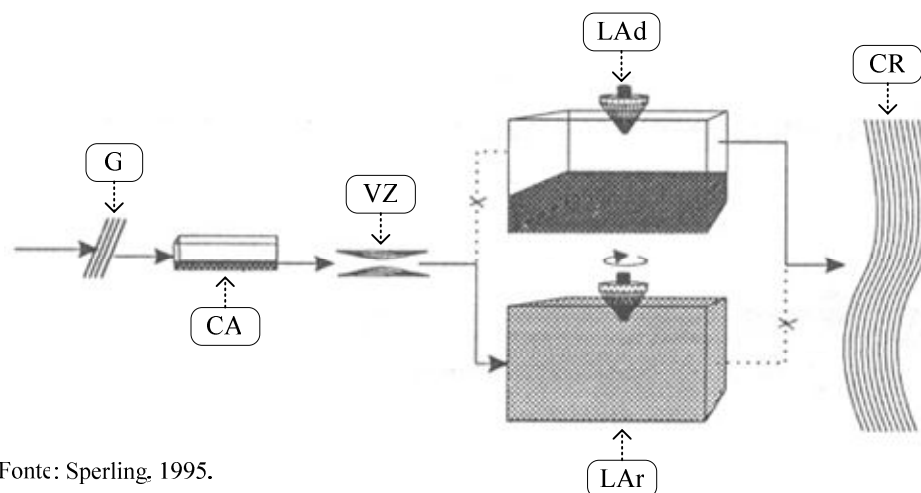
Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.7 – Diagrama de blocos do sistema de lodos ativados com aeração prolongada (fluxo contínuo).

2.6.2.3 Lodos ativados de fluxo intermitente

O fluxograma do sistema de lodos ativados de fluxo intermitente é apresentado na figura 2.8. A operação desse sistema é intermitente. No mesmo tanque, ocorrem, em fases diferentes,

as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados). Quando os aeradores estão desligados (LAd), os sólidos sedimentam, ocasião em que se retira o efluente (sobrenadante). Ao se religar os aeradores (LAr), os sólidos sedimentados retornam à massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Não há decantadores secundários. Pode ser na modalidade lodos ativados convencionais ou aeração prolongada.



Fonte: Sperling, 1995.

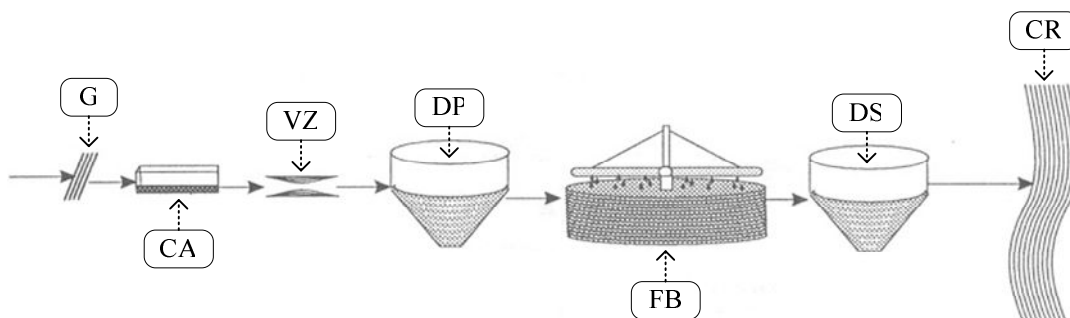
Figura 2.8 – Diagrama de blocos do sistema de lodos ativados com fluxo intermitente.

2.6.3 SISTEMAS AERÓBIOS COM BIOFILMES

O filtro biológico, ou biofilme, é constituído de um leito que pode ser de pedras, ripas ou material sintético. É considerado um processo aeróbio uma vez que o ar pode circular entre os vazios do material que constitui o leito, fornecendo oxigênio para as bactérias. Os tipos de filtros são descritos a seguir.

2.6.3.1 Filtro biológico de baixa carga

O fluxograma do sistema filtro biológico de baixa carga é apresentado na figura 2.9. Nele, a DBO é estabilizada aerobiamente por bactérias que crescem aderidas a um meio-suporte, comumente pedras. O esgoto é aplicado na superfície do tanque do filtro biológico (FB) através de distribuidores rotativos. O líquido circula pelo tanque, saindo pelo fundo, ao passo que a matéria orgânica fica retida pelas bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. No sistema de baixa carga, há pouca disponibilidade de DBO para as bactérias, fazendo com que estas sejam objeto de autodigestão, saindo estabilizadas do sistema. As placas de bactéria que se desprendem das pedras são removidas no decantador secundário (DS). O sistema necessita de um decantador primário (DP) para remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.

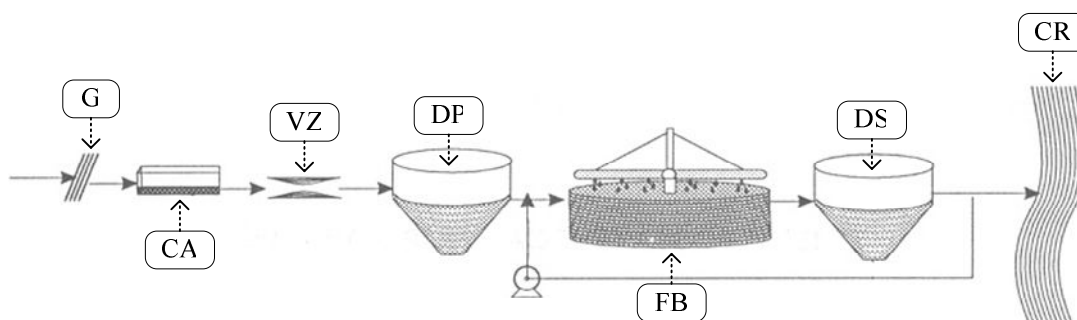


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.9 – Diagrama de blocos do sistema de filtro biológico de baixa carga.

2.6.3.2 Filtro biológico de alta carga

O fluxograma do sistema filtro biológico de alta carga é apresentado na figura 2.10, sendo similar ao sistema anterior, com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. O lodo excedente necessita de estabilização. O efluente do decantador secundário (DS) é recirculado para o filtro biológico (FB), de forma a diluir o afluente e garantir carga hidráulica homogênea. Esse sistema também necessita de um decantador primário (DP) para remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.



Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.10 – Diagrama de blocos do sistema de filtro biológico de alta carga.

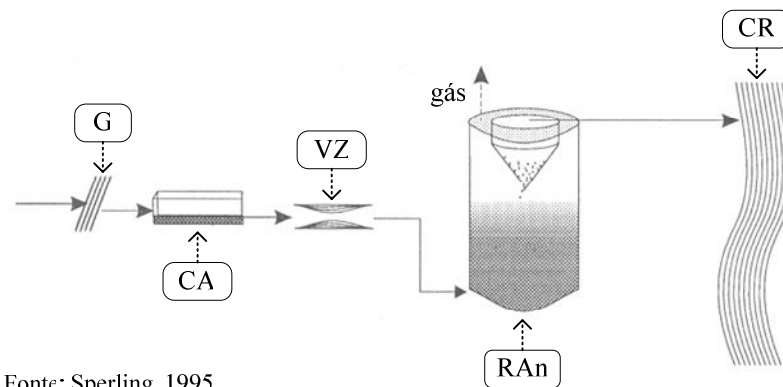
2.6.4 SISTEMAS ANAERÓBIOS

Este tipo de sistema possui menores dimensões em virtude da sua condição anaeróbia. É menos eficiente do que os sistemas aeróbios, porém há baixa produção de lodo e este já sai estabilizado.

2.6.4.1 Reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo

O fluxograma do sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo é apresentado na figura 2.11. Nele, a DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias dispersas no reator (RAn). O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida nas zonas de sedimentação e de coleta de gás. A zona de sedimentação permite a saída do efluente

clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa) ao sistema, possibilitando a manutenção de uma elevada massa de lodo no reator. Entre os gases formados, encontra-se o metano. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa e este já sai estabilizado.

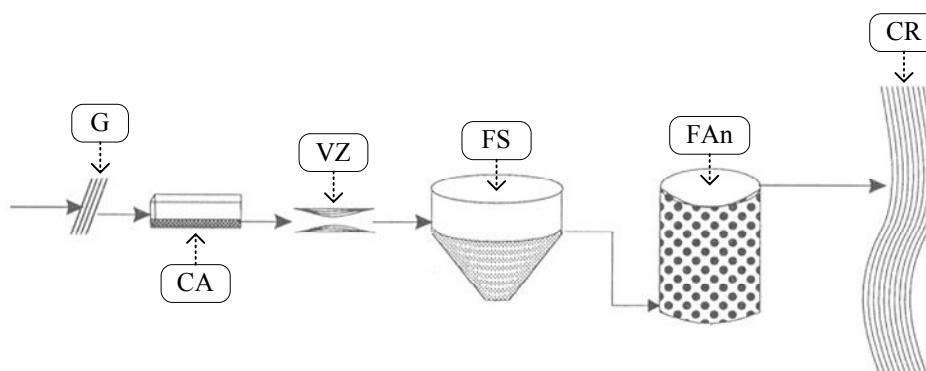


Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.11 – Diagrama de blocos do sistema de reator anaeróbico de fluxo ascendente em manta de lodo.

2.6.4.2 Fossa séptica - filtro anaeróbico

O efluente passa através da fossa (FS) e a matéria orgânica passível de sedimentação forma um lodo de fundo que era objeto de digestão anaeróbica. No filtro anaeróbico (FAn), a DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio-suporte (em geral pedras). O filtro trabalha submerso e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária, freqüentemente efetuada por fossas sépticas (FS). A produção de lodo é baixa e este já sai estabilizado.



Fonte: Sperling, 1995.

Figura 2.12 – Diagrama de blocos do sistema de fossa séptica - filtro anaeróbico.

2.7 TENDÊNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTOS

Nas últimas décadas, as preocupações do homem com a qualidade da águas de superfícies disponíveis para as diversas aplicações levaram à implantação de normas mais restritivas para o lançamento de efluentes líquidos nos corpos receptores. Considerando a ampla

tendência para tratamentos do tipo biológico, grande esforço de desenvolvimento é realizado em diversos países, principalmente nos mais desenvolvidos, em duas direções:

- melhoria do desempenho das unidades de tratamento – em relação ao volume reacional, busca-se incrementar a retenção de biomassa, de mistura de fases e transferência de massa, bem como aprimorar o monitoramento e o controle das reações de depuração; e
- melhoria da aceitação das unidades pelas comunidades – o crescimento das áreas urbanas nos últimos anos fez com que unidades de tratamento convencionais, antes situadas em áreas periféricas das cidades, estivessem forçadas à convivência com residências e estabelecimentos comerciais, aumentando assim sua rejeição por parte da comunidade.

Na atual conjuntura do saneamento no Brasil, a discussão sobre novas soluções em sistemas de esgotamento sanitário é uma necessidade real. Para que essas novas unidades de tratamento sejam aplicadas aos atuais centros urbanos do Brasil, alguns requisitos ganham em importância para preservar a qualidade de vida da população, tais como:

- eficiência de tratamento – as novas unidades devem atender a padrões de qualidade cada vez mais restritivos, tratando esgotos a taxas cada vez maiores, em função dos volumes reduzidos. Além do material carbonáceo, a remoção de nutriente deve ser realizada, sobretudo em regiões sensíveis à eutrofização. Processos biológicos que garantam elevadas idades de lodo são necessários;
- compactidade – as unidades devem ser compactas para que seja propiciada fácil inserção em ambientes densamente urbanizados, demandando processos físico-químicos e biológicos de alta taxa;
- eficiência energética – o aumento do consumo energético está diretamente ligado ao incremento das restrições sobre a qualidade dos efluentes tratados. Os gastos com energia já representam o segundo maior item das despesas em várias companhias brasileiras de saneamento;
- produção e processamento de lodo – o volume de lodo produzido é uma das maiores preocupações nas unidades de tratamento de esgotos. Buscam-se procedimentos que minimizam a produção e que asseguram uma mineralização avançada do lodo, assim como os que simplificam seu circuito de tratamento na própria unidade;

- controle de odores – a emissão de gases com odores é apontada como um dos principais motivos para rejeição das unidades de tratamento pela comunidade. Assim, os processos de depuração devem ser passíveis de ser cobertos, limitando o desprendimento de gases;
- novos materiais – essa linha de pesquisa objetiva minimizar custos de implantação e aumentar a vida útil das instalações, sobretudo em face do problema de corrosão. Para unidades modulares e/ou de pequeno porte, a possibilidade de utilização de reatores pré-moldados também incentiva o desenvolvimento de novos materiais; e
- automação – pesquisas intensivas sobre novos tipos de sensores, atuadores e sistemas de monitoramento e controle são realizadas nos países industrializados, visando inserir a automação computadorizada nos processos de tratamento de esgoto. A automação desses processos ganha importância como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos legais, protegendo os corpos d'água receptores de lançamento inadequados, pois possibilita a detecção de distúrbios, a formação de uma base de dados, o cálculo de variáveis não observáveis com esteio em medidas indiretas. Uma vez alcançados tais objetivos, será possível eliminar a presença de um operador permanente em ambientes inóspitos, detectar e corrigir falhas no processo e em equipamentos, reduzindo os gastos com operação e manutenção, auxiliando na tomada de decisão e garantindo a qualidade do tratamento.

2.8 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Para automatizar qualquer processo, deve-se entendê-lo o máximo possível, compreendendo sua configuração, funcionamento e operação. Neste capítulo, foram apresentados os conceitos básicos sobre o tratamento de efluentes. Desta forma, foi criada a base de conhecimento que possibilitou o estudo e o desenvolvimento de um sistema de monitoramento adaptado a um processo funcionando em condições reais. Discussões sobre materiais, métodos, equipamentos e o sistema de automação propriamente dito serão apresentadas nos capítulos seguintes.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

Neste segmento trata-se da apresentação do processo de tratamento no qual o sistema computadorizado de monitoramento foi implementado, bem como da descrição e da motivação para o uso de sensores, de seus princípios de funcionamento, de seus respectivos condicionamentos de sinal e da disposição e instalação desses equipamentos ao longo da planta. Discorre-se também sobre o meio físico de comunicação digital utilizado no sistema, juntamente com o *hardware* necessário para sua implantação.

3.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM REATOR UASB+LA

Unidades compactas que combinam reatores anaeróbios e aeróbios em série são objeto de franco desenvolvimento tecnológico no Brasil. Um exemplo é o sistema que associa um Reator UASB a um reator de lodo ativado (LA), como o que foi construído para o Hospital Geral Waldemar de Alcântara, em Fortaleza – CE. Tal unidade foi usada como base para o estudo e o desenvolvimento do sistema de monitoramento automático proposto nesse trabalho.

A utilização de processos anaeróbios como primeira etapa do tratamento acarreta a redução da carga orgânica afluyente aos sistemas de pós-tratamento secundário. Isso diminui os volumes requeridos para estes, bem como os requisitos de energia. Tal pós-tratamento, executado pelo reator de lodo ativado, tem a função de refinar e aperfeiçoar a fase de tratamento anaeróbio, conferindo melhor desempenho e eficiência ao processo como um todo.

A combinação de tratamento anaeróbio com pós-tratamentos aeróbios afigura-se como alternativa econômica e eficiente para os países de clima quente, no entanto, é ainda pouco pesquisada no Brasil e no mundo. Dessa forma, ainda há muito a ser definido em termos de estratégias de controle operacional desses processos. Deve ser destacado o fato de que o sistema, sendo biológico, é complexo por natureza. Dessa forma, estudos mais aprofundados de técnicas de medição, modelagem e identificação, além de estratégias adequadas de controle, são de fundamental importância (HAANDEL & MARAIS, 1999).

A figura 3.1 mostra uma representação completa de uma estação de tratamento de efluentes, com os reatores UASB e LA, e os demais componentes do sistema. Baseando-se em

ACS Fibra (2002), o princípio de funcionamento de cada parte do processo será apresentado de forma resumida.

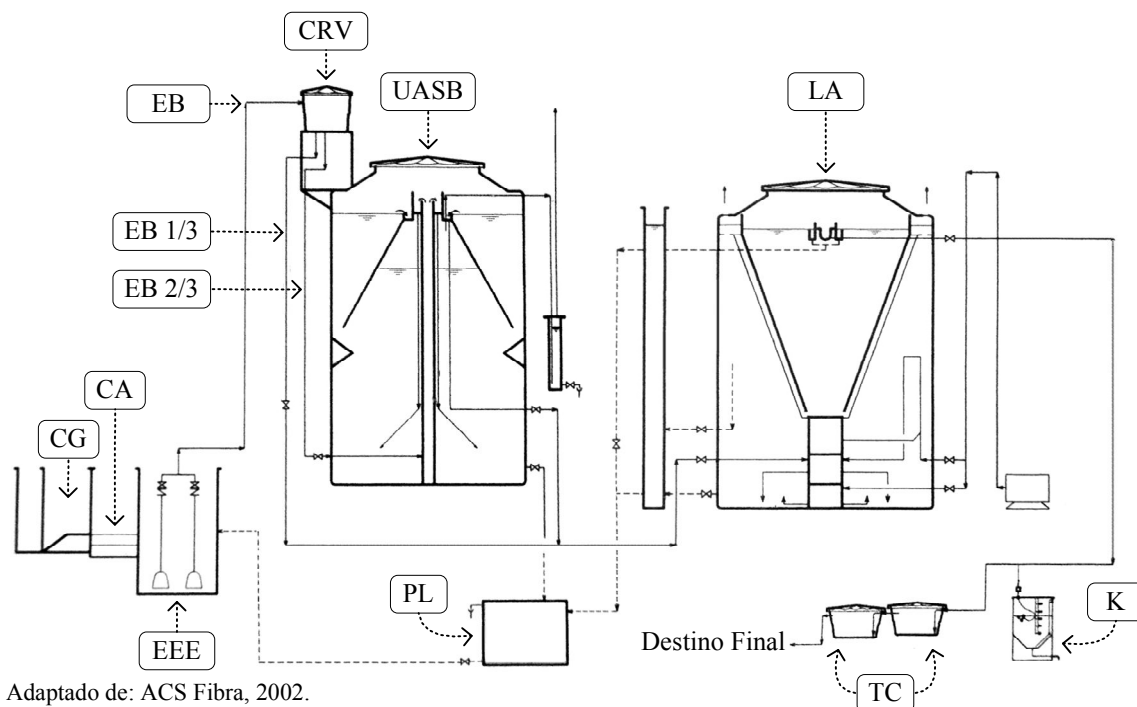


Figura 3.1 – Diagrama representativo da estação de tratamento com seus principais constituintes.

3.2.1 TRATAMENTO PRELIMINAR E ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Antes de ser introduzido nos reatores, o esgoto bruto passa pela unidade de tratamento preliminar, cujo objetivo é a remoção de sólidos grosseiros e inertes (não biodegradáveis). É constituída pelos seguintes itens:

- caixa de grade (CG) – tem por objetivo a retenção de sólidos grosseiros e estranhos ao tratamento, com espaçamento suficientemente grande que permita a passagem da matéria fecal. A grade é fixada com espaçamento de uma polegada em plano inclinado no interior do canal. A remoção do material retido pela grade deve ser feita continuamente ou com a maior frequência possível (duas a quatro vezes por dia), de modo a evitar o entupimento e o desprendimento de mau cheiro. O material removido deve ser exportado como lixo sólido, enterrado ou incinerado;
- caixa de areia (CA) – tem por objetivo a retenção de sólidos inertes pesados, sobretudo a própria areia. É um compartimento dimensionado para manter uma velocidade de escoamento capaz de promover a precipitação de areia de até 0,2 mm, quando na vazão máxima, deixando fluir o material particulado de menor densidade. A remoção de areia

precipitada no compartimento deverá ser feita pelo operador todas as vezes que o nível de areia estiver próximo à soleira da grade ou, pelo menos, duas vezes por semana, como operação de rotina; e

- estação elevatória de esgoto (EEE) – o esgoto chega ao poço de sucção por gravidade. Para o recalque do esgoto em direção aos reatores, deve-se optar pelo uso de duas bombas, para que uma fique de reserva, apropriadas para trabalhar com águas residuárias, permitindo a passagem de sólidos pastosos. Um exemplo são as motobombas centrífugas submersíveis. As bombas podem ser comandadas por meio de reguladores de nível do tipo bóia, sendo um de nível inferior (desliga bomba) e um de nível superior (liga bomba) para operação por batelada.

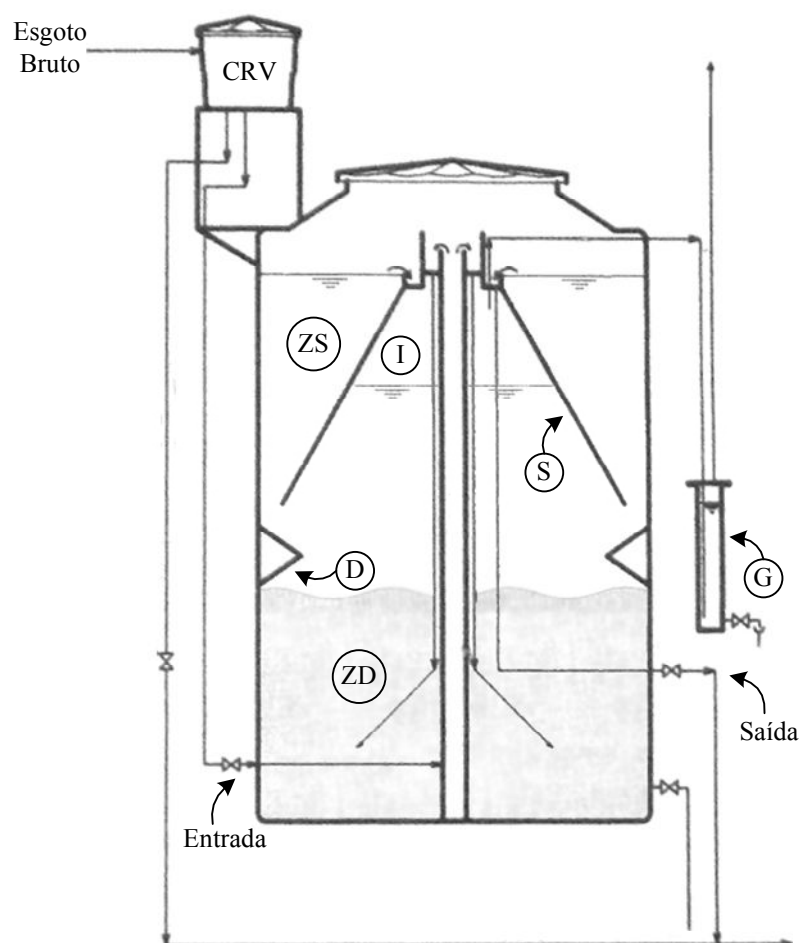
3.2.2 CAIXA REPARTIDORA DE VAZÃO

A caixa repartidora de vazão (CRV) é utilizada a montante dos reatores, sendo constituída de uma caixa elevada dividida em três seções dotadas de vertedores proporcionais, visando ao fornecimento de 2/3 de esgoto bruto (EB 2/3) para o reator anaeróbio e 1/3 de esgoto bruto (EB 1/3) para o reator aeróbio. Ela é alimentada com o esgoto bruto (EB) vindo da estação elevatória (EEE) e sustentada por uma base com altura suficiente para alimentar ambos os reatores por gravidade.

3.2.3 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE EM MANTA DE LODO

No reator UASB, a depuração decorre de intenso contato entre o esgoto afluyente e uma manta de lodo suspenso, previamente maturado no equipamento, rico em microorganismos anaeróbios. Os microorganismos utilizam a matéria orgânica como fonte alimentar, decompondo-a gradualmente até convertê-las quase totalmente em tecido celular, que se incorpora ao lodo, e gases primários, sobretudo o metano e o dióxido de carbono.

Esse reator é um eficiente removedor de material orgânico, de sólidos totais e em suspensão e de organismos patogênicos, podendo atingir reduções da ordem de 80 a 85% para estes constituintes. Já com relação aos nutrientes (fósforo e nitrogênio), esse reator não se mostra eficaz, podendo inclusive promover o aumento da concentração desses constituintes, na forma de íons livres. A Figura 3.2 mostra um esquema de um reator UASB com os seus principais dispositivos os quais serão explicados a seguir.



Adaptado de: ACS Fibra, 2002.

Figura 3.2 – Representação esquemática de um reator UASB e seus componentes internos.

O dispositivo mais característico do reator UASB é seu separador de fases (S), que divide o reator em uma parte inferior, a zona de digestão (ZD), onde se estabelece a manta de lodo biológico, e uma parte superior, a zona de sedimentação (ZS). O esgoto afluente entra pelo fundo do reator e segue trajetória ascendente, passando pela zona de digestão, atravessando uma abertura existente no separador de fases e penetrando a zona de sedimentação.

Em virtude da forma do separador de fases, a área disponível para escoamento ascensional do líquido na zona de sedimentação aumenta na medida em que o líquido se aproxima da superfície; correspondentemente, a velocidade do líquido tende a diminuir. Desse modo, flocos de lodo que são arrastados e passam pela abertura do separador de fases para a parte superior do reator encontram uma zona tranqüila. Nesta zona, a uma determinada altura, a velocidade de sedimentação das partículas tende a ser maior do que a velocidade de arraste

do líquido. Assim, as partículas são depositadas sobre a superfície inclinada do separador de fases.

Quando uma massa suficientemente grande de sólidos é acumulada, o peso aparente destes sólidos se torna maior do que a força de atrito, fazendo o lodo deslizar, entrando novamente na zona de digestão. Dessa maneira, a ação da zona de sedimentação resulta da retenção do lodo, descarregando por cima do aparelho um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis.

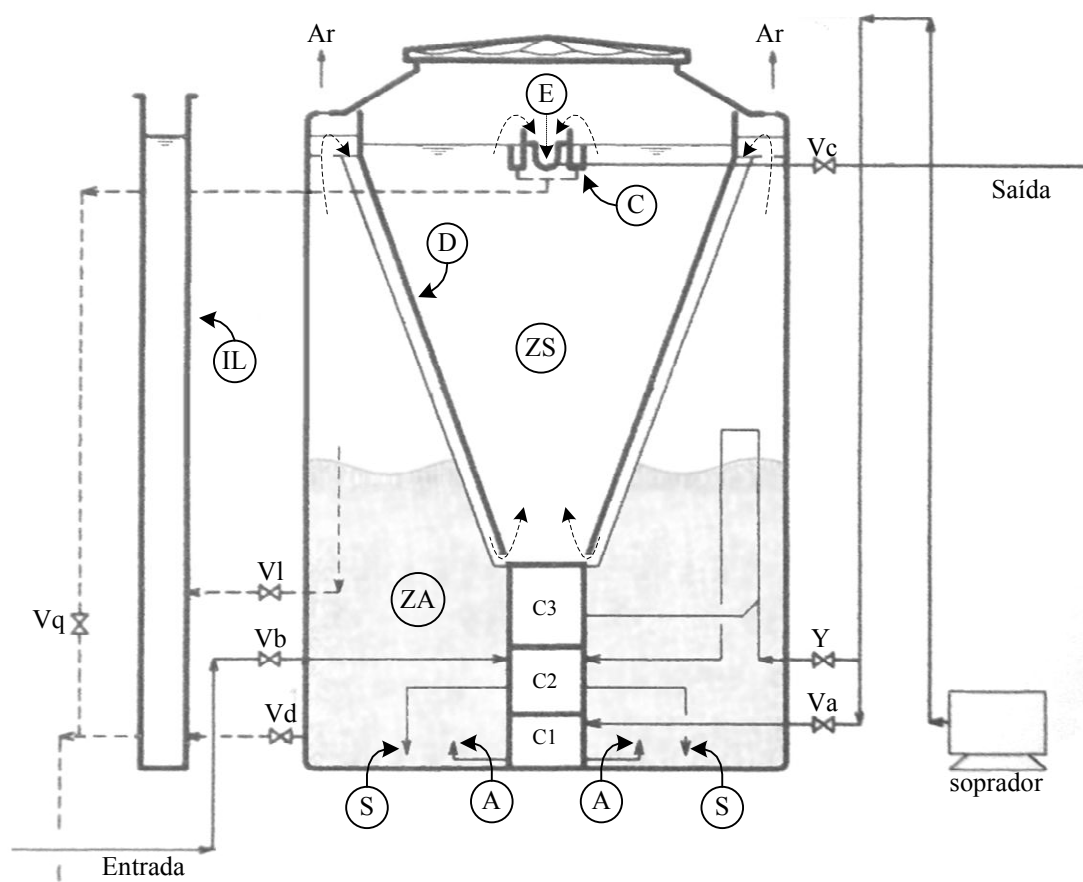
Concomitantemente, as bolhas de biogás que se formam na zona de digestão, e sobem juntamente com a fase líquida, são desviadas pelos elementos defletores (D) do separador de fases e continuam em trajetória ascendente até encontrar, na parte superior interior do separador, a interface líquido-gás (I). Nessa interface, as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa. Flocos de lodo, eventualmente aderidos às bolhas, podem subir até a interface, mas, após o desprendimento do gás, tenderão a decantar para novamente fazer parte da massa de lodo na zona de digestão. O biogás é continuamente expurgado da câmara de gás por uma tubulação que o conduz até um coletor de gases, lavando-os antes de serem enviados à atmosfera.

O tratamento dos gases gerados no reator UASB tem como finalidade a minimização de problemas da emissão de maus odores, necessitando de um tanque (G) localizado lateralmente ao reator, onde o biogás será borbulhado numa suspensão de cal (leite de cal) antes de ser encaminhado para a atmosfera. O ponto de descarte do biogás é posicionado a cerca de 6,0 metros acima do terreno.

3.2.4 REATOR DE LODO ATIVADO

O processo de lodo ativado é a alternativa aeróbia mais utilizada mundialmente. A Figura 3.3 mostra um esquema de um reator de lodo ativado com os seus principais dispositivos, os quais serão explicados a seguir.

O lodo ativado é um aglomerado de flocos de matéria orgânica produzidos no esgoto bruto, ou decantados pelo crescimento de bactérias aeróbias ou de outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido. O lodo ativado é acumulado em concentração suficiente mediante a separação de sólidos e líquidos no decantador interno (D) e da recirculação de lodo sedimentado.



Adaptado de: ACS Fibra, 2002.

Figura 3.3 – Representação esquemática de um reator aeróbio de lodos ativados e seus componentes internos.

No reator aeróbio, o esgoto afluyente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados, para, logo após, se separar os lodos ativados do esgoto tratado por meio da sedimentação nos decantadores. O lodo ativado separado retorna para o processo ou é retirado para tratamento específico ou destino final, enquanto o esgoto já tratado passa para o vertedor do decantador no qual ocorreu a separação.

Na unidade apresentada pela figura 3.3, já estão juntos o reator aeróbio propriamente dito e o decantador adensado (D). Há também um sistema de retorno usando parte do ar produzido pelos sopradores, um sistema de retenção e descarte, ou retorno, do eventual lodo flutuante no efluente clarificado e um sistema da verificação da idade do lodo (IL).

O ar produzido pelos sopradores entra pela válvula (Va) no reator aeróbio até uma câmara central (C1) no fundo do reator e, por uma tubulação, é levado aos difusores de ar (A). Por sua vez, o esgoto entra pela válvula (Vb), é canalizado a uma câmara central de esgoto (C2) onde é misturado ao ar, formando o substrato aerado (S). O substrato é distribuído por

agitação provocada pela aeração mecânica na zona de reação aeróbia (ZA) e se movimenta no sentido ascendente.

Separado do ar no topo do reator, o substrato é transportado através de canaletas para a zona de sedimentação (ZS). Na zona de sedimentação, o lodo adensa para o fundo do poço de lodo (C3) de onde retorna para a câmara de esgoto (C2), enquanto o efluente clarificado (E) é coletado e transportado por uma calha interligada por tubulação para os tanques de desinfecção, passando pela válvula (Vc).

O retorno do lodo adensado no poço do decantador (C3) é feito pelo sistema *air lift* (Y). Esse sistema utiliza parte do ar produzido pelos sopradores, fazendo com que o lodo adensado seja empurrado do poço de lodo para a câmara de distribuição de esgoto. A recirculação desse lodo faz com que ele permaneça sempre no reator até formar material em excesso. A descarga desse lodo em demasia é controlada pela coluna transparente externa (IL), onde esta deverá ser cheia através da tubulação da válvula (VI) e fechada logo após o enchimento total. Esse substrato deverá permanecer até sua total decantação, possibilitando a verificação da idade do lodo.

A válvula (Vq) é utilizada para o descarte de lodo flutuante, formado eventualmente no nível de coleta do efluente e retido por uma calha coletora (C). O reator possui ainda um sistema de drenagem de fundo a partir da válvula (Vd).

3.2.5 POÇO DE LODO

O poço de lodo (PL) é a unidade destinada ao descarte de lodo digerido, produzido constantemente pelos reatores desde o momento em que atingem o estado estacionário. O lodo digerido é estabilizado, evitando a produção de mau cheiro. O poço de lodo possibilita o retorno de lodo para a estação elevatória de esgoto, com o objetivo de retardar ao máximo o descarte do lodo, além de contribuir com material nos períodos de baixa carga orgânica.

3.2.6 UNIDADE DE DESINFECÇÃO

Para a eliminação do conteúdo residual de organismos patogênicos, o efluente dos reatores é tratado com solução hipoclorada, dosada por meio de uma bomba dosadora (K). O ideal é que o funcionamento da bomba seja automático, intertravado à passagem de fluxo na tubulação de entrada do tanque de contato.

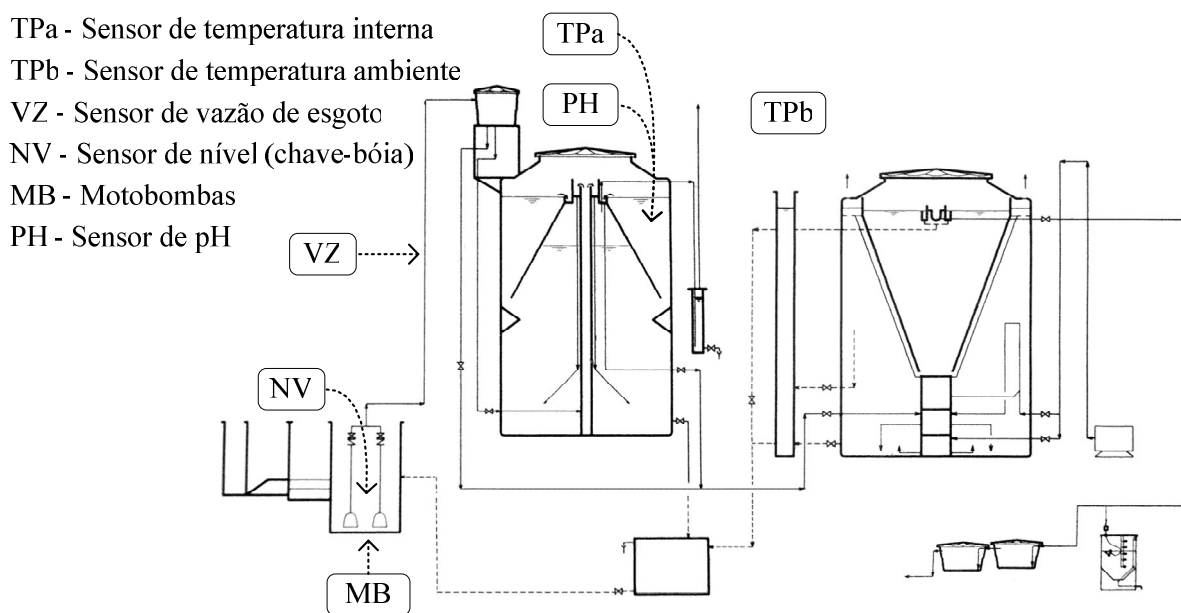
Após a dosagem, o efluente será encaminhado ao tanque de contato (TC) composto por duas células em série, propiciando um tempo de detenção hidráulico mínimo de 30 minutos, suficiente, por exemplo, para a neutralização de 99-100% dos coliformes fecais

remanescentes do efluente dos reatores, dando as condições finais para o lançamento do efluente no corpo receptor.

3.3 INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

O uso de instrumentação eletrônica para monitoramento possibilita a otimização do processo, de tal forma a adequar o efluente tratado aos requisitos legais, protegendo os corpos receptores de lançamentos inadequados. Os sistemas de automação existentes no mercado, em geral, são muito sofisticados, o que eleva seus custos de aplicação. Para processos de pequeno porte, busca-se o desenvolvimento de soluções modulares de baixo custo, de maneira que viabilizem o investimento.

A figura 3.4 mostra a localização dos equipamentos instalados.



Adaptado de: ACS Fibra, 2002.

Figura 3.4 – Localização dos instrumentos na planta de tratamento de esgoto.

3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA

A temperatura é a um dos fatores que influenciam o comportamento bacteriano. Os microorganismos não possuem mecanismos de controle térmico, portanto, sua temperatura interna é determinada pela temperatura do ambiente onde se encontram. Dessa forma, a temperatura atua de maneira seletiva em relação à massa bacteriana. Existe uma faixa ótima de temperatura em torno da qual o crescimento bacteriano é máximo. Para os microorganismos envolvidos na digestão anaeróbia, foram identificadas duas faixas ótimas de

temperatura, de 30 a 35°C (nível mesofílico) e 50 a 55°C (nível termofílico). (HAANDEL & MARAIS, 1999)

Para as medições de temperatura ambiente e interna ao reator UASB, foram usados sensores de temperatura LM35, produzidos pela *National Semiconductor*®. O LM35 é um sensor de temperatura, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius com precisão garantida de 0,5 °C. Como indicado na figura 3.1, dois sensores foram instalados, um na parte interna superior do reator UASB para medição da temperatura de saída do reator e outro na escada de acesso ao reator UASB para medição da temperatura ambiente.

Quando alimentado com uma tensão entre quatro e vinte volts, gera em sua saída uma tensão linear de zero a mil milivolts a uma razão de 10mV/°C. O sinal de saída linear e de baixa impedância facilita seu condicionamento. Com o consumo de apenas 60µA, seu auto-aquecimento é de menos do que 0,1°C no ar parado. (LM35, 2000) A figura 3.5 mostra o encapsulamento e o circuito equivalente do integrado, com a descrição de seus pinos.

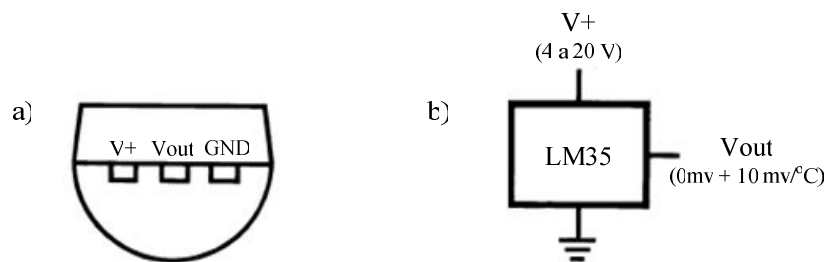


Figura 3.5 – (a) Encapsulamento e (b) diagrama de bloco do LM35.

O conversor analógico-digital (A/D) utilizado para fazer a leitura do sinal analógico gerado pelo sensor possui resolução de 8 bits e permite ler tensões que variem de zero a cinco volts. A menor tensão passível de ser lida pode ser calculada com o emprego da equação 3.1.

$$V = \frac{(V_{ref}^{+} - V_{ref}^{-})}{2^n - 1} = \frac{(5 - 0)}{2^8 - 1} = 19,6mV \quad (3.1)$$

sendo:

n: número de bits do conversor A/D;

V_{ref}^{+} : tensão de referência positiva do conversor A/D (5V); e

V_{ref}^{-} : tensão de referência negativa do conversor A/D (0V).

Ligando a saída do sensor diretamente à entrada do conversor A/D, a sensibilidade da medição seria de apenas 2 °C. Sabendo que o conversor lê tensões de até cinco volts, uma

forma de melhorar a precisão da leitura é a amplificação do sinal, de forma que o fundo de escala da medição gere uma tensão de cinco volts. Como o processo não apresenta temperaturas superiores a 50 °C nos pontos onde se pretende medir temperatura, a tensão máxima a ser gerada pelo sensor é de 500mV. Aplicando um ganho de 10 em tal sinal de tensão, condiciona-se o sinal de saída do sensor de temperatura para a faixa de 0 a 5V. Dessa forma, a sensibilidade da conversão A/D passa a ser igual a 0,2 °C. A figura 3.6 mostra o circuito projetado e desenvolvido para condicionar o sinal do sensor de temperatura.

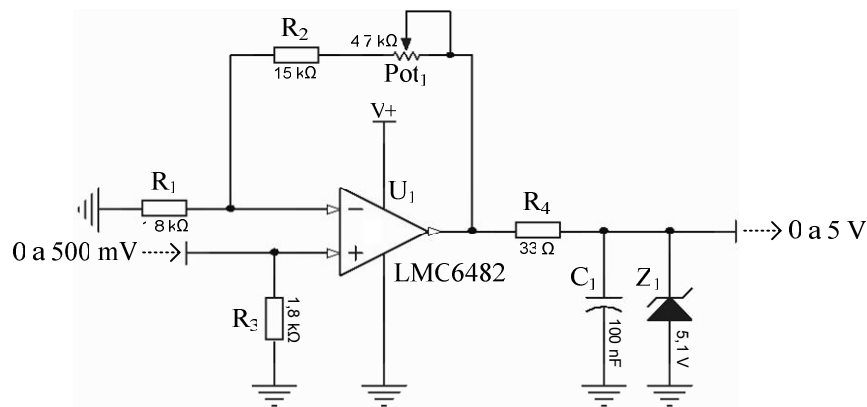


Figura 3.6 – Circuito condicionador de sinal do LM35.

Como o sensor semiconductor LM35 gera um sinal précondicionado, a ação do circuito de condicionamento é amplificar o sinal de tensão para a faixa de zero a cinco volts. A configuração escolhida foi a não-inversora. Nela, o sinal de tensão de entrada é aplicado diretamente ao terminal de entrada positivo do amplificador operacional (U_1) enquanto o resistor (R_1) é conectado à referência. A tensão de saída é determinada pela equação 3.2.

$$G = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{(R_2 + Pot_1)}{R_1} \quad (3.2)$$

Os resistores devem possuir, pelo menos, 1% de precisão. As demais resistências devem ser da ordem de 10^3 ohms com o intuito de reduzir as correntes que circulam na realimentação negativa do amplificador. O diodo zener (Z_1) impede a passagem de sinais de tensão na saída maiores do que 5,1 volts, protegendo o microcontrolador que receberá esse sinal. A resistência (R_4) associada em série com o capacitor (C_1) atuam como um filtro passa - baixa, ou seja, atenuam a passagem de ruídos de alta frequência que possam aparecer. A frequência de corte do filtro RC é calculada por intermédio da equação 3.3.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 33 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \cong 48kHz \quad (3.3)$$

A figura 3.4 mostra uma foto do circuito desenvolvido do condicionador de sinal do sensor de temperatura LM35. Nota-se que, como o circuito integrado usado possui dois amplificadores operacionais, a placa foi desenvolvida para o condicionamento de dois sensores. Para tanto, duplicou-se o circuito apresentado na figura 3.7.

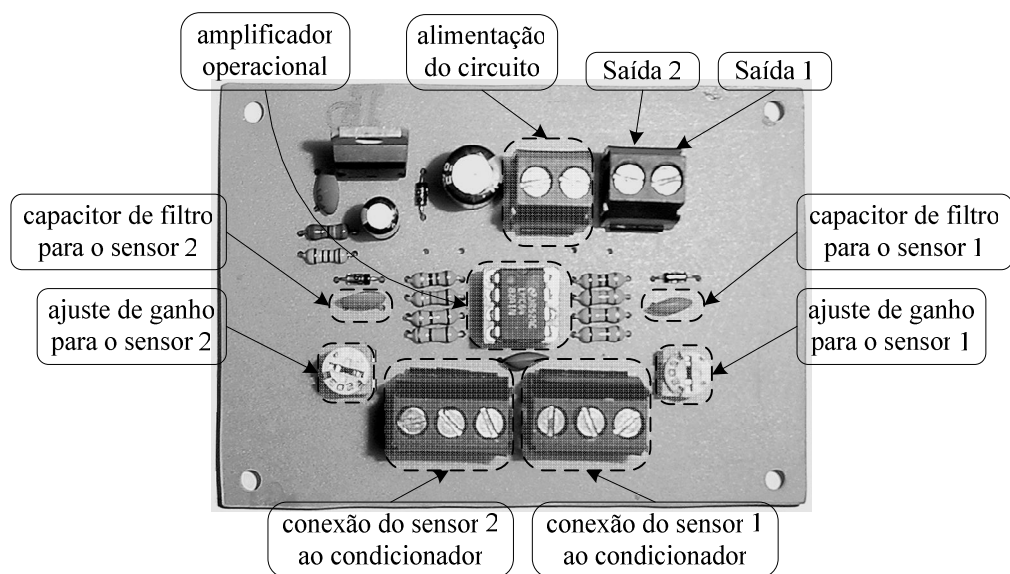


Figura 3.7 – Foto da placa de condicionamento de sinal do LM35.

3.3.2 SENSOR DE VAZÃO DE ESGOTO

A vazão de esgoto na entrada do sistema de tratamento é uma das principais variáveis de uma estação de tratamento de efluentes (ETE), pois ela define os dados e parâmetros de projeto a serem adotados, como: volume do reator, carga orgânica e hidráulica a ser aplicada no reator, tempo de detenção hidráulica.

Em consequência de inícios e términos de bombeamento de esgoto bruto, bem como de recirculações, as estações de tratamento de esgoto apresentam caráter dinâmico. Normalmente seus métodos de projeto e operação, contudo, são baseados na consideração de que a vazão se encontra em estado de equilíbrio. Conseqüentemente, a operação pode se tornar insatisfatória, visto que as condições de carga hidráulica e orgânica podem variar consideravelmente, mesmo que os valores médios estejam dentro dos limites de projeto (BASTOS, 2002).

Com a identificação dos valores de vazão máximos, mínimos, e uma média móvel ao longo do dia, juntamente com um controle adequado da atuação das bombas de recalque de esgoto, a estação pode vir a operar em um regime de trabalho contínuo, mesmo quando isso

não foi previsto no projeto inicial do sistema. Com tal regime de trabalho, a operação do sistema ocorre de maneira mais estável, minimizando ou impedindo que o reator receba cargas volumétricas ou orgânicas diferentes do que foi preconizado em projeto.

Para a medição de vazão de entrada do sistema de tratamento de esgoto, foi usado o medidor magnético *Signet 2551 Magmeter™*, produzido pela *George Fischer Signet Inc.®*. Desenvolvido para a medição de vazão de líquidos em tubulações fechadas, o medidor eletromagnético não possui qualquer parte móvel e utiliza montagem por inserção, facilitando sua instalação em campo. Sua perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, pois não possui qualquer obstrução. Possui sensibilidade reduzida à densidade e à viscosidade do fluido de medição. Dessa forma, são ideais para medição de produtos químicos corrosivos, líquidos com sólidos em suspensão, lama, água, polpa de papel. Sua aplicação estende-se desde saneamento até indústrias químicas, papel e celulose, mineração e indústrias alimentícias. Sua restrição básica é que o fluido seja eletricamente condutivo (SIGNET 2551, 2007).

O princípio de funcionamento do medidor magnético de vazão é baseado na Lei de Faraday. Segundo esta lei, quando um objeto condutor se move em um campo magnético, uma força eletromotriz é gerada. No caso, o corpo móvel é o líquido, que flui através do tubo ao qual o medidor está conectado. De acordo com a Lei de Faraday, a f.e.m. induzida no medidor eletromagnético é expressa pela equação 3.4.

$$E = B \cdot d \cdot v \quad (3.4)$$

sendo:

- E: fem induzida (V);
- B: densidade do fluxo magnético (T);
- d: diâmetro interno da tubulação (m); e
- v: velocidade do fluido (m/s).

A vazão é representada pela equação 3.4.

$$Q = S \cdot v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v \quad (3.5)$$

sendo:

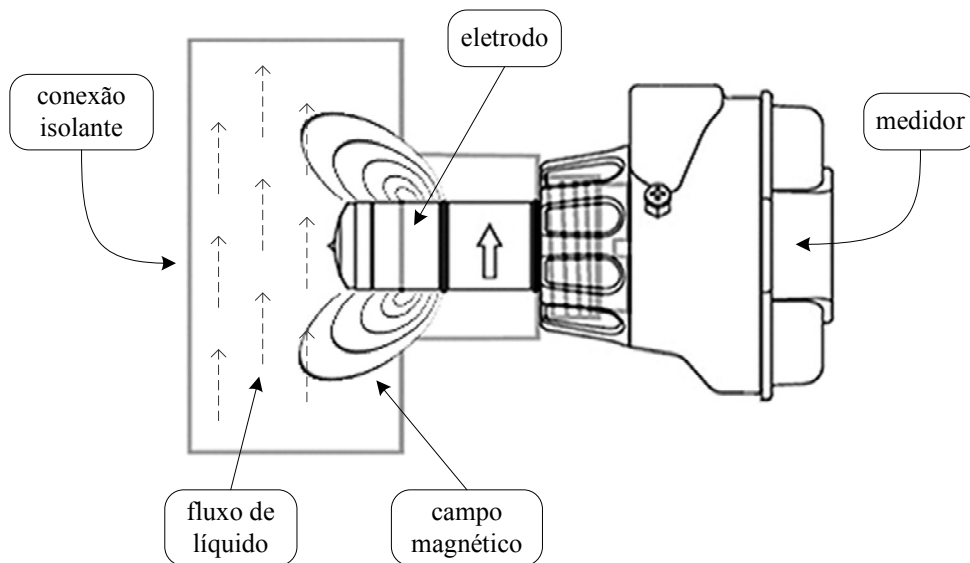
- Q: vazão (m³/s);
- S: área da seção transversal do tubo (m²); e
- V: velocidade média do fluido (m/s).

Substituindo a equação 3.3 em 3.4, tem-se:

$$Q = \frac{\pi \cdot d}{4 \cdot B} \cdot E \quad (3.6)$$

Na equação 3.5, se B é constante, então Q será diretamente proporcional a E . Em outras palavras, a f.e.m. induzida E , se conhecida, representará a vazão Q . A figura 3.8 mostra figura representativa do medidor instalado na tubulação de entrada da estação, como indicado na figura 3.4.

O medidor de vazão deve ser alimentado com uma tensão contínua de 24 volts e apresenta uma saída analógica de 4 a 20 mA proporcional à vazão instantânea. A vazão mínima passível de ser lida é igual a 0,05 m/s, e a máxima é de 10 m/s. O medidor permite converter a medição de velocidade do líquido, relacionando a saída ao volume de líquido por unidade de tempo, por exemplo, em m³/h.



Adaptado de: Signet 2551, 2007.

Figura 3.8 – Figura representativa de montagem do medidor de vazão na tubulação.

A figura 3.9 mostra o circuito projetado e desenvolvido para condicionar o sinal de corrente do medidor de vazão em sinal de tensão de zero a cinco volts, possibilitando a conversão do sinal analógico para digital.

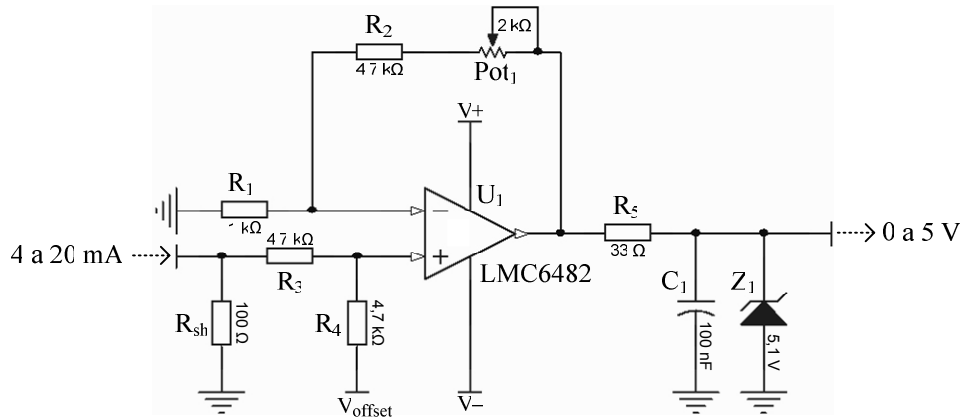


Figura 3.9 – Circuito condicionador de sinal de 4 a 20mA.

O resistor *shunt* R_{sh} é usado para transformar o sinal de corrente em um valor de tensão proporcional. Seu valor deve ser menor do que a resistência máxima do *loop* de corrente, que é de $300\ \Omega$ (SIGNET 2551, 2007). O valor escolhido para o desenvolvimento do circuito foi de $100\ \Omega$. Desta forma, nos terminais do resistor R_{sh} , temos um sinal de tensão que varia de 0,4 a 2V relativos ao sinal de 4 a 20 mA. Para trazer o sinal mínimo de 0,4V para efetivos 0V, soma-se ao valor medido um sinal negativo V_{offset} . A figura 3.10 mostra o circuito projetado para a geração desse sinal negativo contínuo.

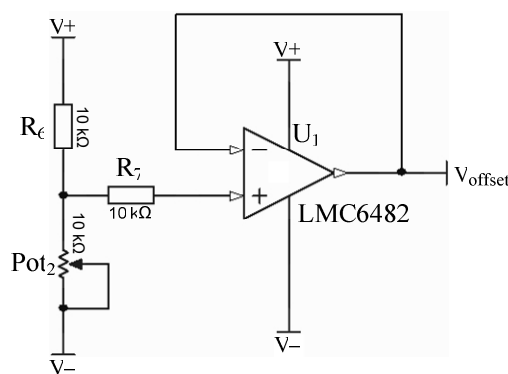


Figura 3.10 – Circuito de ajuste de *offset*.

Assim como no circuito condicionador do sensor de temperatura, os resistores devem possuir, pelo menos, 1% de precisão. As demais resistências são da ordem de 10^3 ohms com o intuito de reduzir as correntes que circulam na realimentação negativa do amplificador. O diodo zener (Z_1) impede a passagem de sinais de tensão na saída maiores do que 5,1 volts, protegendo o microcontrolador que receberá esse sinal. A figura 3.11 mostra uma foto do circuito desenvolvido do condicionador de sinal de corrente em tensão usado para o medidor de vazão eletromagnético.

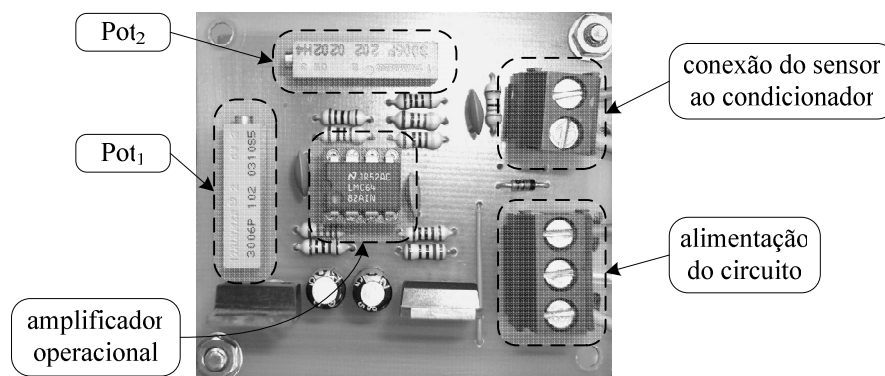


Figura 3.11 – Foto da placa de condicionamento de sinal de corrente em tensão.

3.3.3 SENSOR DE POTENCIAL HIDROGENÔNICO (pH)

Representa a concentração de íon hidrogênio H^+ em escala anti-logarítmica, dando indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. O pH é um fator ambiental que influencia significativamente a degradação da matéria orgânica. Ele resulta da interação da alcalinidade com os ácidos voláteis presentes no reator. A digestão anaeróbia naturalmente reduz o pH do ambiente (GUIMARÃES, 1997).

Cada grupo de bactérias possui faixa específica de pH para crescimento ótimo. O crescimento das bactérias metanogênicas é ótimo na faixa de pH de 6,8 à 7,4. Para as bactérias hidrolíticas, aproximadamente 7,0. A faixa de pH ótimo para as bactérias acidogênicas está em torno de 6,0 (HAANDEL & MARAIS, 1999). As bactérias metanogênicas acetotróficas são as mais susceptíveis a níveis reduzidos de pH; sua taxa de crescimento é máxima por volta do pH neutro, caindo consideravelmente para valores de pH abaixo de 6,6. (GUIMARÃES, 1997)

A medida de pH é fundamentada na medição da força eletromotriz (f.e.m.) de uma célula eletroquímica que contém uma solução de pH desconhecido como eletrólito, e dois eletrodos. Tais eletrodos são construídos por meio de um vidro de composição especial sensível à concentração de íons H^+ . Um dos eletrodos, denominado indicador, adquire potencial que depende do pH da solução. O segundo eletrodo, por sua vez, deve ter um potencial constante independente do pH da solução, com o qual, portanto, o potencial do eletrodo indicador é comparado, daí este segundo eletrodo ser denominado eletrodo de referência. Dessa forma, o eletrodo de pH pode ser pensado como uma bateria, com uma tensão que varia proporcional ao pH da solução medida.

O potencial desenvolvido entre o eletrodo indicador e o de referência é dado por

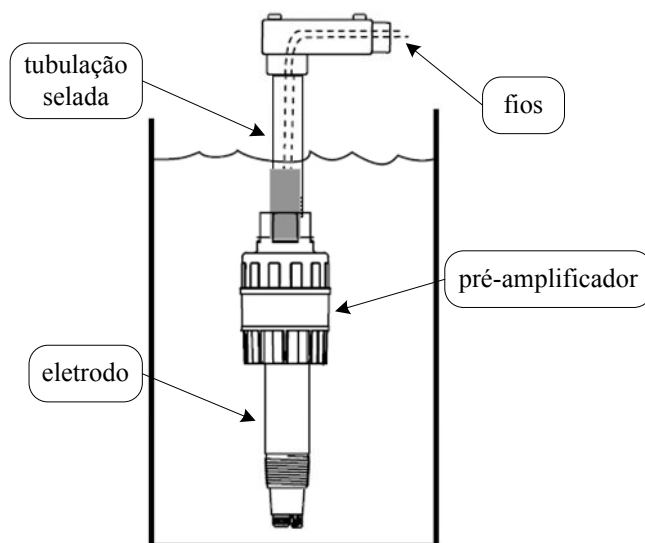
$$V_{ph} = r + 0,059 \cdot pH \quad (3.7)$$

sendo 'r' uma constante que depende do material usado para a construção do eletrodo de referência.

Para a medição contínua do pH interno do reator UASB foi usado o eletrodo de pH 2764 *Differential Dry Loc*TM, produzido pela *George Fischer Signet* ®. Este instrumento tem a função de monitorar continuamente o pH de soluções aquosas. O sensor é do tipo combinado, uma vez que incorpora em uma só peça os eletrodos de medição (face de vidro) e referência e um sensor de temperatura usado para compensação térmica. Fabricado em CPVC (PVC clorado), pode ser instalado tanto em tubulações como em tanques (submerso), efetuando a medição de pH continuamente (SIGNET 2764-2767, 2001).

Em decorrência da isolação do vidro, a impedância do eletrodo é da ordem de $10^{10} \Omega$ a $10^{14} \Omega$ ohms, gerando uma corrente da ordem de 10^{-14} ampéres. Por causa da alta impedância, o eletrodo de pH exige circuito amplificador com elevada impedância de entrada, da ordem de 10^7 ohms, necessitando cuidado especial no desenvolvimento do circuito pré-amplificador do sensor. Em associação ao eletrodo de pH, foi conectado o pré-amplificador *Signet 2760 Dry Loc*TM, também produzido pela *George Fischer Signet Inc.*®. O pré-amplificador tem a função de amplificar o sinal do sensor e convertê-lo para o padrão 4-20mA. Construído em CPVC, pode ser submerso quando instalado em tanques. A figura 3.12 mostra uma figura representativa do sensor de pH instalado na parte superior do reator UASB, como indicado na figura 3.4. A calibração é efetuada facilmente, uma vez que o instrumento dispõe da função *EasyCal*, em que soluções-tampões (*buffers*) de valores padronizados podem ser utilizadas.

Assim como o medidor de vazão, o sensor de pH deve ser alimentado com uma tensão contínua de 24 volts e apresenta uma saída analógica de 4 a 20 mA, proporcional ao pH instantâneo. Dessa forma, o circuito usado para condicionar o sinal de corrente do medidor de vazão em sinal de tensão é o mesmo apresentado na figura 3.9.



Adaptado de: Signet 2764-2767, 2007.

Figura 3.12 – Figura representativa de montagem do medidor de pH instalado.

3.4 BOMBA SUBMERSA

A bomba converte energia mecânica em pressão pela ação da força centrífuga fornecida ao fluido pela rotação do rotor. As bombas submersas possuem o motor e a bomba montados em acoplamento direto, de forma que o conjunto possa trabalhar permanentemente submerso.

No sistema de tratamento, o funcionamento das bombas envolve um procedimento de rodízio, com o objetivo de uniformizar o tempo de funcionamento de cada bomba. Esse cuidado evita a sobrecarga de uma das bombas, aumentando a vida útil do sistema. Desta forma, é necessário que haja pelo menos duas bombas conectadas ao processo.

As bombas da elevatória têm o funcionamento determinado pelo nível da elevatória. Se o nível ultrapassa um limite superior, uma bomba é acionada; caso desça abaixo de um limite inferior, a bomba é desligada. O sensor de nível usado na elevatória é do tipo bóia, comumente chamado de chave-bóia. Este sensor possui internamente um líquido condutor, em geral, o mercúrio, e, em determinada posição, a bóia fecha um curto-circuito entre seus contatos, comandando os contactores ligados às bombas.

3.5 MEIO FÍSICO DE COMUNICAÇÃO

Grande parte das tecnologias hoje em curso está migrando da comunicação paralela para a comunicação serial. A comunicação serial diferencia-se da paralela por transmitir apenas um bit por vez, no lugar de transmitir vários bits por vez, como na comunicação paralela. Dessa forma, na comunicação paralela, é necessário um fio para cada bit. Assim, quanto maior a quantidade de bits sendo transmitidas por vez, mais fios são utilizados, dificultando a criação

de cabos e a construção de placas. Já na comunicação serial, são necessários apenas dois fios, fazendo com que a comunicação entre dois dispositivos seja mais fácil de ser projetada.

Outra questão é que, quanto maior a taxa de transferência, maior o problema com a interferência eletromagnética. Cada fio se torna uma antena em potencial, captando ruído do meio, podendo corromper os dados transmitidos. Na comunicação serial, como são usados apenas dois fios, esse problema é contornado de modo mais fácil e barata. Por isso, a comunicação serial foi escolhida para conectar as partes do sistema de monitoramento automático.

A forma mais corriqueira de transmissão de dados serial é a transmissão assíncrona. Nesta, não existe a necessidade de sincronização entre os dispositivos, uma vez que os bytes são transmitidos individualmente e não em blocos como na comunicação síncrona. Grande parte dos computadores pessoais possui, pelo menos, uma porta serial do tipo assíncrona. A velocidade da porta serial é mais frequentemente expressa em bits por segundo, ou bps. Isso representa o número de 1's e 0's que podem ser enviados em um segundo. Velocidades comuns são 2400, 9600 e 19200 bps.

Apesar do padrão RS-232 ser a interface mais comum para comunicação serial, ele tem suas limitações. Já o padrão RS-485 é capaz de prover uma forma robusta de comunicação multiponto, muito utilizada na indústria em controle de sistemas e em transferência de dados para pequenas quantidades e taxas de até 10 Mbps. Erroneamente, tem-se a idéia de que estes padrões definem protocolos de comunicação específicos. Os padrões ANSI/EIA RS-XXX especificam apenas as características elétricas.

O padrão RS-485 foi publicado originalmente em 1983, com o nome de EIA-485, um padrão multiponto especificando o conceito de unidade de carga junto com características elétricas dos dispositivos transmissores e receptores (COSTA, 2003). A figura 3.13 mostra uma aplicação multiponto típica desse padrão. Nesta figura, cada dispositivo conectado à rede é identificado como terminal T_N . Atualmente o nome completo da interface RS-485 é TIA/EIA-485-A.

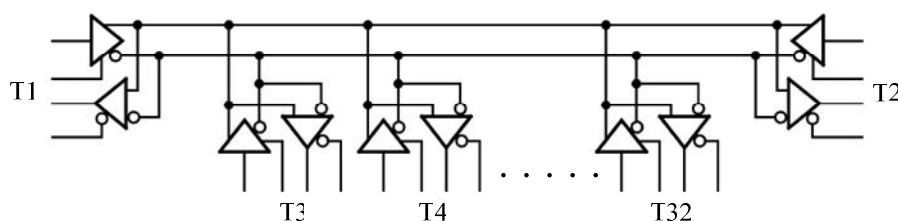


Figura 3.13 - Aplicação multiponto típica do padrão RS-485.

3.5.1 MODO DE OPERAÇÃO RS-485

Esse padrão especifica as características elétricas de uma interface digital entre circuitos baseados em tensão diferencial balanceada. A lógica desse padrão é definida quando um terminal se torna mais negativo ou mais positivo do que o outro. Portanto, a tensão diferencial entre os dois terminais permitirá o reconhecimento do bit que está sendo transmitido. Convencionalmente, a lógica '1' é reconhecida quando o terminal A do transmissor se torna mais negativo em relação ao terminal B e a lógica '0' é identificada quando o terminal 'A' se faz positivo em relação ao terminal 'B'. A figura 3.14 mostra as formas de onda da transmissão de bits por meio do barramento diferencial e como os receptores reconhecem o sinal após a subtração ($V_A - V_B$).

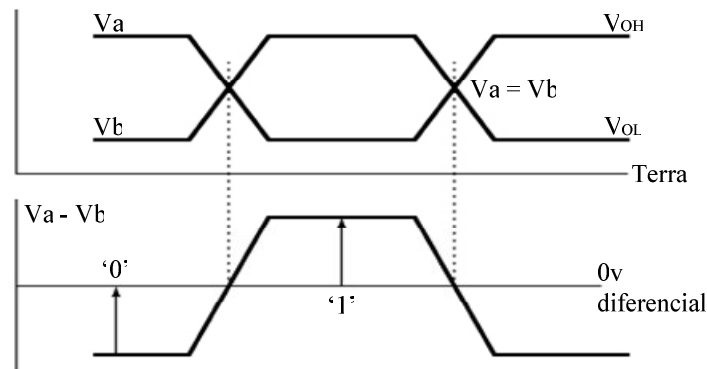


Figura 3.14 – Exemplo de transmissão de bits por meio do barramento diferencial.

A distância máxima do cabo depende da taxa de transmissão utilizada e pode chegar até 1200m para uma taxa de transmissão de 100kbps. A figura 3.15 mostra a relação entre comprimento em metros do cabo e a taxa de transmissão numa rede RS-485.

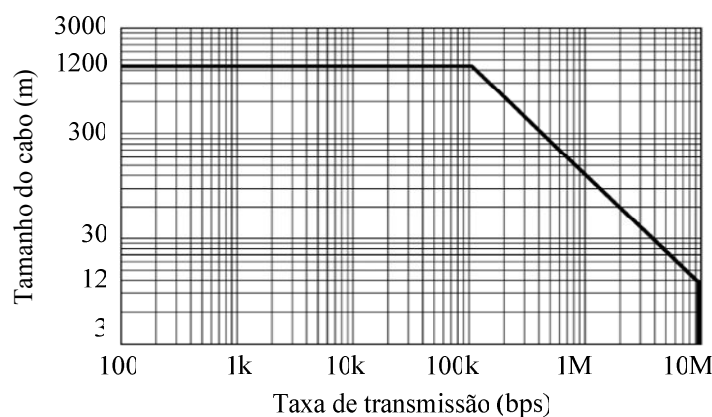


Figura 3.15 – Comprimento do cabo *versus* taxa de transmissão de dados.

Além das características apresentadas, a escolha do padrão RS-485 como meio físico do projeto apresenta vantagens, tais como: necessita apenas de uma fonte simples de +5 volts para alimentar os circuitos de transmissão e recepção; aceita tensões em modo comum dentro dos limites de -7 volts a +12 volts; possui alta imunidade a ruídos; sinais de referência diferentes entre dispositivos ligados ao barramento não interferem na transmissão de dados; e apresenta uma construção do barramento confiável e de baixo custo.

Apesar de a interface suportar transmissão e recepção de dados através dos mesmos fios, exatamente por existir apenas um caminho, um determinado dispositivo pode apenas receber ou transmitir dados em um determinado momento. Tal comunicação é denominada *half-duplex*.

Os *tranceivers* escolhidos para a construção da interface são: o DS75176, produzido pela *National Semiconductor* ®; e o SN75176B, fabricado pela *Texas Instrument* ®. Tais *tranceivers* podem ser encontrados no mercado brasileiro com bastante facilidade e com preços amigáveis.

3.5.2 CONVERSOR RS-232 PARA RS-485

O padrão RS-232 ganhou aceitação muito grande com a crescente popularidade da comunicação assíncrona dentro da indústria. O uso deste padrão é notável em quase todas as aplicações industriais, equipamentos portáteis, computadores pessoais e sistemas de aquisição que usam porta serial para comunicação (COSTA, 2003). Assim, o desenvolvimento de interfaces que convertam os sinais usados pelo protocolo RS-485 em sinais usados pelo protocolo RS-232 se mostrou necessário. A interface desenvolvida utiliza três sinais do padrão RS-232: Tx para transmissão, Rx para recepção e RTS para o controle de direção dos dados na interface. A figura 3.16 mostra o esquemático do circuito de interface entre os padrões RS-232 e RS-485.

As linhas RX, TX e RTS do barramento RS-232 são conectadas diretamente no circuito integrado MAX232, onde seus sinais são convertidos para o padrão TTL, que, por sua vez, são convertidos para o padrão RS-485 no circuito integrado 75176. O controle de sentido do 75176 é feito por meio do transistor (Q). Assim, quando a linha RTS envia nível lógico alto, o transistor (Q) inverte o sinal TTL nas entradas de controle do 75176, habilitando-o para a recepção de sinais no padrão RS-485. De forma análoga, quando a linha RTS envia nível lógico baixo, o transistor (Q) habilita o 75176 para a transmissão de sinais no padrão RS-485.

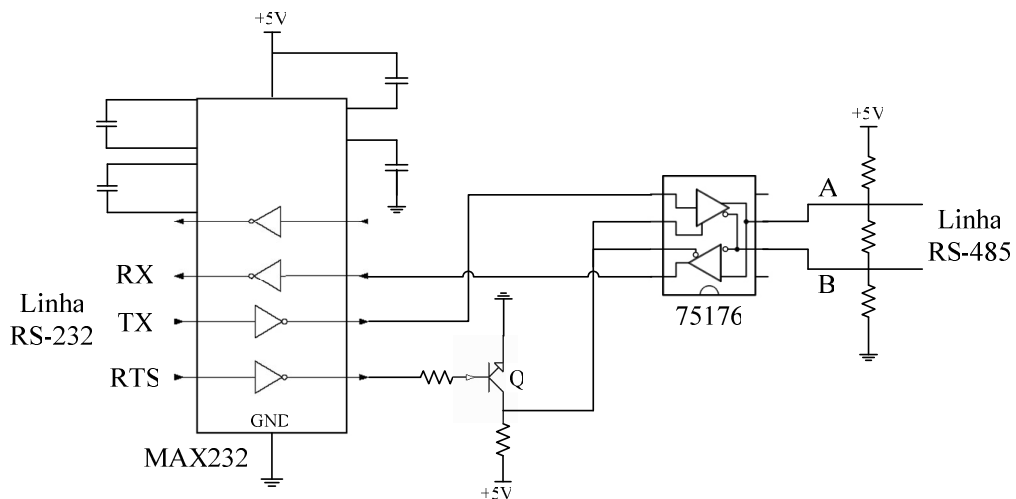


Figura 3.16 – Circuito conversor de RS-232 para RS-485.

3.6 ENGENHARIA DA INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EM CAMPO

O ambiente que cerca uma estação de tratamento de esgoto é agressivo, afetando tanto as pessoas como os equipamentos. Dessa forma, além da preocupação em desenvolver equipamentos de baixo custo, eles devem ser projetados para suportar a agressividade do ambiente de trabalho. Na busca de soluções que atendessem a esses propósitos, os fatores a seguir foram levados em consideração.

3.6.1 TEMPERATURA AMBIENTE

Em sistemas eletrônicos, temperaturas acima da especificada pelo fabricante podem acarretar mau funcionamento ou até danificação do equipamento. Dessa forma, a sensibilidade à temperatura apresentada por instrumentos eletrônicos é importante consideração no projeto de circuitos e na seleção de componentes. Para minimizar o problema, a alimentação geral do sistema de medição foi projetada para ficar em uma caixa à parte do sistema microcontrolado, de forma que a dissipação térmica da fonte não causasse problemas ao microcontrolador e seus periféricos.

3.6.2 CORROSÃO

A corrosão é causada por gases gerados na decomposição do esgoto, como o gás sulfídrico (H_2S) e a amônia, ou pela manipulação de reagentes químicos, como o cloro. O H_2S é o mais problemático, por ser encontrado em maior quantidade, pois faz parte da composição do biogás, produzido pelas bactérias metanogênicas do reator UASB.

Os circuitos de condicionamento de sinal e o sistema microprocessado foram colocados

em caixas herméticas com grau de proteção IP65, de modo a minimizar a corrosão dos equipamentos eletrônicos. Segundo a norma NBR 6146, o grau de proteção IP65 deve conferir ao componente proteção contra jatos d'água e contra a poeira. Um verniz especial para placa de circuito impresso também foi utilizado de modo a aumentar a durabilidade dos componentes eletrônicos. Estudos anteriores comprovaram a necessidade dessas medidas, pois parte dos circuitos foi destruída por conta de uma falha na vedação das caixas.

3.6.3 INFILTRAÇÃO

No caso do LM35 usado para a medição da temperatura interna do reator UASB, vários testes foram necessários na busca de uma forma de impermeabilizar equipamentos semicondutores e suas ligações elétricas que ficariam submersos. Os sensores utilizados foram sendo substituídos por outros com melhor impermeabilização à medida que se constataavam fragilidades. A solução encontrada foi a utilização de resina de bloqueio contra umidade e pressão, similar às que são usadas em ligações elétricas de telefonia, possibilitando a submersão.

No caso do sensor de pH, que também trabalha submerso, o equipamento especificado possui grau de proteção IP68, e é preparado para suportar aplicações químicas, tais como processos de tratamento de esgoto. Segundo a norma NBR 6146, o grau de proteção IP68 deve conferir ao componente proteção contra submersão e contra a poeira.

3.7 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Esse capítulo descreveu os aspectos envolvidos no projeto, desenvolvimento e implantação da instrumentação eletrônica usada no sistema de monitoramento automático proposto. Alguns problemas encontrados durante a instalação da instrumentação em campo ocorreram pelo fato da não previsão desse tipo de equipamento durante o projeto inicial da estação, tais como as adaptações da parte superior do reator UASB para a submersão dos sensores de pH e temperatura.

Sobre o meio físico de comunicação digital, como as maiores distâncias encontradas em campo durante a instalação do protótipo foram menores que quinze metros, a velocidade de transmissão pôde ser mantida baixa (19.2kbps) para atender todos os propósitos do sistema e os níveis de ruídos ambientais foram baixos o suficiente para não interferir na comunicação de dados. O sistema trabalhou bem tanto com o meio físico RS-232 quanto com o RS-485.

Capítulo 4

ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO

4.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar a descrição da arquitetura mestre-escravo usada no sistema e o funcionamento de cada módulo que o compõe, abordando o desenvolvimento de *hardware* e *software* para cada um. Para o módulo escravo, é discutida a construção da placa de aquisição de dados analógicos usada no sistema. Além disso, são descritas as principais funções de programação. Também são mostrados os princípios de funcionamento do mestre, a interface homem-máquina, assim como seus recursos de configuração e adaptação aos escravos.

O protótipo desenvolvido possui um módulo escravo de aquisição de dados analógicos controlado por um *software*-mestre projetado e desenvolvido para funcionar em um computador pessoal que realiza a aquisição, armazenamento em banco de dados e tratamento das informações enviadas pelo módulo escravo.

4.2 ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura de um sistema é definida em Matsusaki (2004) como sendo “um conjunto de especificações que representam as funções de seus componentes e suas interfaces”. A elaboração de uma arquitetura consiste, portanto, em especificar os componentes, suas interfaces, inter-relações e restrições. De uma forma concreta, uma arquitetura de controle tem como objetivo básico atribuir funções aos componentes específicos que fazem parte do sistema. Assim, cada componente é definido por um conjunto de responsabilidades inter-relacionadas a partir da definição de mecanismos para coordenação da execução das funções no contexto global (MATSUSAKI, 2004).

Dessa forma, uma das primeiras etapas de projetos de sistemas de controle de um processo industrial é o desenho da arquitetura do sistema, quando são organizados os seus principais elementos, tais como: instrumentos, controladores e o sistema de supervisão (COSTA, 2003). Especificamente para sistemas de tratamento de esgotos, duas opções se mostram atraentes: a arquitetura centralizada e a arquitetura distribuída.

4.2.1 ARQUITETURA CENTRALIZADA

A arquitetura centralizada consiste basicamente de dispositivos (D) tais que não possuam capacidade de processamento, ligados a uma unidade central (UC), como mostra o diagrama representativo apresentado na figura 4.1. Tal arquitetura foi uma das primeiras a ser utilizada na indústria. Dependendo, entretanto, do número de processos a serem monitorados, ou da disposição espacial dos componentes de determinado processo, esta arquitetura pode apresentar desvantagens, tais como: o crescimento do tempo de resposta de forma proporcional ao porte do sistema, dificuldade de realizar modificações não previstas em HARDWARE e SOFTWARE, limitação da capacidade física e de processamento da unidade central (MATSUSAKI, 2004).

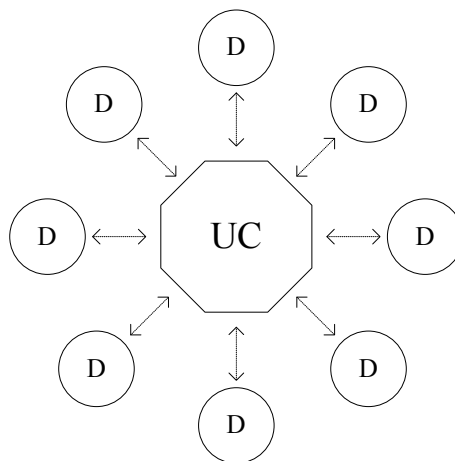


Figura 4.1 – Diagrama representativo de uma arquitetura centralizada.

4.2.2 ARQUITETURA HIERÁRQUICA

Com o avanço tecnológico dos dispositivos usados para a supervisão e controle de processos e comunicação de dados, uma série de possibilidades se tornou viável como forma de resolver os problemas inerentes à arquitetura centralizada. Uma solução foi distribuir os dispositivos localizados em único ponto, deixando-os mais próximos do processo. Uma vantagem desta solução é a redução da infra-estrutura necessária para o transporte de informação na medida em que parte do processamento é feito localmente, possibilitando uma redução nos esforços de cabeamento para transmissão de dados e no processamento central (COSTA, 2003).

A arquitetura hierárquica apresenta níveis de controle e pode conter vários módulos organizados de forma piramidal, como mostra a figura 4.2. Todas as atividades do nível inferior são ditadas pelo nível superior, caracterizando uma relação mestre-escravo. As

interações dos módulos limitam-se aos inter-relacionamentos verticais do módulo superior com os seus subordinados (MATSUSAKI, 2004).

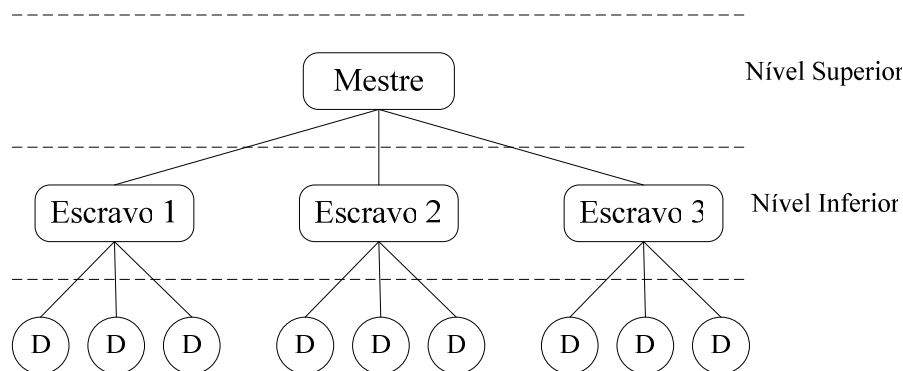


Figura 4.2 – Diagrama esquemático da arquitetura hierárquica.

Segundo Matsusaki (2004), na arquitetura hierárquica, uma modificação, por exemplo, a introdução de um processo ou atividade não prevista anteriormente, ainda requer que o nível superior seja revisto, causando certo impacto na estrutura proposta.

Quando se prevê a expansão do sistema, porém, por exemplo, a inserção de novas placas de aquisição, a utilização dessa arquitetura se torna altamente vantajosa quando comparada com a arquitetura centralizada, pois há uma redução significativa nesse impacto, além de possibilitar aumento de sua capacidade física ou de processamento. Outra vantagem é que se consegue manter o tempo de resposta baixo, dividindo parte do processamento entre os módulos. Além disso, o investimento em infra-estrutura para transporte de informação é mais baixo, reduzindo os custos.

Além das qualidades descritas anteriormente, outras características ajudaram na escolha do sistema hierárquico como arquitetura do projeto, tais como: o aumento da confiabilidade do sistema, o isolamento entre as partes e a facilidade de integração com equipamentos de fabricantes diferentes.

4.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

Apesar de haver um número elevado de opções disponíveis, a escolha de um protocolo para o desenvolvimento do sistema digital de monitoramento automático levou em consideração restrições como memória de dados e de programa, de forma a possibilitar seu desenvolvimento e implantação em microcontroladores como os da família PICMicro®.

Decidiu-se pelo desenvolvimento de um protocolo assíncrono com transmissão

codificada em ASCII sobre RS-232 ou RS-485, de forma que possua estrutura simples, de fácil aprendizagem e não necessitar de sincronismo. Tal estrutura é composta por uma sequência de bytes que possibilite aos dispositivos: identificar seu endereço na rede; reconhecer uma mensagem endereçada a ele; determinar o tipo de ação a ser executada; obter todas as informações necessárias para executar a ação. Depois de estabelecido o modo de transmissão, foram definidos parâmetros da comunicação serial propriamente dita, tais como: *baud rate*, paridade e controle de fluxo. Para que a comunicação seja possível, os parâmetros da serial devem ser os mesmos para todos os dispositivos conectados à rede.

4.3.1 FLUXO DE DADOS

Na arquitetura mestre-escravo, apenas o mestre pode iniciar a comunicação (ação *query*) e os escravos devem responder à ação, enviando os dados requisitados ou confirmando a execução de uma tarefa solicitada pela *query* (ação *response*). Uma *query* enviada pelo mestre é recebida por todos os escravos, entretanto, apenas o escravo a quem a mensagem é endereçada deve aceitá-la, executar a tarefa e enviar uma resposta. Em caso de erro na transmissão da mensagem, mesmo que o escravo reconheça o endereço como seu, não deve responder à *query*. Isto ocorre com a intenção de evitar colisão de dados. A figura 4.3 mostra o fluxo de dados de um ciclo de comunicação *query* e *response*.

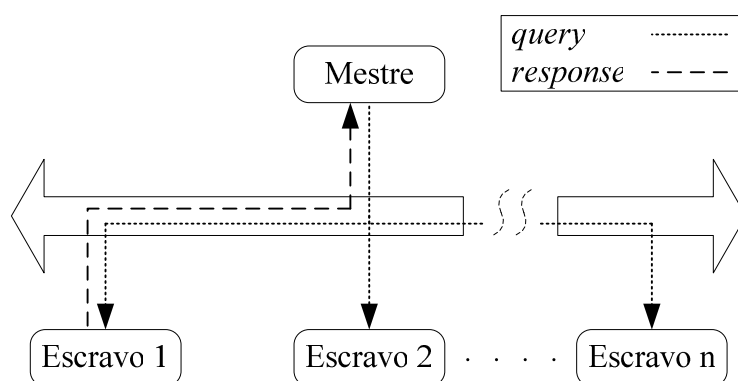


Figura 4.3 – Mestre enviando um comando endereçado a apenas um escravo.

4.3.2 ESTRUTURA DA MENSAGEM

A mensagem do protocolo de comunicação *query-response* deve possuir estrutura fixa que possibilite o reconhecimento de suas partes e a interpretação correta do comando e da resposta, tanto por parte do mestre quanto dos escravos. O formato da mensagem do protocolo desenvolvido é constituído de seis campos: início da mensagem, endereço do escravo que deve receber a mensagem, o código da função a ser executada, os parâmetros ou dados da

função, um campo de checagem de erro e, por último, indicação do fim da mensagem. A figura 4.4 mostra o diagrama de blocos da estrutura da mensagem e seus respectivos tamanhos em bytes. Esse formato é válido tanto para as mensagens enviadas pelo mestre quanto às enviadas pelos escravos.

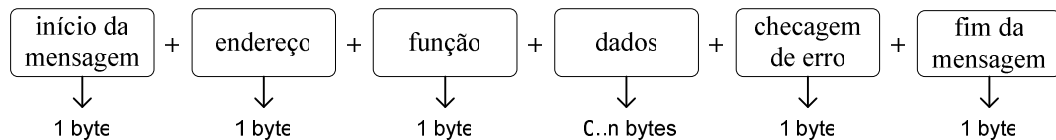


Figura 4.4 – Diagrama de blocos da estrutura da mensagem.

- Início e fim da mensagem: os principais campos da estrutura são os de início e fim de mensagem. Eles permitem que os dispositivos da rede detectem o início da mensagem e, a partir daí, interpretem as partes seguintes da mensagem. Em seguida, deve reconhecer o fim da mensagem e se preparar para receber nova mensagem. No protocolo desenvolvido, o campo de início é composto pelo byte 0x02, STX da tabela ASCII. O campo de fim é composto pelo byte 0x03, ETX da tabela ASCII.
- Endereço: a faixa de endereços válidos para os escravos é de 0 a 255. A mensagem *query* enviada pelo mestre deve conter, neste campo, o endereço do escravo que deve receber a mensagem. Já o escravo, ao enviar a mensagem *response*, deve inserir o próprio endereço, de forma que o mestre saiba quem está respondendo.
- Função: o código da função pode variar de 0 a 127. Os números 128 a 255 são reservados para a representação de erro de uma dada função. Quando um escravo responde a uma requisição, ele usa o campo de função para indicar execução normal ou erro. Em caso de erro, o oitavo bit do campo função estará em nível lógico 1. Em caso de execução normal, o código da função é deixado intacto e é ecoado na resposta (COSTA, 2003).
- Dados: o campo de dados é usado para transportar informações adicionais, caso o escravo necessite para a execução da função especificada no campo anterior da mensagem. Se determinada função não exige que o escravo envie dados adicionais, este campo é deixado vazio.
- Checagem de erro: o tipo de checagem de erro usado no protocolo é chamado de LCR (*Longitudinal Redundancy Check*), que consiste na soma dos valores dos campos da mensagem, excluindo, além do próprio campo de checagem de erro, os campos de início e fim de mensagem. O dispositivo que recebe a mensagem recalcula o LCR e compara

ao valor que recebeu no campo de checagem de erro. Se os dois valores não forem iguais, há ocorrência de erro.

4.3.3 RECEBIMENTO E VALIDAÇÃO DA MENSAGEM

Uma interrupção é um sinal de um dispositivo, no caso, a porta serial, que resulta em uma troca de contexto, isto é, o escravo pára de fazer o que está fazendo para atender o dispositivo que pediu a interrupção. Interrupções permitem que sistemas respondam a eventos gerados por dispositivos enquanto outro trabalho está sendo realizado.

Como o mestre é quem comanda a comunicação de dados, os escravos não sabem exatamente quando uma mensagem será enviada a eles. Para evitar o desperdício de tempo computacional dos escravos, em vez de ficarem parados esperando o evento (o envio de mensagem) acontecer, foi programada uma interrupção de recebimento de dados pela porta serial de modo a avisar ao escravo quando o evento ocorreu. Dessa forma, quando a porta serial de um escravo detecta o byte de início de uma mensagem, uma interrupção é gerada e o processamento normal do escravo é desviado de forma que ele pare o que estava fazendo e se prepare para receber o resto da mensagem. Intervalos de até duzentos milissegundos podem ocorrer entre o envio de bytes em uma mesma mensagem.

Quando ocorre um intervalo maior entre a chegada de um byte e outro, o escravo assume a ocorrência de erro de *timeout*, ou seja, é detectado um erro de transmissão tal que a mensagem não chegou completa no tempo previsto, forçando o descarte da mensagem. Caso não ocorra erro de *timeout*, após a detecção do campo de fim de mensagem, o escravo monta a mensagem em um vetor de bytes e dá início ao processo de validação. O primeiro passo é a verificação da integridade da mensagem a partir do cálculo do LCR e a comparação com o campo checagem de erro recebido na mensagem. Em seguida verifica-se o campo de endereço. Por último, é verificado se a função requisitada é válida para o escravo especificado. Após a validação, a mensagem é processada e a função executada. O fluxograma apresentado na figura 4.5 ilustra o procedimento de recebimento e validação de uma mensagem pelo escravo.

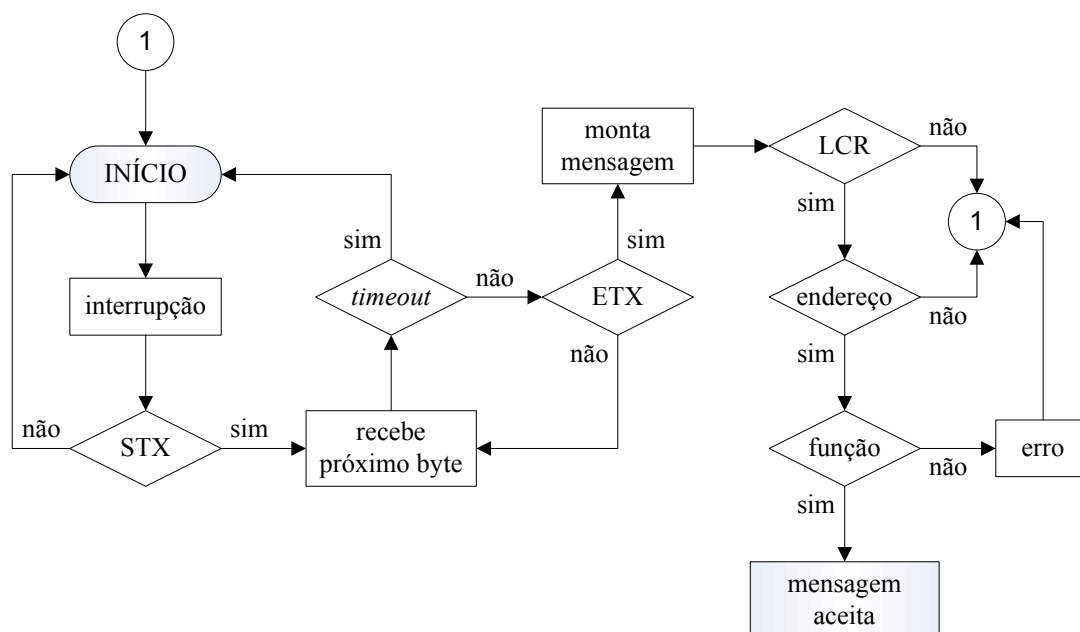


Figura 4.5 – Fluxograma de recebimento e validação de mensagem.

4.4 SISTEMA MESTRE-ESCRAVO

O protótipo desenvolvido possui um módulo escravo de aquisição de dados analógicos controlado por um *software*-mestre projetado e desenvolvido para funcionar em um computador pessoal, como ilustrado na figura 4.6, que realiza a aquisição, armazenamento em banco de dados e tratamento das informações enviadas pelo módulo escravo.

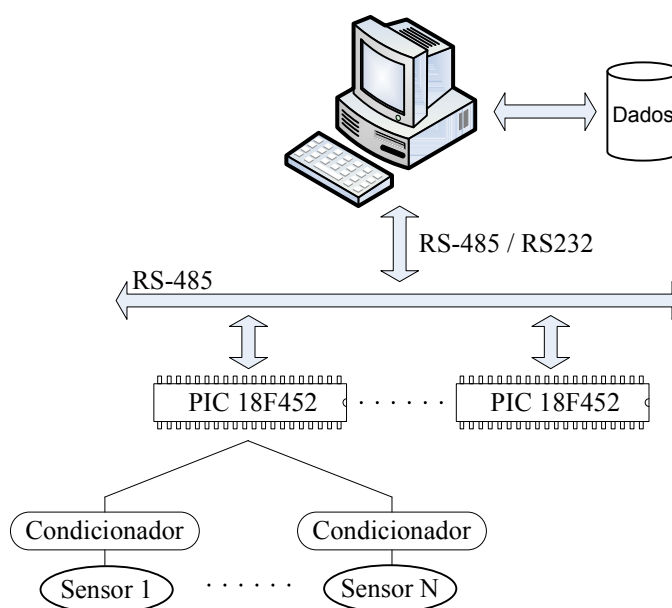


Figura 4.6 – Diagrama esquemático do sistema mestre-escravo de aquisição de dados.

4.4.1 MÓDULO ESCRAVO

O sistema digital de aquisição de dados foi construído com base no microcontrolador PIC18F452 da Microship®. Uma vantagem dos microcontroladores PIC sobre os demais modelos é a facilidade em achar material sobre ele, de livros a cursos completos. Outro aspecto interessante da família PICMicro® é que todos os modelos foram desenvolvidos a partir de uma base de projeto única. Esta característica da família PIC permite a compatibilidade de códigos (*assembly*) e a escalabilidade das aplicações desenvolvidas (PEREIRA, 2003).

O modelo PIC18F452 possui características importantes, como o oscilador de *clock*, que, por meio de um PLL, permite rodar este PIC em 40 MHz ou 100ns por ciclo de máquina. O alto desempenho da família de PICMicro® 18F4xx2 pode ser atribuído a características de arquitetura, tais como: arquitetura *Harvard* com barramento de dados de 8 bits e barramento de instruções de 16 bits; palavra de instrução longa (LWI - *Long Word Instruction*); arquitetura de instruções em *pipeline*; instruções de apenas um ciclo de máquina; conjunto de instruções reduzido (*RISC - Reduced Instruction Set Computing*).

O microcontrolador PIC18F452 possui uma coleção de periféricos abrangente, tais como: uma porta serial (USART) com suporte para RS-485; uma porta síncrona do tipo *master-slave* para SPI ou I²C; 33 pinos de E/S compartilhados com as funções especiais; 4 *timers*, sendo um de 8/16 bits, um de 8 bits e dois de 16 bits; 2 módulos de captura/comparador/PWM; uma porta paralela de 8 bits; conversor A/D de 8 ou 10 bits com 8 canais multiplexados (PIC18FXX2, 2002).

Além das características do PIC18F452, foram inseridos na placa de aquisição 512kbits de memória EEPROM I²C para maior capacidade de armazenamento de dados, um conversor TTL/EIA-232 e um TTL/EIA-485 para interfacear o barramento de comunicação e um mostrador alfanumérico de cristal líquido 16x2. As figuras 4.7 e 4.8 apresentam o diagrama de blocos da placa de aquisição com os periféricos internos e externos ao PIC, e uma foto do protótipo do módulo escravo desenvolvido e instalado na estação de tratamento de efluentes, respectivamente.

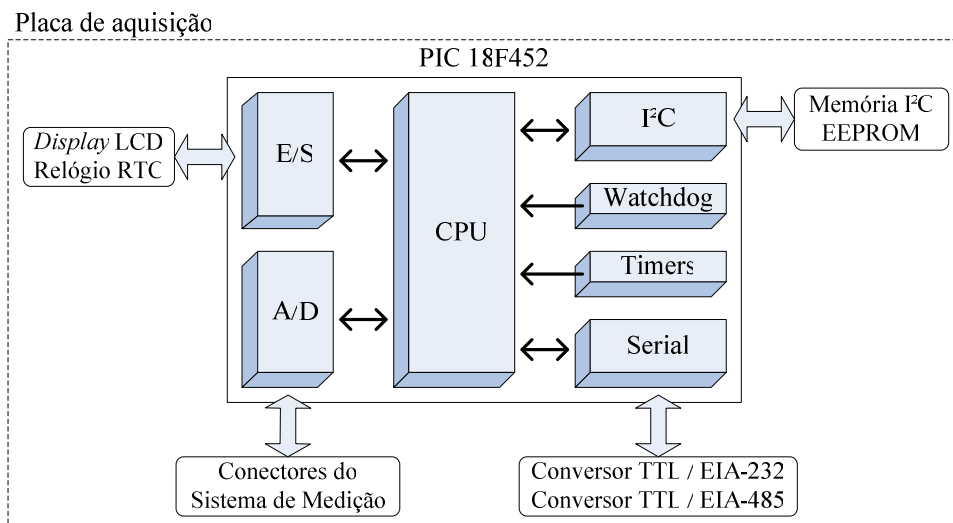


Figura 4.7 – Diagrama de blocos do escravo.

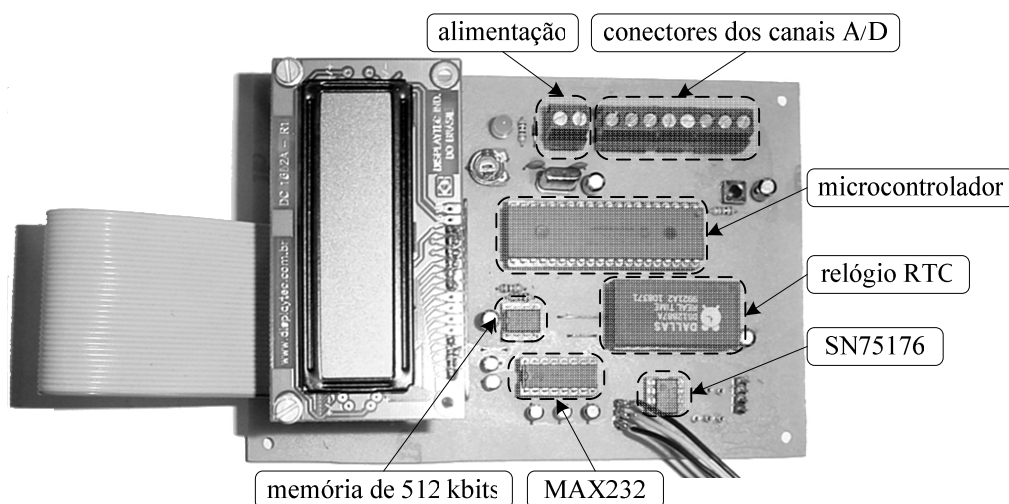


Figura 4.8 – Foto do escravo montado instalado em campo.

A programação do escravo é dividida em tarefas. Como é o mestre quem tem a prioridade no barramento de comunicação, o escravo deve esperar até que seja comandado a executar alguma das tarefas pré-programadas. A figura 4.9 apresenta o fluxograma de recepção, interpretação e execução de uma mensagem *query*, listando as possíveis ações a tomar. Após a execução da tarefa selecionada, uma mensagem *response* deve ser enviada ao mestre confirmando o recebimento e a execução correta ou enviando os dados requisitados ao escravo.

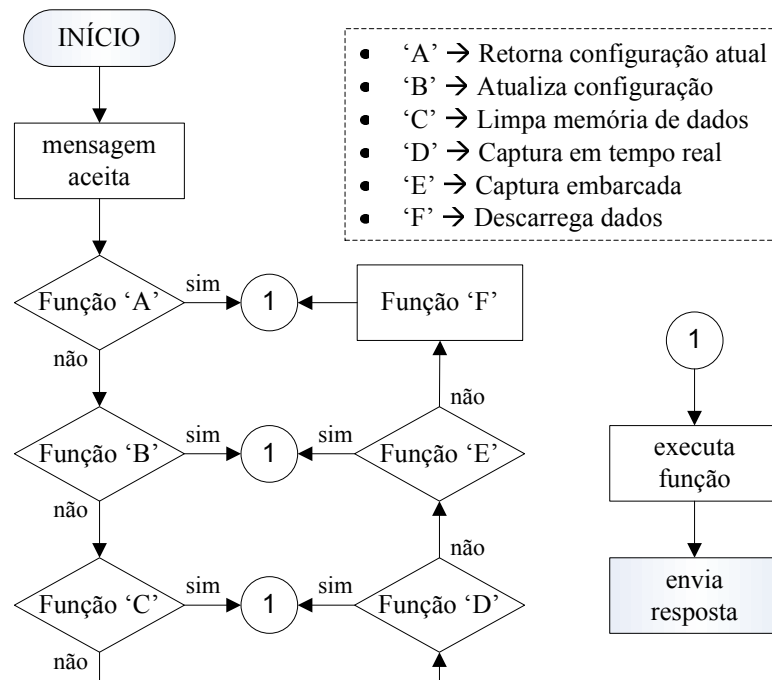


Figura 4.9 – Fluxograma de recepção, interpretação e execução de uma *query*.

- Retorna configuração atual – organiza as seguintes informações de configuração que estão armazenadas na memória externa: data e hora da última atualização de configuração, a quantidade de memória de dados usada até o momento, quantos e quais canais estão ativos, o tempo atual de captura de dados, se o sistema está em modo de captura programada ou em repouso. Após a organização, uma mensagem de resposta com todos esses dados é montada e enviada ao mestre como resposta ao comando.
- Atualiza configuração – recebe as seguintes informações do mestre: data e hora atual, quantos e quais canais deverão estar ativos, novo tempo de captura de dados. Depois de recebidas as informações, as respectivas variáveis de controle do sistema são atualizadas e uma mensagem *response* com a confirmação de recebimento e execução é montada e enviada ao mestre.
- Limpar memória de dados – esta tarefa zera o ponteiro de memória de dados. Vale ressaltar que a memória não é apagada fisicamente, aumentando assim sua vida útil. Após a execução da tarefa, o escravo retorna uma mensagem de confirmação ao mestre.
- Captura em tempo real – organiza as seguintes informações: quantos e quais canais estão ativos; e realiza uma leitura dos seus respectivos sensores. Em seguida, monta uma mensagem com essas informações e as repassa ao mestre.
- Captura programada - ao receber a ordem de execução dessa tarefa, o escravo deve iniciar ou parar a aquisição de dados programada, dependendo do estado anterior.

Quando a aquisição programada é acionada, o escravo executa uma leitura de cada um dos canais ativos, de forma sistemática e intervalada, de acordo com o tempo de captura previamente programado. Após a leitura, os dados são gravados na memória de dados do próprio escravo. Vale ressaltar que o escravo deve ser previamente configurado, de forma que ele saiba quais são os canais ativos e o tempo de captura.

- Descarrega dados adquiridos – essa tarefa abre um canal de comunicação entre o mestre e o escravo e dá início à descarga completa dos dados armazenados da memória de dados do escravo em blocos de até 32 bytes. A figura 4.10 apresenta o fluxograma que descreve esta tarefa. O início do fluxograma é o bloco ‘Executa Tarefa’ apresentado na figura 6.4. Após o envio da mensagem *query*, contendo o código da tarefa de descarga de dados, o escravo checa se é o início da descarga. Em caso positivo, ele monta uma mensagem contendo a quantidade total de bytes que devem ser enviados ao mestre e separa o primeiro bloco para ser enviado. Após esta preparação, o mestre deve requisitar os blocos de dados em sequência até que o último seja enviado. Caso um determinado bloco não seja validado pelo mestre, ele repete a requisição do último bloco enviado. Ao fim da transmissão de todos os blocos de dados, o escravo enviará uma mensagem avisando que não há mais dados a serem enviados ao mestre, que, por sua vez, terminará a comunicação.

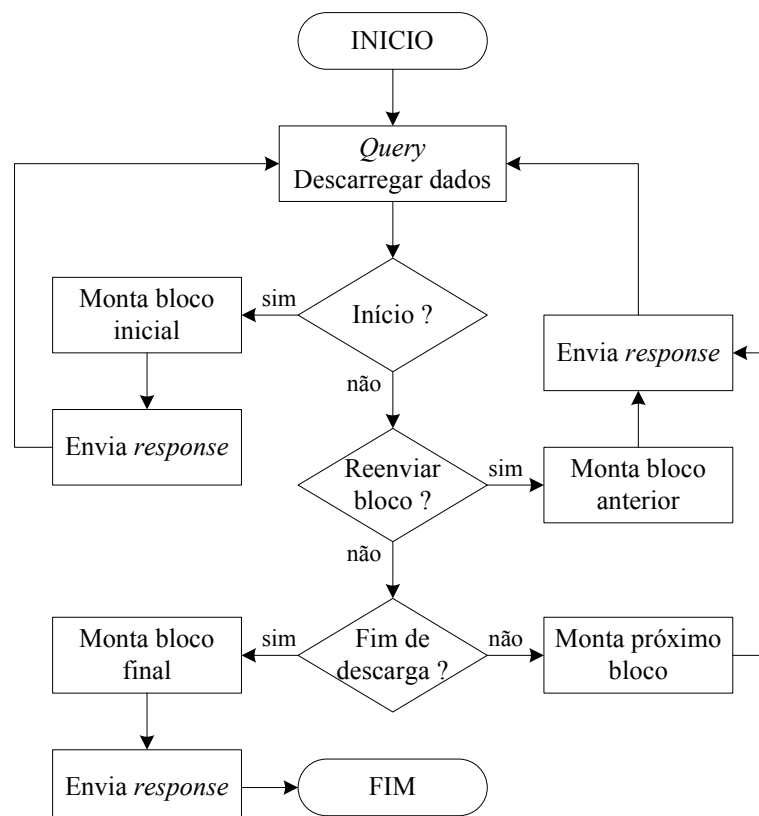


Figura 4.10 – Fluxograma de execução da tarefa ‘Descarrega dados adquiridos’.

4.4.2 MÓDULO MESTRE

Nesse projeto, um *software* desenvolvido para computador pessoal é utilizado como mestre e tem como objetivos gerais: monitorar o processo de forma automática, parametrizar os escravos e armazenar dados e configurações, criando uma base de dados histórica. O *software* permite a visualização das informações através uma interface homem-máquina amigável para usuários com noções de informática, permitindo o acesso a dados, seja em tempo real, seja acessando a base histórica formada.

A plataforma de desenvolvimento escolhida para o projeto foi a Borland® Delphi™ 7.0, pois fornece um ambiente de desenvolvimento intuitivo que permite aos programadores que trabalhem em um ambiente consistente para melhor eficiência e produtividade. Além disso, essa plataforma é difundida no mercado brasileiro e mundial, o que facilita o acesso à literatura específica e a grupos de discussão com quantidade considerável de usuários experientes.

A base de dados relacional foi construída em Access® pela sua simplicidade e fácil acesso. O programa mestre utiliza a tecnologia ADO (*ActiveX Data Objects*), tecnologia desenvolvida pela Microsoft®, que dá suporte à troca de informações com bases de dados a programas de computador simplificando o acesso não só a banco de dados relacionais, mas também a uma grande variedade de formato de dados. O ADO permite acessar sistemas de bancos de dados compatíveis com a tecnologia ODBC (*Open Data Base Connectivity*), entre os quais Access, SQL Server, Access, Informix ou Oracle.

A programação do mestre é orientada a eventos. A figura 4.11 apresenta as interações do usuário com o sistema de monitoramento a partir do mestre. Em seguida, uma descrição detalhada dos eventos será apresentada.

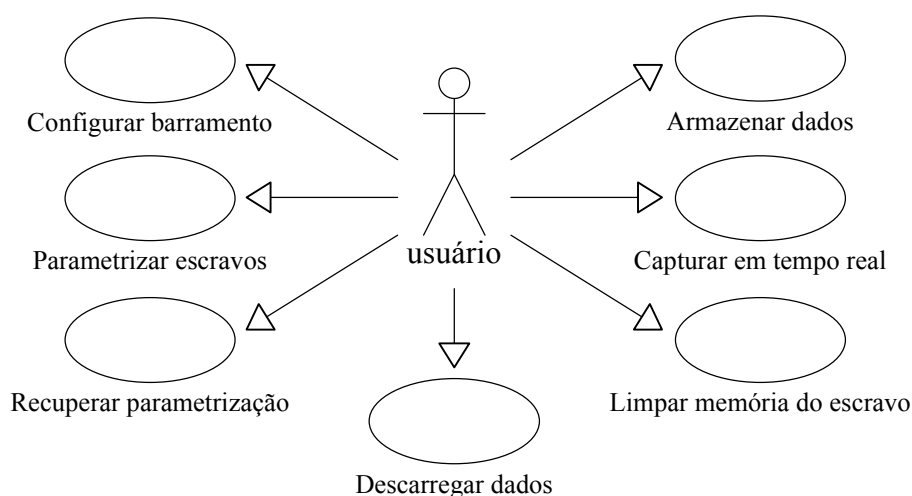


Figura 4.11 – Estrutura dos eventos possíveis do mestre.

4.4.2.1 Evento ‘Configurar barramento’

É o evento inicial do sistema. Após esta ação, o mestre estará apto a trocar informações com determinado escravo. A figura 4.12 mostra o fluxograma descritivo de tal evento. O usuário deve indicar a porta serial que será usada, e não pode alterar a porta enquanto o sistema estiver conectado. Para trocar a porta serial, deve-se antes desconectar o mestre, alterar o valor e reconectá-lo ao barramento de comunicação.

É disponibilizada também a opção de mudança nas configurações de tempo de varredura da serial (*polling delay*) e *timeouts* de entrada e saída de dados. Para o usuário final, tais informações podem não ser relevantes. Para ajustes do sistema durante sua instalação e configuração inicial, contudo, essas informações possibilitam corrigir erros de comunicação em tempo de execução do programa.

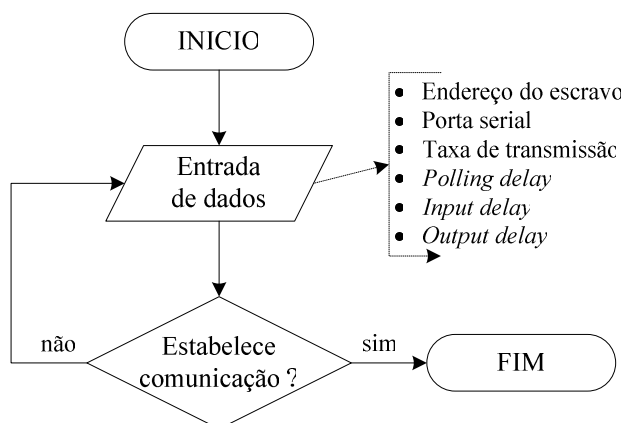


Figura 4.12 – Fluxograma descritivo do evento ‘Configurar barramento’

O parâmetro *Input Timeout* define o tempo em milissegundos que o mestre deverá esperar para que a mensagem completa seja lida do *buffer* de entrada da porta serial. O parâmetro *Output Timeout* define o tempo em milissegundos que o mestre deve esperar para que a mensagem seja copiada no *buffer* de saída da porta serial e enviada ao escravo. O parâmetro *Polling Delay* determina o tempo em milissegundos de espera antes de checar a chegada de um dado novo no barramento de comunicação. Quanto menor for esse tempo, mais vezes o mestre fará essa verificação.

4.4.2.2 Evento ‘Parametrizar escravo’

Depois de selecionado o escravo e configurado o barramento de comunicação, o usuário tem acesso aos outros eventos disponibilizados pelo mestre. Obedecendo uma seqüência lógica de operação do sistema, o usuário deve parametrizar o escravo de acordo com sua

ligação em campo e as especificações dos sensores e do processo. A figura 4.13 mostra o fluxograma descritivo do evento ‘Parametrizar escravo’. Com esse evento, o escravo estará apto a iniciar uma operação de captura de dados.

Depois de selecionado o escravo a ser parametrizado, o usuário deve escolher o tempo de captura de dados e indicar quais canais devem estar ativos. Após marcar determinado canal como ativo, o mestre requisitará informações específicas do canal. Cada canal ativo deve ser identificado por um nome e um tipo, além de especificar a unidade de medição da grandeza monitorada. Os valores máximo, mínimo e *offset* devem também ser indicados.

Depois de selecionados, os parâmetros são enviados, juntamente com a data e hora atual do sistema, ao escravo a partir de uma mensagem *query* específica. Após o recebimento de uma mensagem *response* por parte do escravo confirmando a atualização de suas configurações, o evento é finalizado.

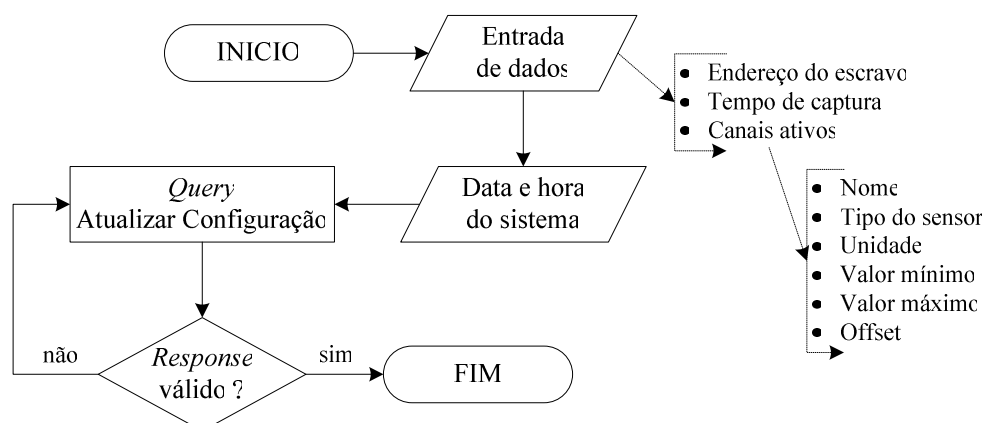


Figura 4.13 – Fluxograma descritivo do evento ‘Parametrizar escravo’.

4.4.2.3 Evento ‘Recuperar parametrização’

Ainda em relação à parametrização dos escravos, outro evento disponível ao usuário é a recuperação da configuração atual de determinado escravo. A figura 4.14 mostra o fluxograma descritivo do evento ‘Recuperar parametrização’. Depois de o escravo ser selecionado, o mestre envia uma *query* com a requisição da configuração atual. Como resposta a este evento, o escravo deve enviar quais canais estão ativos entre os oito disponíveis, o tempo de captura, a data e a hora em que este foi configurado e quanto de memória de dados foi usado. Após receber os dados, o mestre organiza e apresenta o resultado ao usuário.

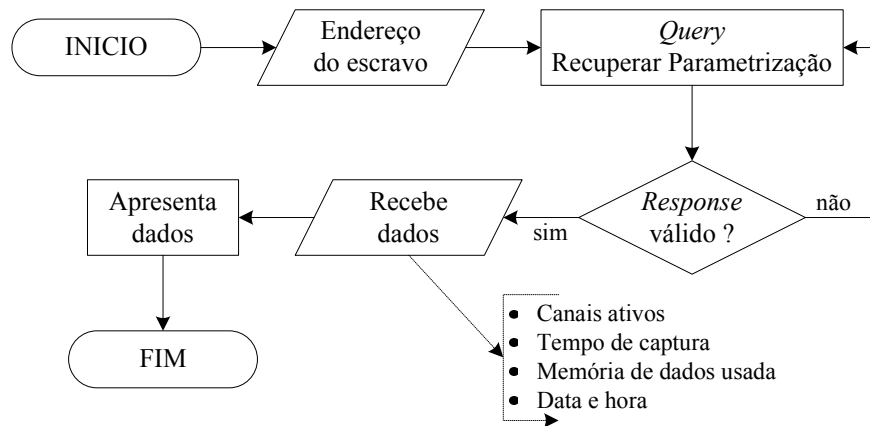


Figura 4.14 – Fluxograma descritivo do evento ‘Recuperar parametrização’.

4.4.2.4 Evento ‘Descarregar dados’

Depois de o escravo ser previamente configurado para coletar dados dos canais ativos e salvar os resultados em sua memória de dados, ele deve ser comandado a iniciar a captura programada e continuar adquirindo até que o mestre requisite a descarga completa de dados por meio do evento. O evento ‘Descarregar dados’ é o responsável por enviar a requisição de descarga completa dos dados armazenados na memória de dados de um escravo e gerenciar tal descarga. Esse processo é análogo à tarefa ‘Descarrega Dados Aquisicionados’ executada pelo escravo e descrita anteriormente na figura 4.10.

4.4.2.5 Evento ‘Capturar em tempo real’

Uma forma alternativa de captura de dados é a captura em tempo real. Diferentemente da captura programada, em que os dados lidos nos canais ativos são salvos na memória do escravo para só depois serem requisitados pelo mestre, neste tipo de captura, o mestre enviará, sistematicamente, requisições de envio dos dados atuais lidos nos canais ativos. A figura 4.15 mostra o fluxograma descritivo do evento executado pelo mestre para efetivar a ação.

Depois de o usuário iniciar a captura em tempo real, o mestre enviará uma mensagem *query*, requisitando os dados atuais. Caso a mensagem *response* seja válida, o mestre recebe, organiza em lista e apresenta os dados ao usuário. Após a apresentação, o mestre aguardará por um tempo indicado pelo usuário até enviar uma nova mensagem *query*, reiniciando o processo. Tal sequência de ações ocorrerá até que o usuário interfira, terminando o evento.

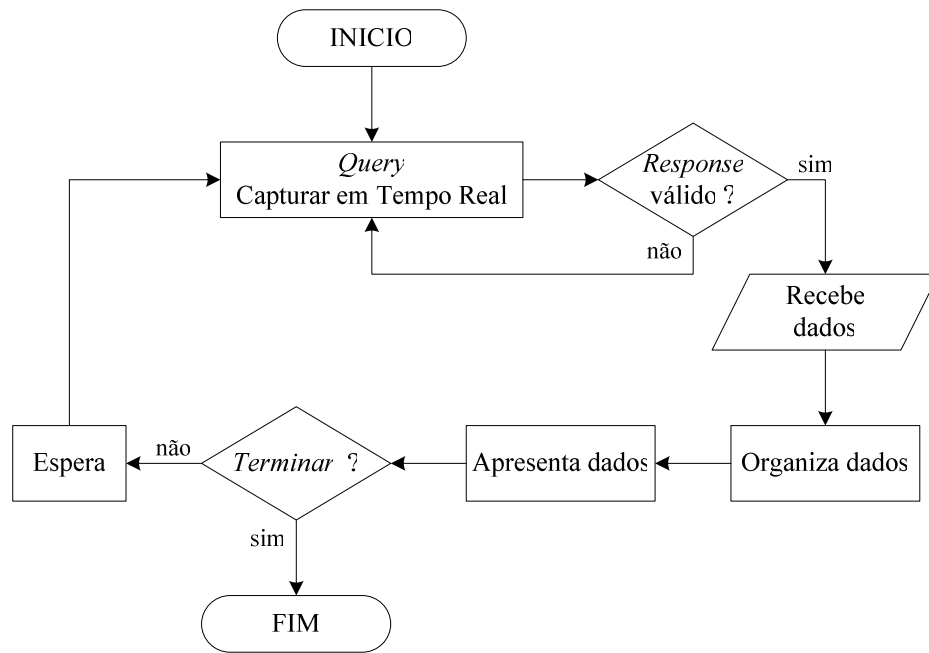


Figura 4.15 – Fluxograma descritivo do evento ‘Capturar em Tempo real’.

4.4.2.6 Evento ‘Armazenar dados’

Após a captura de dados provenientes de um escravo, o mestre disponibiliza a opção de armazenamento de informações em banco de dados por meio do evento ‘Armazenar dados’. A figura 4.16 mostra o fluxograma descritivo do evento executado pelo mestre para efetivar a ação. São informações requeridas para executar esta ação: lista de valores adquiridos relativos a cada um dos canais ativos; tempo de captura; lista de canais ativos; configurações sobre cada canal ativo; e data e hora da primeira e da última aquisição. Tais informações são necessárias tanto para a captura programada como para a captura em tempo real, de forma a padronizar os dados armazenados.

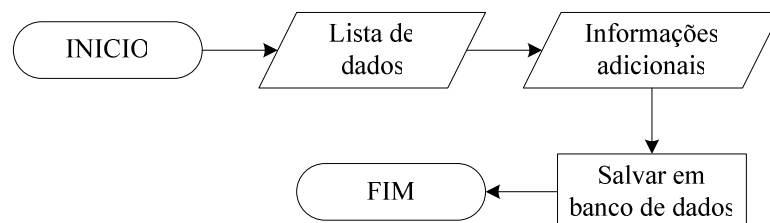


Figura 4.16 – Fluxograma descritivo do evento ‘Armazenar dados’.

4.4.2.7 Evento ‘Limpar memória do escravo’

Esse evento envia uma mensagem *query* ao escravo com uma requisição para que ele execute a tarefa ‘Limpar memória de dados’. Após a execução da tarefa, o escravo retorna

uma mensagem de confirmação ao mestre. A figura 4.17 apresenta o fluxograma representativo da execução desse evento pelo mestre.

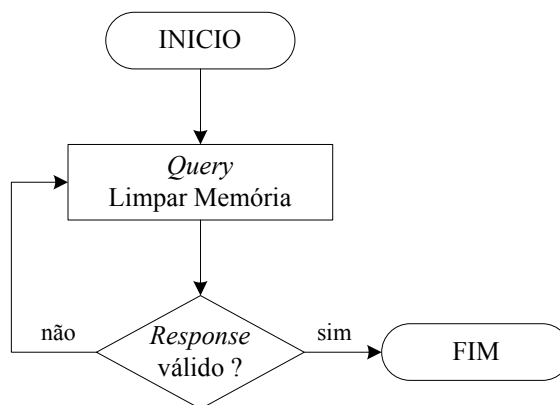


Figura 4.17 – Fluxograma descritivo do evento ‘Limpar Memória do Escravo’

4.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA DO SISTEMA

Nesta seção, apresentam-se as principais telas do programa mestre. A figura 4.18 mostra a tela principal do mestre, a partir da qual o operador tem acesso às funcionalidades do sistema. Tais funcionalidades foram descritas no capítulo anterior.

Ao iniciar o programa, o operador possui basicamente dois objetivos: configurar o sistema para coletar dados do sistema, seja de forma programada ou em tempo real; ou visualizar dados da base histórica do sistema.

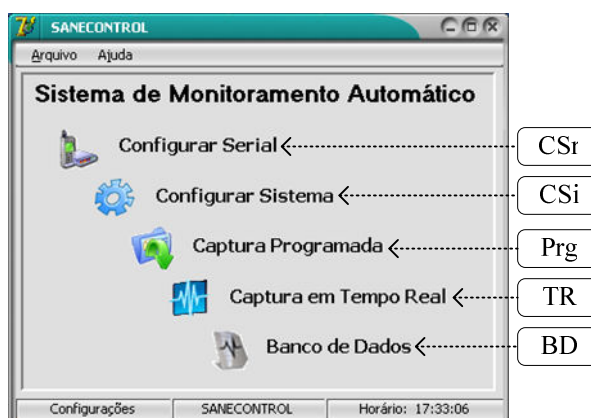


Figura 4.18 – Tela principal do *software*-mestre.

A primeira etapa para a configuração do sistema, tanto para capturar dados de forma programada quanto em tempo real, é conectar o mestre a um escravo. Para tanto, a opção de configuração do barramento de comunicação, indicada por (CSr) na figura 4.18, deve ser

selecionada. Dessa forma, o operador é direcionado à tela de configuração do barramento de comunicação, apresentada na figura 4.19.



Figura 4.19 – Tela de configuração do barramento de comunicação.

Esta tela dá acesso ao evento ‘configurar barramento’, e disponibilizada também a opção de alteração de todos os parâmetros relativos ao evento. Um mostrador (Led) apresenta a situação atual da conexão, exibindo a cor vermelha se o sistema está desconectado, a verde se conectado, e a amarela se ocorreu algum erro durante a tentativa de conexão.

Após a conexão estar estabelecida, o operador volta para a tela principal e seleciona a opção de configurar sistema, indicada por (CSi) na figura 4.18, sendo, então, direcionado à tela de parametrização dos escravos, mostrada na figura 4.20.

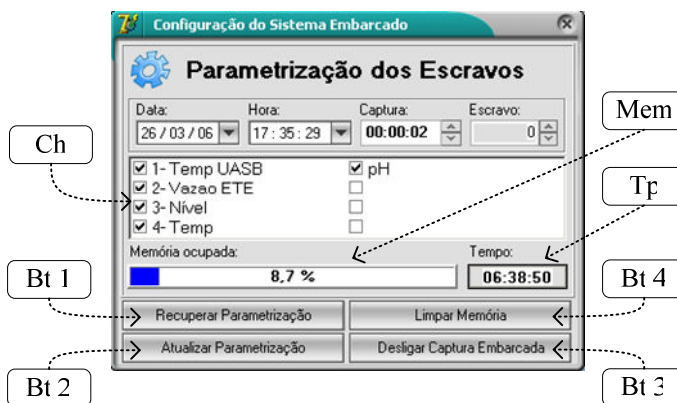


Figura 4.20 – Tela de parametrização dos escravos.

Esta tela dá acesso ao operador aos eventos relacionados à configuração dos escravos, que são: ‘recuperar parametrização’ (Bt1), ‘parametrizar escravo’ (Bt2), ‘captura programada’ (Bt3), ‘limpar memória do escravo’ (Bt4). A tela de parametrização dos escravos, por meio do evento ‘recuperar parametrização’, disponibiliza uma informação visual da porcentagem de memória de dados usada pelo escravo (Mem), bem como uma indicação de quanto tempo falta para que toda a memória seja usada (Tp).

É nesta tela também que os canais do escravo são configurados e ativados mediante a lista de *checkbox* (Ch). Ao ativar um canal, será pedido ao operador que as informações requeridas acerca daquele canal sejam disponibilizadas. Estas informações são: o nome do canal, o tipo do sensor conectado, a unidade de medida, o valor mínimo e o máximo a serem medidos, e o *offset*, caso seja pertinente.

Após o operador preencher todas as informações requeridas pelo sistema para a parametrização do escravo e atualizar a configuração do escravo por meio do botão (Bt2), o escravo estará pronto para iniciar a captura de dados, tanto em tempo real quanto programada. Uma peculiaridade do sistema é o fato de que ele suporta apenas um tipo de captura em um determinado instante, ou seja, ou o sistema está capturando dados de forma programada, ou em tempo real.

Caso a intenção seja utilizar a funcionalidade de captura programada, basta que o operador inicie a captura clicando no botão (Bt3). A partir daí, o escravo já inicia o trabalho, e o mestre pode ser desconectado do barramento de comunicação. Caso a intenção seja visualizar os dados em tempo real, o operador volta para a tela principal e seleciona a opção de captura em tempo real, indicada por (TR) na figura 4.18, que o direcionará para a tela apresentada na figura 4.21.

Nesta tela será possível ao operador visualizar a configuração atual dos canais ativos (Ch); escolher dentre os canais ativos quais são os que devem ser apresentados; definir o tempo de captura (Cap); iniciar e parar a captura de dados por meio do botão (Ini); e salvar no banco de dados os dados visíveis no gráfico (Grf) em determinado instante. Para que o usuário possa salvar os dados, lhe é requisitado que insira um título (T) e o nome do responsável (N), de forma a facilitar a identificação futura de tal massa de dados.

É disponibilizada a visualização da tendência (Td) da série de dados mediante o cálculo da média móvel de cada uma das séries de dados relacionadas com os canais ativos. A janela da média móvel, dada em minutos, pode ser ajustada por meio do campo (Jn).

Caso a operação escolhida para o escravo tenha sido a de captura programada, após um período menor ou igual ao tempo necessário para a memória de dados ser completamente preenchida, o operador deve efetuar o *download* dos dados armazenados no escravo. Para tanto, a partir da tela principal, o operador deve selecionar a opção de captura programada, indicada por (Prg) na figura 4.18. Dessa forma o usuário será direcionado para a tela apresentada na figura 4.22.

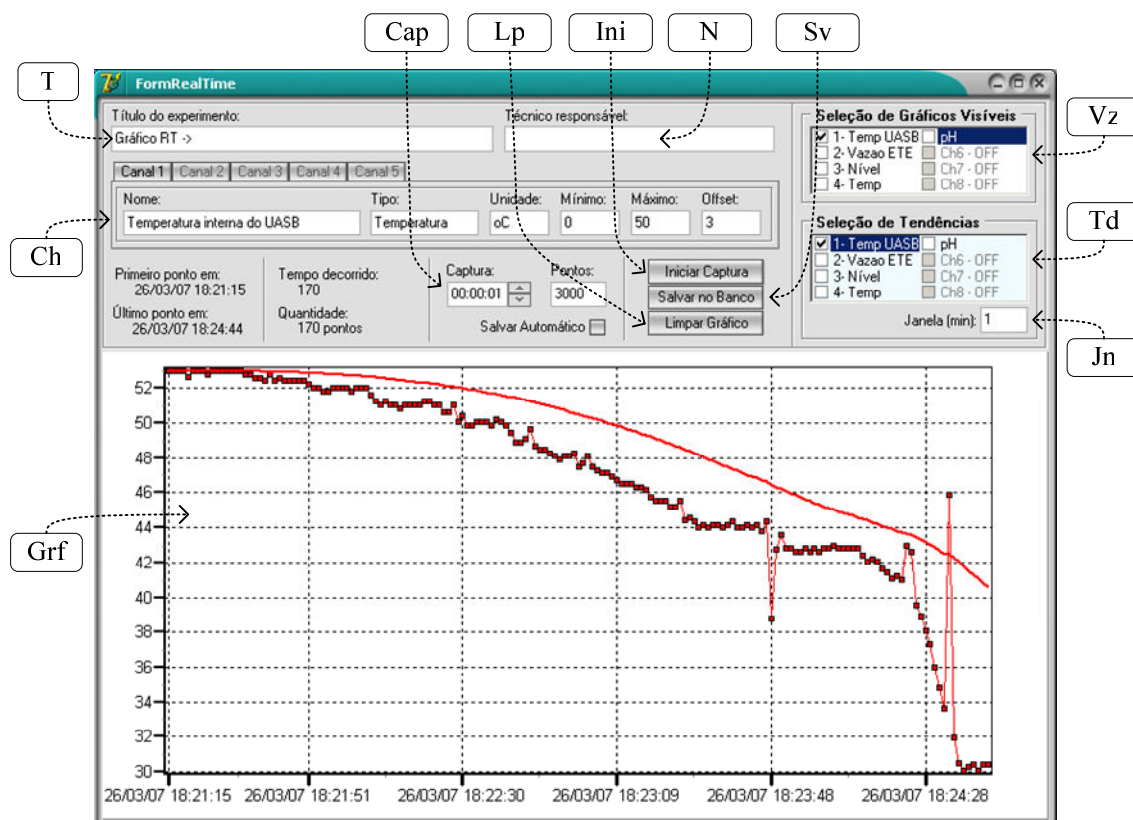


Figura 4.21 – Tela de captura em tempo real.

Nesta tela, o operador tem acesso aos seguintes eventos: a descarga de dados por meio do botão (Ini), e o armazenamento em banco através do botão (Sv). É disponibilizado ao operador um mostrador visual de progresso do evento de descarga de dados, juntamente com um bloco de informações (Info) relacionadas aos dados adquiridos, contendo: data e hora da descarga de dados; data e hora da primeira e última aquisição realizada pelo escravo; o intervalo de captura entre cada linha de dados; a quantidade de bytes usados na memória de dados do escravo; e quantos desses bytes já foram descarregados. Após o *download* ser finalizado, a lista completa de dados é apresentada pela tabela (Dds), e os dados estão prontos para ser salvos na base histórica de dados. Para efetuar o arquivamento dos dados, é requisitado ao usuário que insira um título (T) e o nome do responsável (N), de forma a facilitar a identificação futura de tal massa de dados.

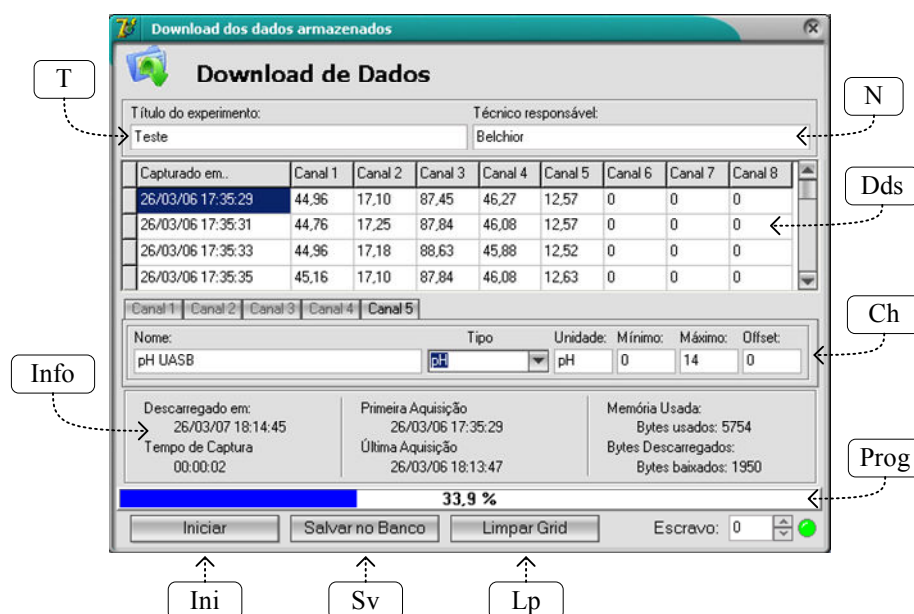


Figura 4.22 – Tela de descarga e armazenamento de dados.

O segundo objetivo do sistema é possibilitar a visualização das informações armazenadas no banco de dados, as quais foram gravadas por intermédio da tela de captura em tempo real, apresentada na figura 4.21, e da tela de descarga e armazenamentos de dados relacionados à captura programada, apresentada na figura 4.22. Para acessar a base histórica, o operador deve selecionar, a partir da tela principal, a opção banco de dados, indicada por (BD) na figura 4.18. Dessa forma, o usuário será direcionado para a tela apresentada na figura 4.23.

Para a seleção da massa de dados a ser apresentada, no canto superior esquerdo é disponibilizado ao operador um grupo de informações sobre as massas de dados (Exp) armazenadas, tais como: nome do experimento, tempo de captura, data e hora da primeira e da última aquisição. O operador navega entre os experimentos por meio de uma barra de navegação (Nav), tendo a opção de carregar a massa de dados para a tela (Ok) ou de apagar o experimento (Del).

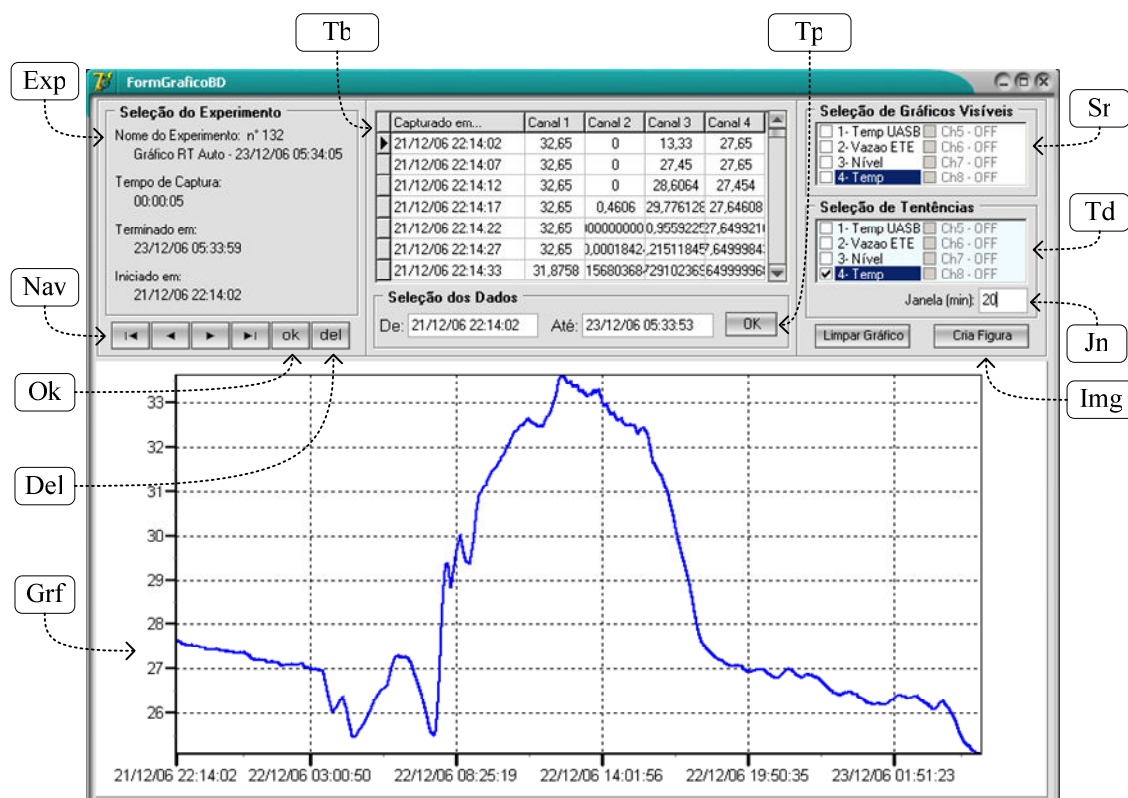


Figura 4.23 – Tela de visualização dos dados armazenados no banco de dados

Após os dados serem carregados, uma tabela (Tb) é montada. O usuário deve, então, escolher a faixa de tempo desejada (Tp) para o experimento escolhido. Executada esta ação, os dados selecionados serão plotados no gráfico (Grf). Tem-se a oportunidade de escolher quais séries (Sr) e quais tendências (Td) devem estar visíveis (Vz). Assim como na tela de captura em tempo real, apresentada na figura 6.17, a tendência de uma série é dada pelo cálculo da média móvel de seus respectivos dados instantâneos. A janela da média móvel, dada em minutos, pode ser ajustada por meio do campo (Jn). É disponibilizada a opção de geração de imagem (Img) de uma determinada visualização de dados, tanto instantâneos quanto suas médias móveis.

4.6 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Nesse capítulo, foram relatados o estudo e o desenvolvimento da comunicação de dados entre as partes constituintes do sistema, comentando acerca do formato das mensagens, do meio físico utilizado e de aspectos de *hardware* e *software* necessários para a implantação da arquitetura mestre-escravo.

Foram encontrados problemas na comunicação de dados entre mestre e escravo, quando o programa mestre foi instalado em computador com a configuração inferior a um Pentium III

1GHz com 32Mb de memória RAM. Por conta do processamento lento, o mestre corrompia os dados recebidos. A solução escolhida foi trocar o computador antigo por outro com uma configuração de *hardware* mais atual.

Possível fonte de problemas é o cálculo usado na checagem de erro nas mensagens, o LCR. Tal algoritmo foi pensado para ser usado quando a mensagem é codificada completamente em ASCII. No caso do protocolo desenvolvido, alguns dados são codificados em binário o que poderia ocasionar problemas tais que, mesmo na ocorrência de erro, o LCR não detectaria.

Apesar do tal problema não ter sido detectado, à medida que o sistema cresce em distância, velocidade e complexidade, a probabilidade de ocorrência desse tipo de erro aumenta, justificando uma revisão futura no algoritmo. Neste caso, uma sugestão é a implantação do CRC (*Cyclic Redundancy Check*) como cálculo para checagem de erro.

Este módulo completa a descrição do projeto e desenvolvimento do sistema automático de monitoramento de baixo custo adaptado a aplicações ambientais, desde a instrumentação até a concepção e desenvolvimento do *software* de gerenciamento geral do sistema. O próximo capítulo apresentará os resultados da experimentação de campo, juntamente com suas análises, concluindo assim o trabalho.

Capítulo 5

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1 INTRODUÇÃO

Este segmento tem por finalidade descrever os resultados da experimentação de campo do sistema automático de monitoramento desenvolvido e aplicado à estação de tratamento do Hospital Geral Waldemar de Alcântara (HGWA). A estação será caracterizada em termo de seus processos de tratamento de efluentes, o desempenho da configuração de monitoramento aplicada será discutido e seus resultados de campo serão analisados.

5.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO HOSPITAL GERAL WALDEMAR DE ALCÂNTARA

A ETE do hospital destina-se a realizar o tratamento preliminar e secundário dos efluentes da unidade. Esta fica situada no bairro de Messejana, em Fortaleza – CE. O esgoto do hospital é composto por dejetos humanos com grande número de microorganismos patogênicos e despejos dos setores de análises e desinfecção. Tais despejos têm em sua composição produtos químicos resistentes que modificam os aspectos e características dos esgotos, quando comparados ao esgoto doméstico convencional.

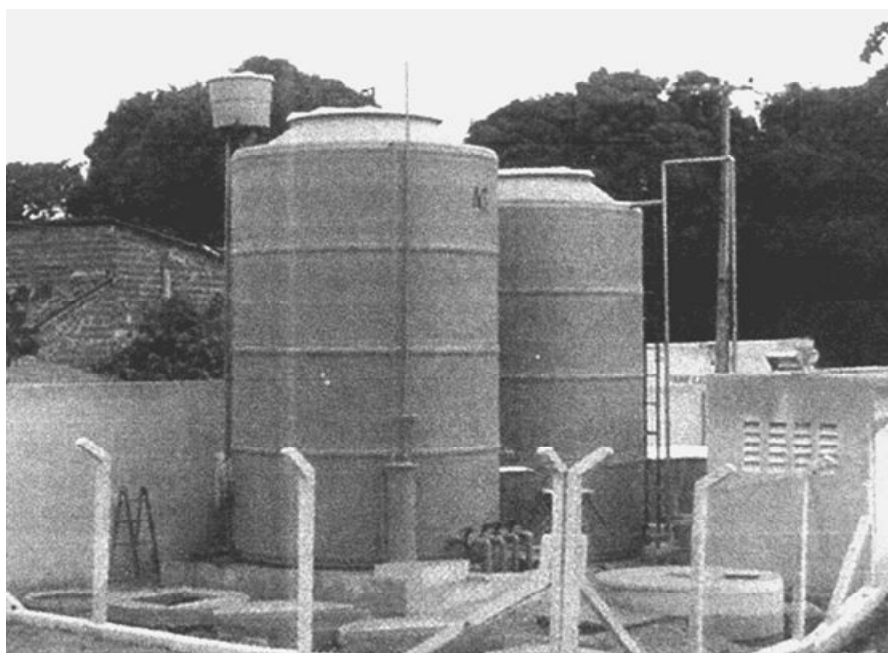


Figura 5.1 – Estação de tratamento do Hospital Waldemar de Alcântara.

A estação de tratamento, construída em uma área total de 120m², possui configuração combinada constituída pelo Reator UASB seguido de um processo aeróbio de lodo ativado com recirculação de lodo. Os parâmetros de projeto do sistema de tratamento completo são listados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Parâmetros de projeto da estação de tratamento de efluente do HGWA

<i>Parâmetro</i>	<i>Projeto</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
População equivalente	600 hab.	1000 hab.	-
Vazão média diária	100 m ³ /dia	150 m ³ /dia	70 m ³ /dia
Vazão média horária	5,0 m ³ /h	6,5 m ³ /h	3,0 m ³ /h
Temperatura	31 °C	36 °C	15 °C
pH	6,9	7,4	6,6

A figura 5.2 apresenta a planta baixa da estação de tratamento do HGWA, juntamente com a indicação dos principais componentes do sistema. A seguir, os parâmetros físicos das partes em destaque são apresentados.

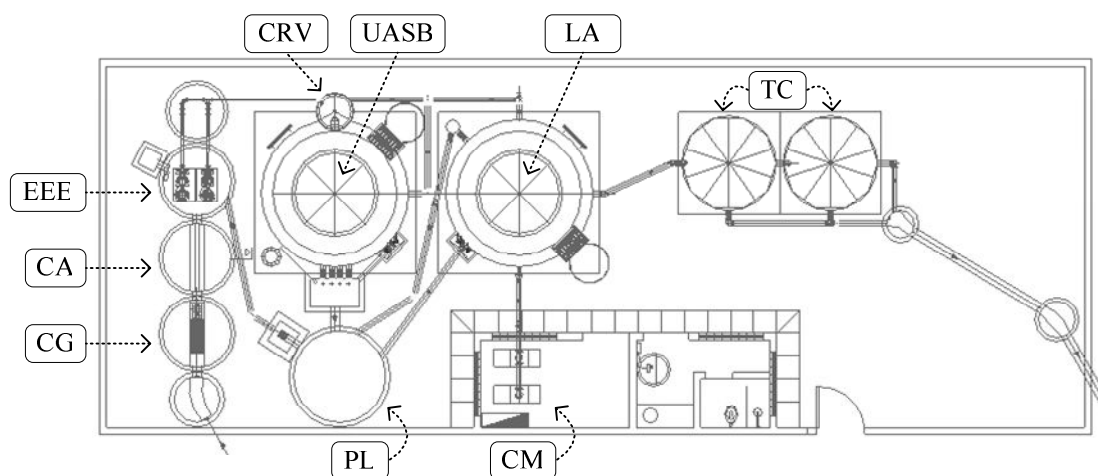


Figura 5.2 – Planta baixa da estação de tratamento de esgoto do HGWA.

- Caixa de grade (CG) com barras de limpeza manual, fixada com espaçamento de uma polegada em plano inclinado no interior do canal;
- caixa de areia (CA) com volume igual a 0,5m³, capaz de promover a precipitação de areia de até 0,1mm;
- estação elevatória de esgoto (EEE) de 1,5m de diâmetro e uma altura útil de 65cm;
- caixa repartidora de vazão (CRV) de 60 cm de diâmetro por 75 cm de altura, fixada a 30cm de altura em relação à parte superior do reator UASB;
- reator UASB de 4,5m de altura, possuindo um volume igual a 36,2m³;

- reator LA de 4,5m de altura, possuindo um volume igual a 25,2m³;
- decantador interno ao reator LA, possuindo um volume igual a 11m³;
- dois tanques de contato (TC) para desinfecção com volume igual a 1000 litros cada um;
- e
- uma casa de máquinas (CM) onde estão localizado o QGBT e os sopradores do reator LA.

Em termos de qualidade do efluente final, foram fixados no projeto os seguintes valores: $\text{DBO}_5 \leq 20 \text{ mg/l}$, e $\text{SST} \leq 30 \text{ mg/l}$. O efluente tratado é descarregado em uma galeria de águas pluviais em frente ao hospital, que deságua no riacho Paupina e corre até a lagoa Precabura, em Fortaleza – CE.

5.3 MEDIÇÕES EM CAMPO

O monitoramento do processo envolve uma linha de sensores, seguida pelo bloco de condicionamento dos seus respectivos sinais, onde cada sensor é ligado a um canal disponível de um determinado escravo. Sabendo que cada escravo suporta a ligação de até oito sensores, foi necessário instalar apenas uma unidade escrava no sistema experimental em razão do número de sinais a processar na fase atual do projeto. A tabela 5.2 lista a configuração dos canais e, em seguida, são apresentadas as principais funcionalidades do sistema.

Tabela 5.2 – Lista dos canais usados no sistema automático de monitoramento.

<i>Nº</i>	<i>Nome</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidade</i>
1	Vazão	Vazão afluente ao tratamento biológico	m ³ /h
2	Temperatura 1	Temperatura ambiente da ETE	°C
3	Temperatura 2	Temperatura interna do reator UASB	°C
4	pH	pH interno do reator UASB	pH

5.3.1 VAZÃO DE ENTRADA DE ESGOTO

O tempo de detenção hidráulica (TDH) é uma das principais variáveis operacionais de um sistema de tratamento biológico (PAIVA, 2003). A vazão de entrada dos reatores está diretamente relacionada ao tempo de permanência hidráulico de forma que quanto maior a vazão, menor é o TDH.

A estação de tratamento do HGWA foi projetada inicialmente para trabalhar em regime de batelada, ou seja, mediante ciclos de processamento, com vazão média horária que chegasse a um máximo de 5m³/h. Foi constatado durante a medição contínua efetuada pelo

sistema automático de aquisição de dados que, em alguns momentos do dia, a vazão média horária alcança $6\text{m}^3/\text{h}$ em seu funcionamento regular atual. Esta situação é constatada na figura 5.3, que apresenta o gráfico da vazão média de entrada. Tal medição ocorreu no dia 01 de março de 2007, iniciando às 15h10min e terminando às 17h10min. A figura apresenta a média móvel dos valores instantâneos de vazão com uma janela de uma hora. Tais valores instantâneos são apresentados na figura 5.4 e foram capturados com um intervalo de quinze segundos.

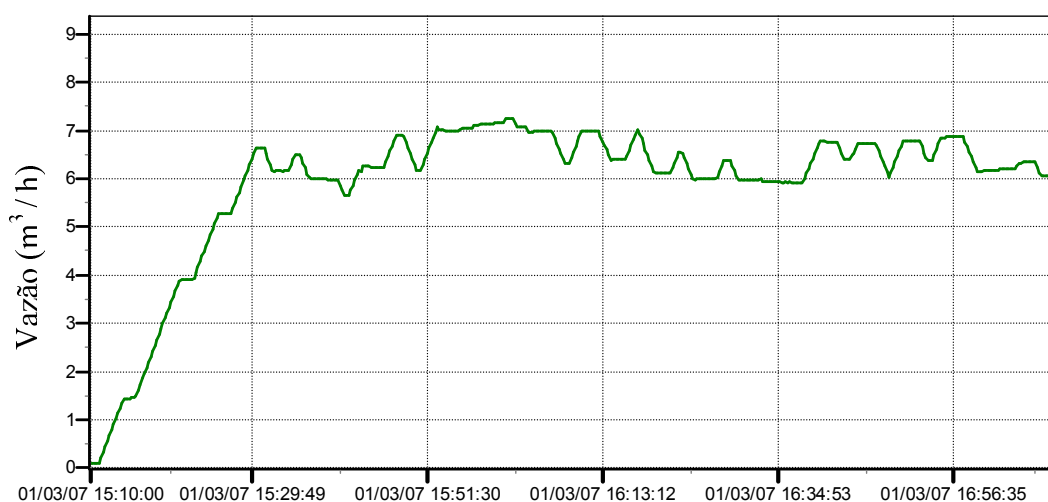


Figura 5.3 – Média móvel da vazão instantânea com janela de uma hora relativo ao dia 01 de março de 2007, de 15h10min às 17h10min (fig. 5.4).

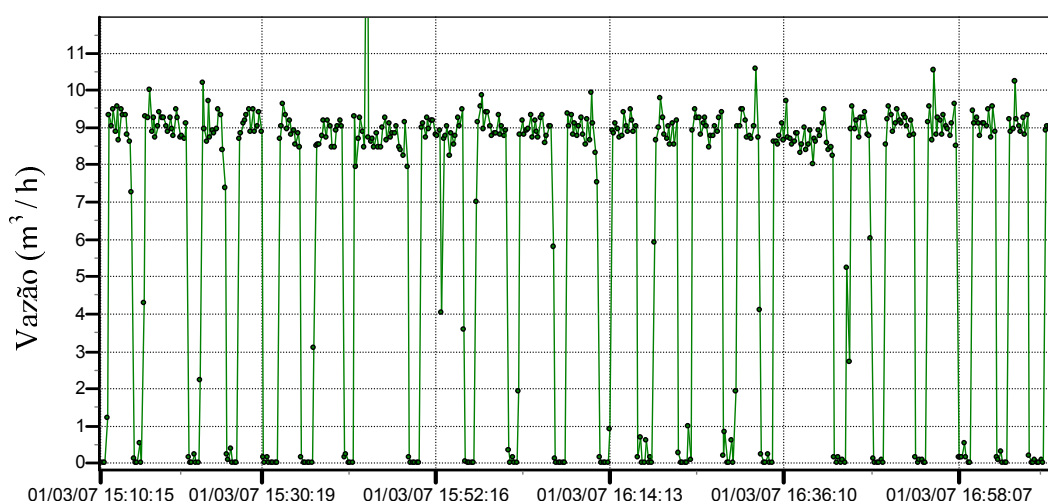


Figura 5.4 – Valor instantâneo da vazão relativo ao dia 01 de março de 2007, de 15h10min às 17h10min.

Com a implantação do sistema automático de monitoramento, nova informação foi disponibilizada – a vazão instantânea. A importância de tal informação foi comprovada pela análise de testes laboratoriais de sedimentação de sólidos juntamente com o cruzamento dos dados adquiridos de vazão instantânea mediante o sistema de monitoramento automático. Foi constatado que, quando a vazão de entrada instantânea se encontra em valores altos, por exemplo, o dobro do valor médio horário especificado no projeto, ocorre o fenômeno de arraste de sólidos dos reatores biológicos para o efluente da estação de tratamento, degradando a qualidade final do processo de tratamento, mesmo que a média horária se mantenha abaixo dos $5\text{m}^3/\text{h}$ especificados no projeto inicial.

Tal situação foi detectada com êxito no dia 09 de dezembro de 2006 entre 15h10min e 17h10min, quando encontrados picos de vazão instantânea de até $13\text{m}^3/\text{h}$ e, para o mesmo período, uma vazão média de $3,5\text{m}^3/\text{h}$, como mostram as figuras 5.5 e 5.6. A figura 5.5 mostra o gráfico da vazão média de entrada e apresenta a média móvel dos valores instantâneos de vazão com uma janela de uma hora. Os valores instantâneos relativos à media apresentada são mostrados na figura 5.6 e foram capturados com um intervalo de quinze segundos.

Após a detecção do problema, foi construída uma tubulação de retorno derivada da tubulação de entrada de esgoto nos reatores biológicos. A vazão da derivação de retorno pôde ser ajustada com a colocação de um registro de gaveta em esfera com diâmetro de 50 mm, construído em PVC. Com esse arranjo, a vazão instantânea pôde ser diminuída, mesmo em casos em que a vazão média estava próxima do limite máximo da estação (ver fig. 5.3 e 5.4).

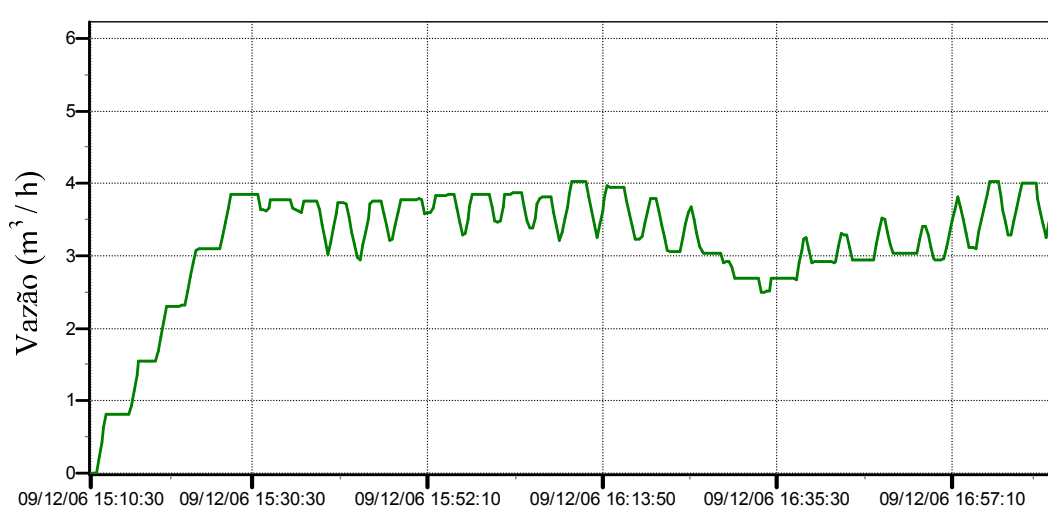


Figura 5.5 – Média móvel da vazão instantânea com janela de uma hora relativa ao dia 09 de dezembro de 2006, de 15h10min às 17h10min (fig. 5.6).

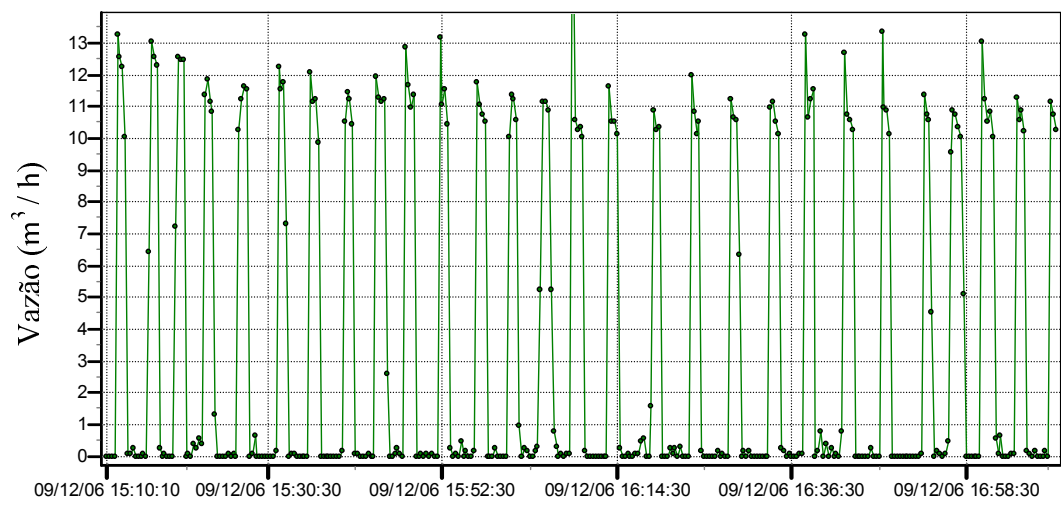


Figura 5.6 – Valor instantâneo da vazão relativo ao dia 09 de dezembro de 2006, de 15h10min às 17h10min.

Em um caso ideal, o valor instantâneo da vazão de entrada deve ser igual ao valor médio horário da vazão. Quando o sistema se encontra nessa faixa de operação, ele consegue trabalhar de forma contínua, mesmo quando projetado para o regime de trabalho por batelada. Como prova desta afirmação, é apresentada a figura 5.7, que mostra a medição instantânea de vazão relativa ao dia 28 de fevereiro de 2007, iniciando às 15h10min e terminando às 17h10min.

Nota-se que, mesmo quando a elevatória da estação não tenha sido preparada para trabalhar em regime contínuo, tal regime pode ser imposto por um controle adequado de vazão. Apesar de a solução implantada, uma derivação de retorno, ter possibilitado o ajuste da vazão em alguns instantes, não é a solução ideal para o problema, pois seu ajuste é impreciso e sujeito a falhas. A figura 5.7 apresenta os resultados de um ajuste na válvula de retorno o qual permitiu que a estação funcionasse temporariamente sob regime contínuo. Como, porém, o ajuste é manual, no momento em que a vazão de entrada na elevatória reduz a um patamar mais baixo do que foi ajustado para entrar na etapa biológica do sistema, ela acaba por secar forçando o desligamento da bomba de recalque. Na figura 5.7, são destacadas a etapa contínua e o momento em que o sistema volta a funcionar por batelada, mesmo estando regulado para uma vazão reduzida.

Além da imprecisão, há o problema de que, mesmo que para o sistema biológico a nova vazão esteja reduzida, o motor da bomba de recalque continua funcionando em seu máximo, o que acarreta um desperdício de energia elétrica. A solução ideal é a instalação de um inversor de frequência para controlar a velocidade da bomba de recalque, juntamente com uma

realimentação da malha de controle por meio do nível da elevatória. Dessa forma, serão, certamente, alcançadas a redução de vazão de entrada e a redução no consumo de energia elétrica.

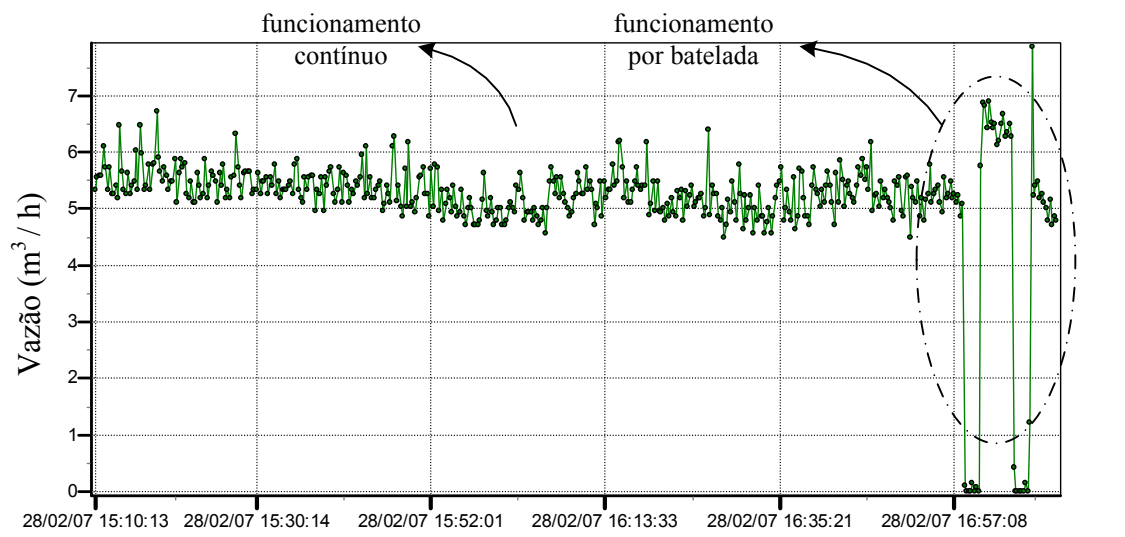


Figura 5.7 – Valor instantâneo da vazão do dia 28 de fevereiro de 2007, de 15h10min às 17h10min.

5.3.2 TEMPERATURA

Existem faixas ótimas de temperatura em torno da qual o crescimento bacteriano é máximo. Em relação ao reator UASB, temperaturas do líquido abaixo de 15°C e acima de 36°C acarretam a diminuição da eficiência do metabolismo bacteriano (PAIVA, 2003).

Para as condições climáticas do local onde o experimento foi realizado, a cidade de Fortaleza-CE, a temperatura ambiente tende a não influenciar na eficiência do tratamento, pois seus máximos e mínimos estão dentro dos níveis de trabalho ótimo para o reator UASB. De fato, é improvável que, em Fortaleza, a temperatura ambiente se mantenha abaixo de 15°C ou acima de 36°C por longos períodos. O esgoto afluyente à estação, contudo, não pode ser caracterizado como esgoto doméstico, pois está sujeito à operação do hospital, podendo acarretar alterações não previstas desta variável.

A figura 5.8 exibe os valores instantâneos da medição da temperatura interna do reator UASB, em intervalos de quinze segundos, do dia 09 de dezembro de 2006 às 11h00min até o dia 12 de dezembro de 2006 às 11h00min. A medição instantânea apresenta, sistematicamente, uma variação abrupta de valores medidos, como os picos de 23°C. Tais variações são intrínsecas ao equipamento, não ao processo, e são consideradas como ruído de medição.

A figura 5.9 mostra a média móvel dos valores instantâneos de temperatura apresentados na figura 5.8 com uma janela de vinte minutos. Nela os dados de temperatura podem ser

analisados de modo mais amigável, pois os ruídos de medição foram filtrados. Tal resultado mostra que, mesmo com uma variação térmica de 7°C entre o período mais quente e o mais frio do dia, a temperatura interna do reator UASB se mantém dentro de uma faixa aceitável para a operação.

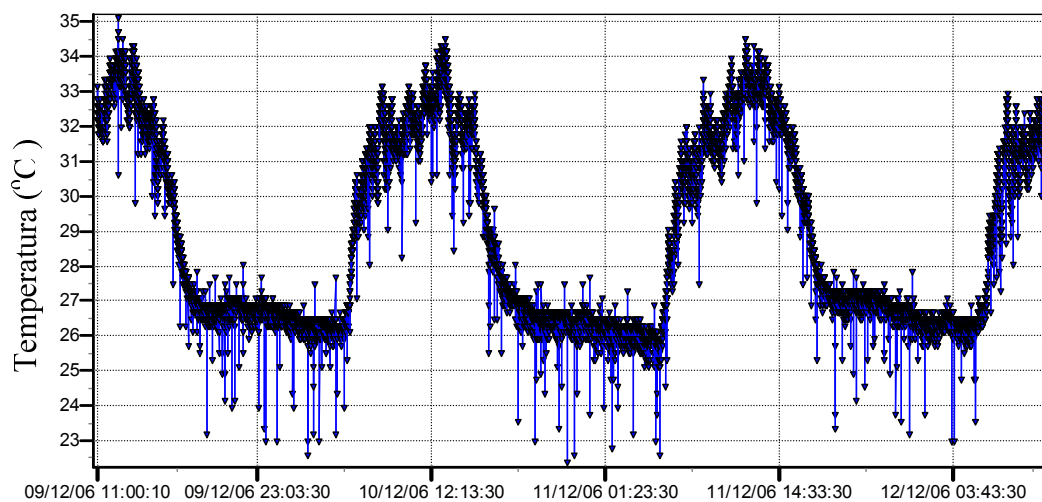


Figura 5.8 – Valor instantâneo da temperatura interna do reator UASB entre os dias 09 e 12 de dezembro de 2006.

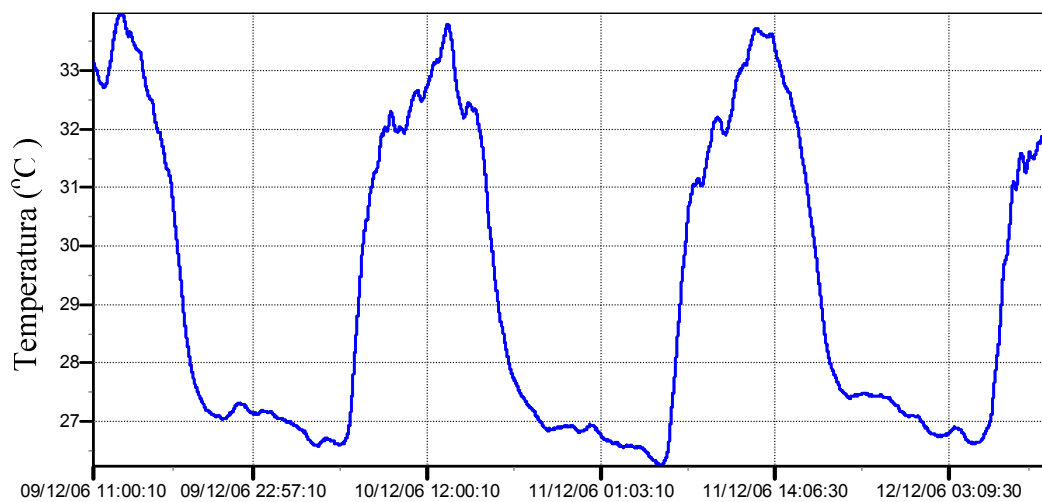


Figura 5.9 – Média móvel da temperatura interna do UASB entre os dias 09 e 12 de dezembro de 2006.

Em regiões onde a temperatura varia bruscamente, seja de forma diária, semanal ou mensal, tal medida passa a ser crítica e deve ser usada como referência para o controle térmico das unidades de tratamento.

5.3.3 POTENCIAL HIDROGENÔNICO (PH)

O pH é um fator ambiental que influencia significativamente o processo de degradação da matéria orgânica. Segundo Chernicharo (1997), pequenas reduções de pH implicam o consumo de elevada quantidade de alcalinidade do meio, diminuindo sua capacidade de resistir à mudança de pH, ou seja, sua capacidade de tamponamento. Dessa forma, mesmo variações pequenas de pH são relevantes para a avaliação do processo.

A figura 5.10 apresenta os valores instantâneos da medição do pH interno ao reator UASB, em intervalos de quinze segundos, do dia 02 ao dia 03 de março de 2007, iniciando às 12h00min do primeiro dia e terminando também às 12h00min do segundo dia. Assim como a medição de temperatura, a medição de pH também apresentou ruído de medição. A figura 5.11 mostra a média móvel dos valores instantâneos de pH apresentados na figura 5.10 com uma janela de vinte minutos.

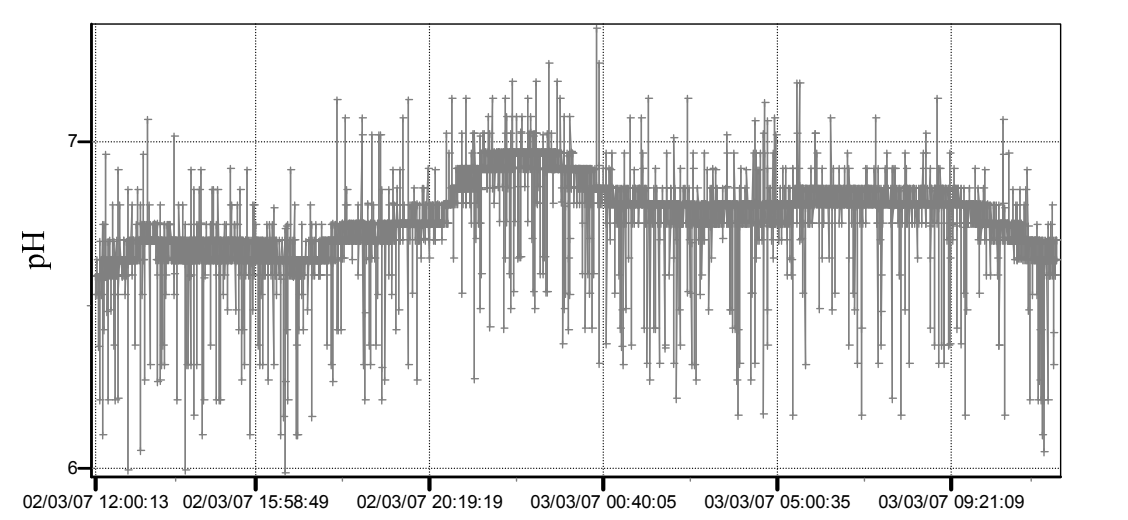


Figura 5.10 – Valor instantâneo do pH interno do reator UASB do dia 02 de março de 2007.

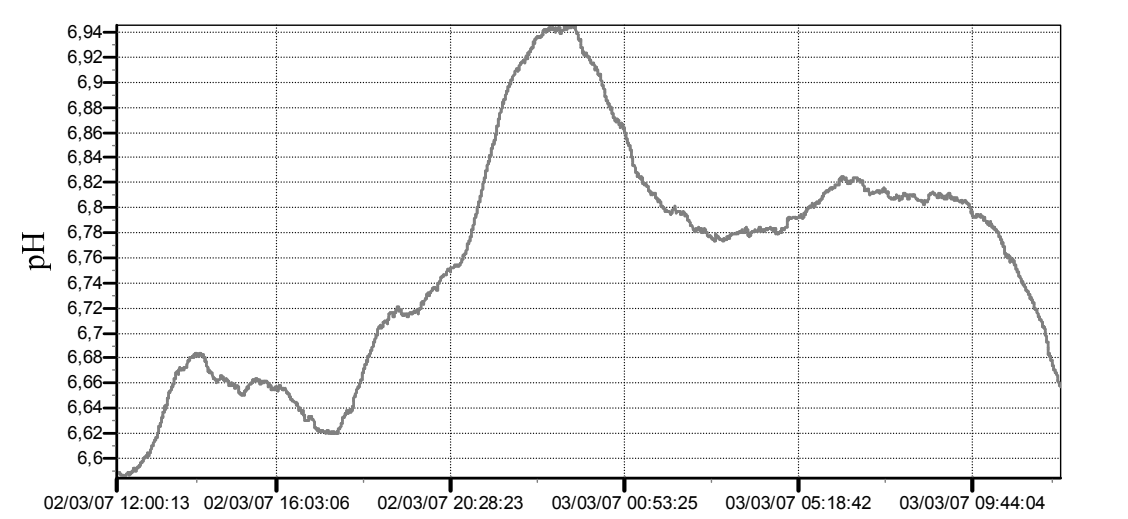


Figura 5.11 – Média móvel do pH interno do reator UASB do dia 02 de março de 2007.

A operação rotineira da estação de tratamento de efluentes prevê medições sistemáticas de vários parâmetros, incluindo o pH. Na ocorrência, porém, de uma falha no sistema tal que acarrete a diminuição ou aumento do pH que ultrapasse os limites de projeto, a medição manual padrão pode não perceber o fato antes de o sistema apresentar problemas, tais como a geração de gases com odores desagradáveis ou até a queda da eficiência geral de tratamento do esgoto.

O sistema de monitoramento automático executa vistoria contínua e automática, possibilitando a visualização de problemas antes que ocorram consequências mais graves, por exemplo, agressões ao meio ambiente causadas por um efluente fora dos padrões mínimos de qualidade. Além disso, o armazenamento de informações colhidas em campo permite a detecção do momento de início da falha e sua duração, permitindo uma investigação sobre as causas do ocorrido e possibilitando uma análise para a prevenção de situações similares.

5.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Como constatado nos resultados apresentados, a automação de sistemas de tratamento de esgotos ganha importância como forma de adequar o efluente tratado aos requisitos legais, protegendo o meio ambiente de lançamentos inadequados de esgoto nos corpos receptores.

Com o monitoramento em tempo real, o sistema possibilita a detecção dos distúrbios de forma rápida, simplificando o trabalho do operador e acelerando a tomada de decisão sobre a manutenção do processo.

Mediante a formação de uma base de dados histórica sobre o que ocorre na estação, o sistema possibilita investigações sobre as causas de problemas ocorridos, auxiliando a prevenção de situações similares. Dá suporte a estudos de controle automático e de identificação de modelos matemáticos do processo em foco. Permite também o estudo de correlação entre as várias variáveis do processo, ampliando o conhecimento científico sobre o objeto de estudo, no caso, as estações de tratamento de esgoto.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho resultou em um sistema aplicado a situações reais, possibilitando uma compreensão mais profunda do processo de tratamento de esgoto e de sua operação pelo acesso a dados, seja em tempo real, ou acessando a base de dados formada.

As experimentações de campo tornaram possível a detecção dos distúrbios e a detecção e correção de falhas no processo de tratamento ou em equipamentos, garantindo a qualidade do tratamento, comprovando a viabilidade da aplicação desta técnica para sistemas ambientais.

Durante a execução deste trabalho, notou-se que a metodologia de desenvolvimento pode, com sucesso, ser aplicada a outros sistemas, como, por exemplo: na carcinicultura, no acompanhamento da degradação ambiental de foz de rios, de áreas de mangues, de lagoas e açudes, tendo como princípio o monitoramento e controle automático de processos, que necessitem de obtenção de informações ambientais em tempo real.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados desta pesquisa motivam a continuidade de uma colaboração ativa entre a Universidade e a Sociedade como um caminho para troca de informação e experiência, pois o melhor laboratório para o desenvolvimento de um sistema com estas características é o campo.

Neste trabalho, pela sua dimensão prática, abrem-se caminhos para inúmeras continuações. Em seguida, apresentam-se algumas sugestões para a continuação da pesquisa e desenvolvimento.

- Ir além do monitoramento e estudar possibilidades de controle automático da carga hidráulica e orgânica do sistema, de forma a manter seu equilíbrio e garantir a qualidade do efluente com a mínima intervenção humana possível.
- Com arrimo no monitoramento automático, estudar o desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevam, por exemplo: a evolução temporal do pH, o consumo da

carga orgânica no sistema, a interferência de variações de vazão de esgoto no sistema biológico, a relação da produção de biogás com a eficiência do reator UASB.

- Com o monitoramento e a modelagem matemática do processo, estudar o desenvolvimento de algoritmos avançados de controle em tempo real, por exemplo, os que são baseados em modelos preditivos de controle, sistemas de decisão, controle multivariáveis e/ou multi-objetivos, bem como técnicas de inteligência computacional aplicada.
- Incluir novas variáveis no sistema de monitoramento, de forma a aprimorar a análise das condições atuais do sistema, tais como: vazão de biogás; turbidez; condutividade; produção de amônia, nitritos e nitratos; e oxigênio dissolvido; estudar a influência de cada uma no sistema, de forma isolada e conjunta.
- Aprimorar a construção física da instrumentação eletrônica, de modo a diminuir seu tamanho físico, simplificando a instalação em campo. Na nova concepção do escravo, devem ser realizadas análises de eficiência energética e confiabilidade dos módulos.
- Melhorar a interface homem-máquina, de maneira a torná-la mais intuitiva, reduzindo o tempo de aprendizagem dos operadores. Disponibilizar ao operador um sistema de elaboração de relatórios. Melhorar o processamento e apresentação da informação recolhida, com vistas a tornar o sistema ainda mais útil para o gestor ambiental que necessita de informação condensada. Possibilitar a programação e visualização de alarmes.
- Estender as análises agora feitas em relação à operação e processo das estações compactas de tratamento de esgoto a outras aplicações com características semelhantes.
- Trabalhar a inserção de transmissão de dados através de radiofrequência, a fim de retirar todo o cabeamento digital entre as unidades constituintes da arquitetura e possibilitar maior aproximação do escravo com a parte do processo ao qual ele está relacionado. Estudar também a inserção de tecnologias de transmissão de dados do mestre para um ponto central, para propiciar o gerenciamento de várias estações de tratamento por meio de único ponto.
- Viabilizar a integração com a internet da unidade central e/ou dos mestres em cada estação a ser monitorada e controlada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACS Fibra Indústria e Comércio (2002) **Manual de Instruções para Operação (Estação de Tratamento de Esgoto Hospital Geral Dr. Waldemar Alcântara).**

Bastos, L. P. (2002) **Contribuições à Automação de Estações de Tratamento de Esgoto tipo UASB+BF**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo.

Braga, C. M. P. (2000) **Sistema de Tratamento de Esgoto por Processos Anaeróbios e Aeróbios: Modelagem Matemática, Instrumentação e Controle do Processo**, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais.

Costa, W. T. (2003) **Projeto e Implementação de um Sistema de Controle Distribuído à Automação de uma ETE Compacta**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo.

Chernicharo, C. A. L., (1997) **Reatores anaeróbios**, Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, c1997. 245p.

García, A. P. & Maldonado, J. I. (2004) **Design of process control and monitoring of an anaerobic biological reactor in University of Pamplona, Colombia**, In: Workshop on Modelling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems, September 29th - October 1st, Venice, 2004

Guimarães, J. R. & Nour, E. A. A. (2001) **Tratando Nossos Esgotos: Processos que Imitam a Natureza**, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, UFMG, Edição especial.

Guimarães, T. L. V. (1997) **Estudo e Modelagem de um Sistema Anaeróbio de Tratamento de Esgoto, Desenvolvimento da Instrumentação Aplicada a uma Planta Piloto**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Federal do Espírito Santo

Haandel, A. C. V. & Marais, G. (1999) **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado (Teoria e Aplicações para Projetos e Operação)**, 1ª. Ed. Campina Grande, PB, 488p.

Häck M. & Wiese J. (2006) **Trends in instrumentation, control and automation and the consequences on urban water systems**, Water Science & Technology, vol. 54 no. 11-12, pp. 265–272, 2006

Hamilton R., Braun B., Dare R., Koopman B., Svoronos S. A. (2006) **Control Issues and Challenges in Wastewater Treatment Plants**, IEEE Control Systems Magazine, pp. 63-69, August 2006.

Landeck, J. A. (2002) **Monitorização e Controlo Remoto de Pequenos Sistemas de Tratamento de Águas Residuais**, Tese (Doutorado em Física) – Universidade de Coimbra.

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors (2000) National Semiconductor Corp., DS005516.pdf (Datasheet) www.national.com Acesso em 01 jun. 2007.

Matsusaki, C. T. M. (2004) **Modelagem de Sistemas de Controle Distribuídos e Colaborativos de Sistemas Produtivos**, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Metcalf & Eddy, (1991) **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**, 3a. Ed., 1334p, Editora McGraw-Hill.

Munaro C. J., Amaral P. F. S., Costa W. T., Borges R. M., Merçon A. G., Gonçalves R.F. (2003) **Monitoramento Via INTERNET de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário Tipo UASB+BF**, In: Anais do 22o. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville/SC.

Paiva, F. V. (2003) **Monitoramento da eficiência de um reator anaeróbio de fluxo ascendente em manta de lodo – UASB**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará.

Pereira, F. (2003) **Microcontroladores PIC Programação em C**. 1a Edição. São Paulo. Editora Erica, 2003.

PIC18FXX2 Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D (2002) Microchip Technology Inc., 39564c.pdf (Datasheet) <ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf>

Signet 2551 Magmeter (2007) George Fischer Signet Inc., 2551eng.pdf (Datasheet) <www.gfsignet.com/products/pdf/> Acesso em: 01 jun. 2007.

Signet 2764-2767 Differential DryLoc pH/ORP Electrodes (2007) George Fischer Signet Inc., 2551eng.pdf (Datasheet) <www.gfsignet.com/products/pdf/> Acesso em: 01 jun. 2007.

Sperling, M. V. (2005) **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias)**, vol. 1. 2ª. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 240p.

BIBLIOGRAFIA

Belchior, C. A. C., Paiva, F. V., Chaves, A. V., Pontes, R. S. T. (2006) **Sistema de Monitoramento Automático para uma Estação de Tratamento de Efluentes**, VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Setembro de 2006.

Cantu, M. (1999) **Dominando o Delphi 4: A Bíblia**, São Paulo, Ed. Makron Books. 967p. ISBN: 85-346-1046-0

Cavalcanti, P. F. F. (2003) **Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions**, Wageningen Agricultural University, 2003. Wageningen., The Netherlands. Doctoral Thesis.

Goossens P. (2005) **Barramento doméstico I2C – Telecomando através do PC**, In Elektor – eletrônica e microinformática, Ano 4, no. 42, pp. 59-62, 2005.

Frey, M. & Sullivan, L. (2005) **Practical Application of Online Monitoring**, IWA Publishing. ISBN: 1843399121.

Kim C., Park T-J, Ko J-H (2006) **Instrumentation, Control and Automation for Water & Wastewater Treatment & Transport Systems IX**, IWA Publishing. ISBN: 1843395703.

Luharuka, R., GAO, Robert X; Kirshnamurthy, Sundar (2003) **Design and Realization of a Portable Data Logger for Physiological Sensing**, In IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 52, nº.4, pp. 1289-1295. August, 2003.

Olsson G., Nielsen M., Yuan Z., Lynggaard-Jensen A., Steyer J-P, (2005) **Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Systems**, IWA Publishing. ISBN: 1900222833.

Sedra, A. S., Kenneth C. S., (1999) **Microeletronica**, São Paulo, Ed. Makron Books v.2., 821p. ISBN: 85-346-1044-4.

Thomazini, D. & Albuquerque, P. U. de (2005) **Sensores Industriais : Fundamentos e Aplicações**, Editora: Érica, 1a edicao, São Paulo, 2005, 220p. ISBN: 85-365-0071-9.

APÊNDICE A

GLOSSÁRIO DE TERMOS RELACIONADOS A TRATAMENTO DE ESGOTOS

- **Água bruta:** Água antes de receber qualquer tratamento
- **Água tratada:** Água a qual tenha sido submetida a um processo de tratamento, com o objetivo de torná-la adequada a um determinado uso.
- **Águas residuárias:** Qualquer despejo ou resíduo líquido com potencialidade de causar poluição.
- **Adsorção:** Processo pelo qual uma substância (gás ou líquido) adere à superfície de outra (sólido). Na adsorção verifica-se a formação de uma camada de gás ou líquido sobre a superfície de um sólido. A adsorção pode ser química ou física. Na adsorção química, a substância adsorvida reage com a superfície do adsorvente havendo a formação de ligações químicas. Neste tipo de adsorção forma-se uma única camada de substância adsorvida na superfície do adsorvente. Por sua vez, na adsorção física não há a formação de ligações químicas. As moléculas são adsorvidas através de forças de *Van der Waals*. Para este tipo de adsorção podemos ter várias camadas de moléculas adsorvidas.
- **Afluente:** Curso d'água, rio ou riacho que entra ou desemboca num rio maior ou num lago. Esgoto bruto não tratado que chega à estação de tratamento.
- **Autodepuração:** Capacidade de um corpo de água de recuperar suas qualidades ecológicas e sanitárias através de processos naturais (físicos, químicos e biológicos) após receber uma carga poluidora.
- **Biogás:** O Biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar. O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor desagradável.
- **Biomassa:** Compreende massas orgânicas de origem biológica ou de materiais não-fósseis presentes num dado momento numa determinada área, e que pode ser expressa em peso, volume, área ou número.
- **Carbono Orgânico Total (COT):** O COT é a concentração de carbono presente em compostos orgânicos oxidáveis existentes na água. É expresso em ppm ou ppb de

carbono. No teste de COT determina-se a produção de dióxido de carbono através da combustão de uma amostra de uma água residuária em um forno a alta temperatura (entre 680 e 900 °C). O dióxido de carbono (CO₂) é indicativo do teor de carbono orgânico originalmente presente na amostra, sem distinção se a matéria orgânica é biodegradável ou não. O teste de COT requer equipamento sofisticado e caro, mas tem a vantagem que pode ser realizado em poucos minutos.

- **Compostos biodegradáveis:** São compostos susceptíveis de decomposição provocada por microorganismos.
- **Contaminação:** É a alteração química das propriedades de solos e águas por resíduos de atividades humanas que provoca aumento das concentrações de determinadas substâncias a ponto de colocar em risco a saúde humana e do ambiente.
- **Contaminantes:** (1) Elementos causadores de contaminação, tais como: metais pesados, substâncias orgânicas tóxicas, e microorganismos. (2) Microorganismos.
- **Conversão da matéria orgânica:** Alteração da composição química dos contaminantes através da ação de microorganismos presentes no meio e sua transformação em elementos inertes minerais, não biodegradáveis.
- **Corpo receptor:** (1) É a parte do meio ambiente na qual são ou podem ser lançados, direta ou indiretamente, quaisquer tipos de efluentes provenientes de atividades poluidoras ou potencialmente poluidoras. (2) Rios, lagos, oceanos ou outros corpos d'água que recebam efluentes líquidos tratados ou não.
- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** A DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica degradada pela ação de bactérias, sob condições aeróbias e controladas (período de 5 dias a 20 °C). Basicamente, a informação mais importante que esse teste fornece é sobre a fração dos compostos biodegradáveis presentes no efluente. O teste de DBO é muito usado para avaliar o potencial de poluição de esgotos domésticos e industriais em termos do consumo de oxigênio. É uma estimativa do grau de depleção de oxigênio em um corpo aquático receptor natural e em condições aeróbias. Uma importante desvantagem do teste da DBO é o longo período entre o início da incubação de uma amostra e a obtenção do resultado do teste. Dessa maneira o teste da DBO não é de grande utilidade para o controle de processos: quando se obtém um valor fora da faixa esperada, em geral será tarde demais para tomar uma medida corretiva.

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO):** A DQO é uma análise para inferir o consumo máximo de oxigênio para degradar a matéria orgânica, biodegradável ou não, de um dado efluente após sua oxidação em condições específicas. O valor obtido indica o quanto de oxigênio um determinado efluente líquido consumiria de um corpo receptor após o seu lançamento se fosse possível mineralizar toda a matéria orgânica presente, de modo que altos valores de DQO podem indicar um alto potencial poluidor. Esse teste tem sido utilizado para a caracterização de efluentes industriais e no monitoramento de estações de tratamento de efluentes. A duração desse ensaio é de cerca de duas horas. Pelo fato de o valor da DQO poder ser obtido em poucas horas após a amostragem faz com que essa análise se torne bem mais útil como parâmetro de controle de processos quando comparado à DBO.
- **Degradação:** Reação química que envolve a ruptura de uma molécula para formar uma estrutura mais simples. Ver conversão da matéria orgânica.
- **Depleção de oxigênio:** Diminuição da quantidade de oxigênio. A depleção de oxigênio nos corpos hídricos, decorrente da degradação da matéria orgânica presente em esgotos domésticos, representa um efeito negativo de enorme importância, especialmente para a manutenção da vida nestes ambientes.
- **Ecologia:** Estudo das relações dos seres vivos e não-vivos entre si e com o meio ambiente.
- **Efluente:** Qualquer tipo de água ou líquido, que flui de um sistema de coleta, ou de transporte, como tubulações, canais, reservatórios, e elevatórias, ou de um sistema de tratamento ou disposição final, com estações de tratamento e corpos de água receptores.
- **Efluentes industriais:** Os efluentes industriais são os resíduos líquidos dos processos industriais. Em alguns casos os efluentes industriais têm componentes semelhantes à águas residuais domésticas. Como acontece com os efluentes das indústrias alimentares, de refrigerantes e lavandarias, embora sejam, frequentemente, mais concentrados e produzidos em quantidades consideráveis. Noutros casos os efluentes contêm materiais potencialmente tóxicos ou corrosivos se descarregados sem tratamento para um meio hídrico ou colector, como por exemplo, os efluentes de indústrias químicas, refinarias, fábricas de gás de cidade, fábricas de galvanização e decapagem de metal e oficinas de pintura.
- **Esgoto doméstico:** É aquele que provém principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de

instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõem-se essencialmente de água de banho, fezes humanas e urina, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

- **Esgoto bruto:** Esgoto sem tratamento.
- **Estabilização da matéria orgânica:** Ver degradação e conversão da matéria orgânica.
- **Eutrofização:** Processo que ocorre quando um curso de água se torna excessivamente rico em nutrientes, devido a efluentes de esgotos, resíduos de fertilizantes. Como resultado imediato, as plantas à superfície crescem demasiadas e ocultam da luz as que vivem a uma profundidade maior. Estas acabam por morrer e, ao se decompor, esgotam o oxigênio da água, tornando-a virtualmente sem vida.
- **Lodo:** Biomassa ativa.
- **Lodos ativados:** É um processo de tratamento de esgotos que utiliza equipamentos mecânicos para insuflar oxigênio na massa líquida e promove a formação de colônias de bactérias aeróbicas, com vistas ao aumento da eficiência do tratamento em áreas de pequena extensão.
- **Oxigênio dissolvido:** Indicador de oxigênio dissolvido em água, água residuária ou outro líquido, geralmente expresso em miligramas por litro, partes por milhão, ou percentagem de saturação. O oxigênio dissolvido é requerido para a respiração dos microorganismos aeróbios e de todas as outras formas de vida aeróbias. Para os processos de tratamento aeróbio, o monitoramento dos níveis de oxigênio dissolvido é de extrema relevância, uma vez que sem oxigênio os microorganismos aeróbios não sobrevivem.
- **Poluição:** É a alteração das características ou qualidades do meio ambiente, ou de qualquer de seus componentes, prejudicando seu uso para certos fins. No caso da água a poluição é a alteração de suas características naturais físicas, químicas e biológicas, tornando-a imprópria para os fins desejados.
- **Síntese de matéria orgânica:** Utilização de substrato para geração de novas células (reprodução).
- **Substrato:** Matéria orgânica presente no meio, disponível para os microorganismos sob a forma de alimento, medida em DQO ou DBO.

- **Tamponamento:** Representa a capacidade de uma água de resistir a variações de pH, através de certas reações de equilíbrio dos íons H^+ e OH^- dissolvidos nela. As soluções tampão são formadas a partir de um ácido ou base fraco e o sal correspondente.

APÊNDICE B

PRINCIPAIS PARTES DO CÓDIGO FONTE DO MESTRE:

```
// procedure que recebe as mensagens envidas pelos escravos
procedure TFormConfiguraSerial.CommSerialReceiveData(Sender: TObject;
  DataPtr: Pointer; DataSize: Cardinal);
var
  i,j:integer;
  s:string;
begin
  // se o que está chegando é inicio de mensagem
  if Pacote_Atual.Inicio_Transmissao then begin
    Pacote_Atual.inicio_transmissao := FALSE;
    Pacote_Atual.BufferSize := 0;

    // zera-se todo o vetor de buffer da mensagem
    for i:=0 to 31 do
      Pacote_Atual.Buffer[i]:=0;

    // copia-se a mensagem que chegou para o buffer
    for i:=0 to (Datasize-1) do begin
      move(DataPtr^, Pacote_Atual.Buffer[i], 1);
      inc(pchar(DataPtr));
    end;

    //salva a posição do ultimo byte salvo no buffer
    Pacote_Atual.BufferSize := Datasize;
  end

  // se o que tá chegando é o pedaço que falta da mensagem
  else begin
    // copia-se o pacote de dado entrante para o buffer
    for i:=0 to (Datasize-1) do begin
      move(DataPtr^, Pacote_Atual.Buffer[i + Pacote_Atual.BufferSize], 1);
      inc(pchar(DataPtr));
    end;

    //salva a posição do ultimo byte salvo no pacote global
    Pacote_Atual.BufferSize := Pacote_Atual.BufferSize + Datasize;
  end;
```

```

// Varre o buffer desde o inicio para saber se
// há uma mensagem montada dentro dele
for i:=1 to Pacote_Atual.BufferSize - 1 do begin
    if (Pacote_Atual.Buffer[i] = STX) then begin
        Tempo_de_resposta.Enabled := false;

        // prepara para novo pacote
        Pacote_Atual.inicio_transmissao := TRUE;

        // seta marcador de dados novos
        DadosNovos:=true;
    end; // fim if
end; // fim for
end; // fim procedure

// Função que envia uma mensagem previamente montada
function Enviar(iBuffer: array of Byte; iSlaveAdr: Byte; iCmd: Byte;
iNumBytes: Byte; Comm: TCommPortDriver):boolean;
var
    iAux,iSum : Byte;
    TextDebug: string;
begin
    // esta flag verifica se os bytes das palavras de comando estão
    // sendo enviados corretamente(true) em caso false não modificamos
    // a variavel global Comando mantendo o ultimo comando enviado
    Result := true;

    //recebe os dados da palavra de comando
    iBuffer[0] := stx;
    iBuffer[1] := id_slave;
    iBuffer[2] := iSlaveAdr;
    iBuffer[3] := iCmd;

    //calcula o checksum
    iSum := Checksum(iBuffer,0,iNumBytes);

    iBuffer[iNumBytes] := iSum;
    iBuffer[iNumBytes + 1] := etx;

    // inicio de envio do pacote
    for iAux := 0 to iNumBytes + 1 do begin
        Result := Comm.SendByte(iBuffer[iAux]); // marca se o byte foi enviado
        if not(Result) then exit; // se não, saia da procedure
    end;

    // a variável global 'Comando' tem que ser setada para

```

```

// que o mestre saiba qual comando foi enviado.
case iCmd of
    $41: Comando:=tcConfig;
    $42: Comando:=tcCaptura;
    $43: Comando:=tcDownload;
    $44: Comando:=tcLimpar;
    $45: Comando:=tcAtualizar;
    $46: Comando:=tcStatus;
    $47: Comando:=tcEmbarcado;
end;

// como para cada chamada query do mestre, um determinado escravo deve enviar uma
// resposta, o mestre deve se preparar para receber nova mensagem após o envio.
Pacote_Atual.inicio_transmissao := TRUE;
Pacote_Atual.BufferPos := 0;

// ligar os timers para detecção de possíveis erros de timeout
Tempo_de_resposta.Enabled := true;
Tempo_Verificacao_Dados.Enabled := true;
end;

// Função que calcula o byte de checagem de erro das mensagens enviadas e recebidas
function CheckSum(iBuffer: array of Byte; iInicio: Byte; iNumBytes: Byte):
Byte;
var i :Integer;
    sum :Byte;
begin
    sum := 0;
    // Efetua a soma longitudinal dos bytes que compõem a mensagem
    for i:= iInicio to iNumBytes - 1 do
        sum := sum + iBuffer[i];
    sum := sum and $7F;
    Result := sum;
end;

// Função que testa se as mensagens recebidas são válidas
function Validacao(iBuffer: array of Byte; iCmd: Byte; iNumBytes: Byte):
Boolean;
begin
    Result := True;

    // Teste de montagem do pacote
    if(iBuffer[0] <> stx) then Result := False;
    if(iBuffer[1] <> id_master) then Result := False;
    if(iBuffer[2] <> adr_master) then Result := False;
    // Teste de checksum
    if iBuffer[iNumBytes-3] <> CheckSum(iBuffer,0,iNumBytes-3) then

```

```

        Result := false;
    // Teste de comando
    if iBuffer[3] <> iCmd then Validacao := false;
end;

// inicia download de dados armazenados em um determinado escravo
procedure TFormDownload.BtnIniciarClick(Sender: TObject);
var
    iEscravo: Byte;
begin
    iEscravo := StrToInt(EditSlave.Text) + $30;
    Comando := tcDownload;

    Pacote_Atual.Buffer[4] := ack;

    if not(Enviar(Pacote_Atual.Buffer, iEscravo,
        retorna_memoria, 5, FormConfiguraSerial.CommSerial)) then
        ShowMessage('Envio de comando não efetuado');
end;

// organiza dados baixados do escravo no grid da tela de download
procedure TFormDownload.BtnOrganizarDadosClick(Sender: TObject);
var
    Ini: TIniFile;
    i, j, iLinhaAtual: Integer;
    Cab_Canais: array[0..7] of boolean;
begin
    // considerando que só há um cabeçalho e ele está no início do buffer
    if (Download_Buffer[1] = $01) and (Download_Buffer[0] = $FF) then begin
        DataInicio := StrToDate(IntToStr(Download_Buffer[2]) + '/' +
            IntToStr(Download_Buffer[3]) + '/' + IntToStr(6));

        HoraInicio := StrToTime(IntToStr(Download_Buffer[4]) + ':' +
            IntToStr(Download_Buffer[5]) + ':' +
            IntToStr(Download_Buffer[6]));

        LbPriAquisicao_1.Caption := DateToStr(DataInicio) + ' ' +
            TimeToStr(HoraInicio);

        DataFim := Date;
        HoraFim := Time;
        LbDescarga_1.Caption := DateToStr(DataFim) + ' ' + TimeToStr(HoraFim);
        Intervalo := StrToTime(FormatCapturaEdit(Download_Buffer[8] * 2));
        LbCaptura_1.Caption := TimeToStr(Intervalo);
        for j := 0 to 7 do

```

```

        Cab_Canais[j] := (Download_Buffer[7] and Exp(2,j)) = Exp(2,j);
    end else begin
        ShowMessage('Cabeçalho errado! Dados Corrompidos!');
        exit;
    end;

    i:=9; // i = 9 para iniciar o tratamento dos dados após o cabeçalho
    iLinhaAtual := 0; // linha do StringGrid
    AuxDataHora := DataInicio + HoraInicio; // variável para cálculo da data
                                                // e hora de cada aquisição

    repeat // organiza todos as informações na tela de download
        inc(iLinhaAtual);
        SGridDownload.RowCount := iLinhaAtual + 1;

        //'Capturado em..';
        SGridDownload.Cells[1,iLinhaAtual] := DateTimeToStr(AuxDataHora);

        AuxDataHora := AuxDataHora + Intervalo;

        for j:=0 to 7 do begin
            if Cab_Canais[j] then begin
                SGridDownload.Cells[(j+2),iLinhaAtual] :=
                    IntToStr(Download_Buffer[i]);
                inc(i);
            end else SGridDownload.Cells[(j+2),iLinhaAtual] := '0';
        end;
    until (i = Download_Buffer_Pos);

    LbUltAquisicao_1.Caption := DateTimeToStr(AuxDataHora);

    // de TabSheetCh1 até TabSheetCh8
    if TabSheetCh1.TabVisible then begin
        with DataModule1.ADOQuery1 do begin
            Ler_InfoCanais(hCh1);
            LbEditCh1Nome.Text := Fields.Fields[0].AsString;
            CBoxCh1Tipo.ItemIndex:= Fields.Fields[1].AsInteger;
            LbEditCh1Unid.Text := Fields.Fields[2].AsString;
            LbEditCh1Min.Text := Fields.Fields[3].AsString;
            LbEditCh1Max.Text := Fields.Fields[4].AsString;
            LbEditCh1Offset.Text := Fields.Fields[5].AsString;
        end;
    end;

    end; // fim procedure
    // Salvar dados no banco de dados -> tela de download
    procedure TFormDownload.BtnSalvarBDClick(Sender: TObject);
    var
        iLinhaAtual: Integer;

```

```

sPathPrograma: string;
hExper: Integer;
begin
  if LbEditTitulo.Text = '' then begin
    ShowMessage('Insira um nome para o experimento!');
    Exit;
  end;

  sPathPrograma := ExtractFilePath(ParamStr(0)) + '\Banco';

  // Preenche uma linha da tabela de experimento
  with DataModule1.ADOQuery1 do begin
    Close;
    SQL.Clear;
    SQL.LoadFromFile(sPathPrograma + '\InsertExpQuery.sql');
    with Parameters do begin
      ParamByName('Nome').Value := LbEditTitulo.Text;
      ParamByName('Usuario').Value := LbEditUsuario.Text;
      ParamByName('DataHoraDeInicio').Value :=
        StrToDateTime(DateToStr(DataInicio) + ' ' + TimeToStr(HoraInicio));
      ParamByName('DataHoraDeFim').Value :=
        StrToDateTime(DateTimeToStr(DataFim + HoraFim));
      ParamByName('Intervalo').Value := Intervalo;
      ParamByName('Escravo').Value :=
        StrToInt(EditSlave.Text) + $30;
      ParamByName('Canal1').Value := hCh1;
      ParamByName('Canal2').Value := hCh2;
      ParamByName('Canal3').Value := hCh3;
      ParamByName('Canal4').Value := hCh4;
      ParamByName('Canal5').Value := hCh5;
      ParamByName('Canal6').Value := hCh6;
      ParamByName('Canal7').Value := hCh7;
      ParamByName('Canal8').Value := hCh8;
    end;

    ExecSQL();
    Close;
    SQL.Clear;
    SQL.Add('SELECT MAX(CODEExperimento) FROM TabelaExperimento');
    Open();
    hExper := Fields.Fields[0].AsInteger;
  end;

  // inicia a varredura da primeira linha do grid
  iLinhaAtual := 1;

  repeat
    with DataModule1.ADOQuery1 do begin

```



```

Close;
SQL.Clear;
SQL.LoadFromFile(sPathPrograma + '\InsertDadosQuery.sql');

with Parameters do begin
    ParamByName('CODExp').Value := hExper;
    ParamByName('DataHora').Value :=
        StrToDateTime(SGridDownload.Cells[1,iLinhaAtual]);
    ParamByName('Canal1').Value := SGridDownload.Cells[2,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal2').Value := SGridDownload.Cells[3,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal3').Value := SGridDownload.Cells[4,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal4').Value := SGridDownload.Cells[5,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal5').Value := SGridDownload.Cells[6,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal6').Value := SGridDownload.Cells[7,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal7').Value := SGridDownload.Cells[8,iLinhaAtual];
    ParamByName('Canal8').Value := SGridDownload.Cells[9,iLinhaAtual];
end;

    ExecSQL();
end;

    inc(iLinhaAtual);
    AbLED1.Checked := not (AbLED1.Checked);
until (iLinhaAtual = SGridDownload.RowCount);

    ShowMessage('Dados salvos!');
end;

// cálculo da média móvel da tela de visualização do banco de dados
procedure TFormGraficoBD.InfoTendenciaChkBoxClick(Sender: TObject);
var
    Pontos: array[0..65535] of Double;
    SerieAtual: TLineSeries;
    t,j,s,iSerieID: Integer;
    media, alfa: Double;
begin

    ChartDados.Series[8].Clear;
    if InfoTendenciaChkBox.Checked = false then exit;
    iSerieID := InfoCanaisChkListBox.ItemIndex;

    with ChartDados.Series[iSerieID] do begin
        for t:= 0 to Count - 1 do begin
            ChartDados.Series[8].AddY(YValues.Value[t],XLabel[t],clTeeColor);
            Pontos[t] := YValue[t];
        end;
    end;
end;

```

```

// cálculo da média móvel de uma série
j := StrToInt(InfoTendenciaEdit.Text);
ChartDados.Series[8].YValues[0] := Pontos[0];
for t := 1 to ChartDados.Series[8].Count - 1 do begin
    s := t - j;
    if s < 1 then s := 1;
    ChartDados.Series[8].YValues[t] := (1/j)* (Pontos[t] - Pontos[s]);
    ChartDados.Series[8].YValues[t] := ChartDados.Series[8].YValues[t] +
        ChartDados.Series[8].YValues[t-1];
end;

end; // fim procedure

```

PRINCIPAIS PARTES DO CÓDIGO FONTE DO ESCRAVO:

```

#include <18f452.h>
#define adc=8 // A/D de 8 bits
#define fuses XT, NOPROTECT, NOOCSSEN, NOBROWNOUT, WDT128, WDT, NOPUT, CCP2C1,
STVREN, NOLVP
#define use delay(clock=4000000, RESTART_WDT)
#define use rs232 (baud=19200, bits=8, xmit=pin_c6, rcv=pin_c7, enable=pin_c5,
BRGH10K)

/* * * * * *
*
* Enumeração de tarefas e comandos
*
* * * * * */

enum selecao_de_tarefas {
    aguarda_tarefa, // Stand by, o primeiro passo do tratamento de tarefas
    escreve_cabecalho, // Escreve o cabeçalho na memória I²C
    captura_dados, // Captura dados do conversor A/D
    recebe_pacote, // Valida pacote e envia para tratamento
    trata_comando // Tratamento de comandos recebidos
} tarefa;

enum selecao_de_comandos {
    aguarda_comando, // Stand by
    retorna_config, // Retorna configuração atual da placa. Dados no RTC
    retorna_memoria, // Retorna dados armazenados na memória I²C
    limpa_memoria, // Limpa registrador de posição da memória I²C
    atualiza_config, // Atualiza configuração atual da placa
    confirma_conexao, // Confirma pedido de verificação de conexão com o mestre
    captura_embarcada, // Inicia ou para a captura embarcada
    captura_real_time // Retorna uma captura instantanea
} comando;

```



```

// começa ou continua um download da memória
if(cBufferIn[4] == ACK) {

    // começa um download da memória
    if(download_inicio == 0) {
        // desliga a interrupção de captura durante o download
        disable_interrupts(INT_TIMER0);
        // seta 'id' para inicio de download
        download_inicio = 1;
        // salva como ponto de finalização do download
        download_end_max = eeprom_adr;
        // zera ponteiro de download da eeprom
        download_end_atual = 0x0000;
        // zera ponteiro auxiliar
        download_ptr = download_end_atual;
        // comando → retorna_memoria
        cBufferOut[3] = 'C';
        cBufferOut[4] = ack;
        cBufferOut[5] = make8(download_end_max,0); // end_last_end_L
        cBufferOut[6] = make8(download_end_max,1); // end_last_end_H
        envia_pacote(&cBufferOut[0],7);
    }
    // continua o download de onde parou
    else if(download_inicio == 1) {
        download_end_atual = download_ptr;
        // se a transmissão for encerrada aqui...
        if(download_fim == 1) {
            // após o término do download, re-liga a captura
            enable_interrupts(INT_TIMER0);
            // avisa pro mestre que o download acabou
            cBufferOut[4] = EOT;
            envia_pacote(&cBufferOut[0],5);
            // prepara para um novo inicio de download
            download_inicio = 0;
            download_fim = 0;
        }
        // se a transmissão tiver que continuar...
        else { descarrega_memoria(); }
    }
} // fim 'if(cBufferIn[4] == ACK)'

// caso o mestre solicite...
else if(cBufferIn[4] == NACK) {
    // reenvia o ultimo pacote enviado
    descarrega_memoria();
}

```

```

} // fim → comando == retorna_memoria

// Zera o ponteiro da memória eeprom. Após a operação concluída, envia um
// pacote ACK para o mestre. Marca a tarefa de escrever um novo cabeçalho.
if(comando == limpa_memoria) {
    restart_wdt();
    comando = aguarda_comando;

    // ponteiro de posição da memória externa zerado
    eeprom_adr = 0x0000;

    cBufferOut[3] = 'D'; // comando: limpa_memoria
    cBufferOut[4] = ACK;
    envia_pacote(&cBufferOut[0],5);
}

// Recebe via serial a nova configuração do sistema e atualiza as variáveis
// de ambiente da operação, após isso, envia confirmação para o mestre.
if(comando == atualiza_config) {
    restart_wdt();
    comando = aguarda_comando;

    // Os dados recebidos pela serial são montados em um vetor de bytes
    // as variáveis de ambiente são atualizadas a partir desse vetor
    iCanais = cBufferIn[9]; // quantos e quais canais ativos
    iCaptura = cBufferIn[10]; // tempo de captura

    // envia resposta ao mestre
    cBufferOut[3] = 'E'; // comando: atualiza_config
    cBufferOut[4] = ACK;
    envia_pacote(&cBufferOut[0],5);
}

// Responde ao pedido de confirmação de conexão OK. Com isso o mestre
// reconhece que este escravo está conectado ao barramento de comunicação
// e apto a troca de informações.
if(comando == confirma_conexao) {
    restart_wdt();
    comando = aguarda_comando;

    cBufferOut[3] = 'F'; // comando: confirma_conexao
    cBufferOut[4] = ACK;
    envia_pacote(&cBufferOut[0],5);
}

```



```

while(timeout < 100) {
    if(kbhit()) {
        cBufferIn[datasize] = getc();
        datasize++;
        timeout = 0;
    } else {
        timeout++;
    }
}

// após passado o tempo máximo entre bytes, considere
// que o pacote completo chegou e tente a validação
tarefa = recebe_pacote;
enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(GLOBAL);
}

/* * * * * *
*   Tratamento de interrupção: #INT_TIMER0 -> Timer 0 (RTCC) overflow   *
* * * * * */
#INT_TIMER0
void trata_int_timer0(void) {
    static int iTrocaCanais;
    restart_wdt();
    set_timer0(34286);

    // se passou o tempo de captura especificado...
    if(--timer0 == 0) {
        timer0 = iCaptura;
        // se a flag de captura programada, execute tarefa → captura_dados
        if(embarcado_start) { tarefa = captura_dados; }
    }
}

```