

Modelagem e Estimação de Parâmetros em um Sistema de Secagem de Lodos Produzidos no Tratamento de Esgotos

Djalma Silva Albino

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba - Campus II como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Péricles Rezende de Barros, Ph.D.

José Sérgio da Rocha Neto, D.Sc.

Orientadores

Adrianus C. Van Haandel, Ph.D.

Co-Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Djalma Silva Albino, Outubro de 2001



**A336m
2001**

Albino, Djalma Silva

Modelagem e estimação de parâmetros em um sistema de secagem de lodos produzidos no tratamento de esgotos. Djalma Silva Albino. - Campina Grande - PB: UFPB, 2001. 85p.: il. -

**Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCT-Engenharia Elétrica
Inclui Bibliografia**

- 1. Modelagem**
- 2. Identificação de Sistemas**
- 3. Estimação de Parâmetros**
- 4. Medição com Microcontrolador**

I. Título

CDU: 621.317.3


**MODELAGEM E ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS EM UM SISTEMA
DE SECAGEM DE LODOS PRODUZIDOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS**

DJALMA SILVA ALBINO


Dissertação Aprovada em 19.10.2001


PROF. PERICLES REZENDE BARROS, Ph.D., UFPB
Orientador


PROF. JOSÉ SÉRGIO DA ROCHA NETO, D.Sc., UFPB
Orientador


PROF. ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL, Ph.D., UFPB
Orientador


PROF. ANTONIO MARCUS NOGUEIRA LIMA, Dr., UFPB
Componente da Banca


PROF. GURDIP SINGH DEEP, Ph.D., UFPE
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
Outubro - 2001

Agradecimentos

Ao senhor Deus, presente sempre e principalmente nos momentos em que o limite do homem se apresenta.

Aos meus pais Severino Albino e Berenice Albino e todos os meus irmãos, pelo amor e fé que sempre depositaram em mim.

À minha esposa Ângela e minhas filhas Bianca e Cecília pelo incentivo, bom humor, amor e compreensão que sempre doaram a mim, mesmo após os numerosos momentos de ausência.

Aos professores José Sérgio, Péricles Barros e Adrianus van Haandel por todo o trabalho de orientação e pelos conselhos sem os quais este trabalho não poderia ter sido concluído.

Aos professores do grupo de Instrumentação e Controle, em especial ao professor Antônio Marcus Nogueira Lima.

A todos os amigos do LIEC, em especial a Valnyr Lira, Ronny Clay, Márcio Fontana, Vicente Delgado, Gustavo Arruda, Cláudia Fernandes e Adolfo Paiakam, pelo companheirismo sem interesse e pelos bons momentos.

Aos amigos do PROSAB, em especial à professora Paula Fransinetti Cavalcanti, pelas valiosas informações e pela grande simpatia.

Aos grandes amigos da Escola Técnica Redentorista pelos agradáveis momentos de trabalho e amizade.

Aos funcionários do LIEC, Emanuel e Luiz Carlos e da COPELE, Ângela, Marcos e Pedro, por serem sempre prestativos todas as vezes que necessitei.

Ao povo brasileiro que através de seu trabalho e impostos ainda permitem que muitas pessoas como eu, filhos de trabalhadores, tenham o direito de fazer um curso de pós-graduação.

Enfim, a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para o êxito deste trabalho.

Resumo

O lodo produzido nas estações de tratamento de esgotos é rico em nutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio, o que sugere seu uso na agricultura como fertilizante. No entanto, muitos organismos patogênicos estão presentes no lodo, o que impede sua disposição direta no solo.

A elevação da temperatura do lodo pode eliminar os organismos patogênicos nele contidos e assim, alguns métodos têm sido usados para aumentar a temperatura do lodo bem acima da temperatura ambiente, como por exemplo o uso do gás biológico gerado na digestão anaeróbia. No entanto, a energia solar não tem sido utilizada como fonte para aquecer o lodo, e em condições típicas do nordeste brasileiro, o sol é uma poderosa fonte de calor que pode elevar a temperatura do lodo bem acima da temperatura ambiente.

Neste trabalho, a modelagem, identificação e estimação de parâmetros de um sistema de secagem de lodo, que utiliza o sol como fonte de calor, são realizadas utilizando-se modelos a parâmetros concentrados. Os parâmetros estimados foram a resistência, a capacitância, e a constante de tempo térmicas, R , C e τ respectivamente.

A identificação do sistema foi realizada com o auxílio dos algoritmos de identificação ARX e N4SID. Para a realização do processo de identificação, foi necessária a obtenção de informações de temperatura e radiação do sistema de secagem. Deste modo, um sistema de aquisição de dados baseado em microcontrolador e com transmissão por rádio-frequência foi desenvolvido para a coleta automática das informações necessárias à identificação.

Abstract

The resultant sludge of wastewater treatment process is rich in nutrients, like potassium, phosphorus and nitrogen, which suggest its use in the agriculture as fertilizer. However, many pathogenic organisms are presents in the sludge which forbids its direct disposal in the soil.

The increase of the temperature of the sludge may eliminate its pathogenic organisms thus some methods have been used to increase the temperature of the sludge above the environment temperature as the use of biological gas generated in the anaerobic digestion. However, solar energy has not been used as source to heat the sludge. In the typical conditions of the Brazilian northeast, the sun is a powerful source of heat that can be used to rise the temperature well above the environment one.

In this work the modeling, identification and parameters estimation in a sludge drying system which uses the sun as heat source, is performed using a thermal lumped-parameter model. The estimated parameters were thermal resistance, thermal capacity and thermal time constant, R , C and τ respectively.

The identification of the system was performed with the aid of the algorithms of identification ARX and N4SID. It was necessary to get temperature and radiation information from the sludge drying system to the identification process. Thus a microcontroller based data acquisition system with radio-frequency transmission was developed for the automatic attainment of the necessary information.

Conteúdo

1	Introdução	1
2	O Lodo em Sistemas de Tratamento de Esgotos	3
2.1	Etapas do Tratamento de Esgotos	4
2.2	Lodo de Esgotos	7
2.3	Desidratação do Lodo	8
2.3.1	Leitos de Secagem	8
2.4	Desinfecção do Lodo	11
2.4.1	Patogênicos associados ao lodo de esgotos e ao efluente	11
2.4.2	Desinfecção utilizando-se calor	12
2.5	Destino final do Lodo	14
2.6	Conclusões	15
3	Sistema de Aquisição de Dados	17
3.1	Introdução	17
3.2	Aquisição de Temperatura e Radiação	18
3.2.1	Sensores utilizados	20
3.2.2	Microcontrolador utilizado	21
3.2.3	Pré-processamento dos Sinais	22
3.2.4	Transmissão via Rádio	25
3.2.5	Rotina de Trabalho do Microcontrolador	27
3.2.6	Rotina de Trabalho do Microcomputador	33
3.3	Interface Humano-Máquina	36
3.3.1	Mensagens ao usuário	37
3.4	Resultados obtidos na Lagoa de Estabilização	38

3.5	Conclusão	39
4	Modelagem, Identificação e Estimação de Parâmetros do Sistema	41
4.1	Introdução	41
4.2	Sistemas Térmicos	42
4.3	Modelo a parâmetros concentrados	44
4.4	Identificação do Sistema	47
4.4.1	Medições	47
4.4.2	ARX - Autoregressivo com entrada extra	48
4.4.3	N4SID - Identificação de modelos em espaço de estados por método do subespaço	49
4.5	Identificação do Sistema Dinâmico	50
4.5.1	Base da camada de lodo	50
4.5.2	Topo da Camada de Lodo	51
4.6	Estimação de Parâmetros Físicos	52
4.7	Umidade e carga aplicada	56
4.8	Conclusão	58
5	Conclusões e sugestões de trabalhos futuros	59
A	O Microcontrolador 80C552 e a placa de desenvolvimento 80C552++	62
A.1	O microcontrolador 80C552	62
A.1.1	Descrição Geral	62
A.1.2	Organização da Memória	63
A.1.3	Banco de Registradores	64
A.1.4	Modos de Endereçamento	65
A.1.5	Registradores de Função Especial - SFR	66
A.1.6	Saídas Moduladas por Largura de pulso - PWM	68
A.1.7	Entradas Analógicas	68
A.1.8	Temporizadores/Contadores de Eventos	69
A.1.9	Modos de redução de consumo de potência selecionáveis por software	72
A.1.10	Porta Serial UART	72
A.1.11	Sistema de Interrupção	74

A.1.12 Conjunto de Instruções	75
A.2 Placa de Desenvolvimento 80C552++	76
A.2.1 Programa monitor MON552_P	78
Bibliografia	84

Lista de Tabelas

2.1	Custo de algumas alternativas de disposição final do lodo	14
3.1	Significado dos Sinais	28
A.1	Relação entre o banco selecionado e os bits RS0 e RS1	64
A.2	Descrição dos bits do ADCON	70
A.3	Descrição dos bits do SOCON	73
A.4	Descrição dos bits SM0 e SM1 do SOCON	73
A.5	Descrição dos bits do PCON	74
A.6	Endereços de início do tratamento da interrupções no 80C552	76
A.7	Descrição das convenções utilizadas na descrição do conjunto de instruções do 80C552	77
A.8	Conjunto de Instruções do 80C552	80
A.9	Conjunto de Instruções do 80C552 - Continuação	81

Lista de Figuras

2.1	Diagrama esquemático de um sistema de tratamento de esgotos	5
2.2	Representação esquemática de um leito de secagem	9
2.3	Curvas de valores de volume do lodo <i>versus</i> fração de sólidos	10
2.4	Representação esquemática de um leito de secagem modificado	13
3.1	Diagrama geral do sistema de aquisição de dados	19
3.2	Representação esquemática do bastão de PVC contendo os sensores da lagoa de estabilização	20
3.3	Diagrama em blocos do microcontrolador 80C552	22
3.4	Diagrama funcional do multiplexador 4x1 - 4052	23
3.5	Diagrama do circuito de filtragem e condicionamento	24
3.6	Esquema elétrico do amplificador do radiômetro	25
3.7	Acoplamento do transceptor com o PC	26
3.8	Representação esquemática do enlace via rádio	26
3.9	Quadro de mensagens originado pelo microcomputador	27
3.10	Fluxograma do programa principal do microcontrolador.	29
3.11	Representação esquemática do processo de busca do endereço para início da transmissão de dados.	30
3.12	Formato prévio dos dados para a transmissão.	31
3.13	Formato do quadro de dados	32
3.14	Estrutura interna do timer T2	32
3.15	Algoritmo de tratamento da interrupção do temporizador T2.	34
3.16	Algoritmo das tarefas a serem executadas pelo microcomputador	35
3.17	Representação da tela do programa de <i>interface</i> com o usuário	36
3.18	Representação da tela de <i>interface</i> para a operação de <i>download</i>	38

3.19	Representação da tela da <i>interface</i> quando da emissão de uma mensagem de erro.	39
3.20	Curvas de temperatura na lagoa de estabilização.	40
4.1	Representação de um pedaço de um material qualquer.	43
4.2	Representação da camada de lodo no leito de secagem	45
4.3	Curvas dos resultado das medições de T1, T2 e Tm	47
4.4	Curvas dos resultados da medições de Radiação	48
4.5	Curvas de T2 e suas estimativas utilizando-se ARX e N4SID	51
4.6	Zoom nas curvas de T2 e suas estimativas	52
4.7	Comparativo entre os modelos para as ordens 1 e 2.	53
4.8	Curva de T1 e T1 estimado	54
4.9	Zoom nas curvas de T1 e suas estimativas	55
4.10	Curvas de temperatura e radiação para uma amostra de lodo com 78 % de umidade e carga de 20 kg/m ² .	56
A.1	Organização da memória no 80C552	64
A.2	Esquema da parte baixa da RAM	65
A.3	Mapa dos registradores de função especial	66
A.4	Diagrama em blocos do PWM do 80C552	68
A.5	Diagrama esquemático do conversor A/D do 80C552	69
A.6	Diagrama em blocos do timer T2 do 80C552	71
A.7	Diagrama em blocos do watchdog timer	72
A.8	Representação esquemática do sistema de controle de interrupção	75
A.9	Diagrama esquemático do circuito elétrico da placa de desenvolvimento 80C552++	82
A.10	Descrição dos pinos dos conectores J8, J27, J16 e J19.	83

Capítulo 1

Introdução

Passada a época em que achava-se ou desejava-se achar que toda ação na natureza era permitida, baseada no fato de que a mesma é sempre farta e generosa, o homem vive hoje um momento em que percebe que uma cultura de incentivo a uma convivência de respeito e cuidado com a natureza é fundamental para a sobrevivência de ambos: homem e natureza.

O homem é impelido a uma consciência crescente de que é necessário reaproveitar ao máximo o que é retirado da natureza, para não ter que reduzir ainda mais seus recursos, e tratar ao máximo tudo que nela for descartado, amenizando assim o seu trabalho de processamento natural, o qual demanda tempo.

Um grande exemplo de reaproveitamento e cuidado com a natureza são os sistemas de tratamento de esgotos sanitários, onde tudo que é descartado pelo homem na forma de dejetos, de água que se torna suja com atividades de limpeza e lazer, enfim tudo que tem como destino os dutos de saneamento, é tratado e pode-se, além de entregar à natureza um esgoto tratado, reaproveitar seu produto final para vários fins como agricultura e limpeza.

O tratamento de águas residuárias é de vital importância para a saúde pública, para o combate à poluição das águas de superfície e para o reaproveitamento da água necessária ao consumo humano, tão escassa hoje em dia. Todos estes fatores influenciam diretamente na qualidade de vida da população em geral, em especial àquelas excluídas socialmente.

Este trabalho foi desenvolvido em uma planta de pesquisa em tratamento de esgotos financiada pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, que tem por finalidade o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de tecnologias voltadas para a ampliação da cobertura dos serviços de saneamento e, conseqüentemente para a melhoria das condições de vida da população brasileira.

O trabalho visa a modelagem e estimação de parâmetros físicos do lodo, um dos produtos resultantes de um sistema de tratamento de esgotos. A determinação de parâmetros físicos irá auxiliar em um processo de desinfecção do lodo, ajudando a otimizar seu uso como fertilizante agrícola. Como um produto necessário ao trabalho desenvolveu-se um sistema de aquisição de dados que poderá ainda ser utilizado em outras partes do sistema de tratamento de águas residuárias.

O texto está organizado em cinco capítulos e um apêndice:

Capítulo 1 - Introdução (o presente capítulo).

Capítulo 2 - O Lodo em Sistemas de Tratamento de Esgotos - Descreve-se o funcionamento de um sistema de tratamento de águas residuárias, suas etapas e técnicas, dando ênfase ao produto final de interesse neste trabalho: o lodo de esgotos.

Capítulo 3 - Sistema de Aquisição de Dados - Apresenta-se o sistema eletrônico responsável pela aquisição de informações de temperatura e radiação. Inclui a descrição dos subsistemas utilizados bem como as suas justificativas de uso. Apresenta-se ainda a descrição da *interface* entre o usuário do sistema de aquisição de dados e o sistema em si, as telas de *interface* utilizadas, as mensagens ao usuário e o formato do arquivo de dados de saída.

Capítulo 4 - Modelagem, Identificação e Estimação de Parâmetros do Sistema - Descrevem-se os processos de Modelagem, Identificação e Estimação de parâmetros físicos do sistemas, bem como os resultados derivados dos processos.

Capítulo 5 - Conclusões e sugestões de trabalhos futuros - Neste capítulo uma análise conclusiva do trabalho é realizada e sugestões de melhoria/continuidade do trabalho são apontadas.

Apêndice A - O microcontrolador 80C552 e a placa de desenvolvimento 80C552++ - Neste anexo é apresentado o funcionamento do principal dispositivo eletrônico utilizado no sistema de aquisição de dados, o microcontrolador 80C552. Apresenta-se ainda a descrição de uma placa de desenvolvimento, 80C552++ a qual o microcontrolador 80C552 faz parte.

Capítulo 2

O Lodo em Sistemas de Tratamento de Esgotos

O esgoto resultante de atividades humanas, animais e industriais são em sua grande maioria depositados no solo ou em corpos receptores como lagoas, rios e oceanos. O ambiente receptor de esgoto é capaz de decompor a matéria orgânica presente no mesmo, através de seus microorganismos decompositores, tratando o esgoto de maneira natural.

Esta capacidade de tratamento é, no entanto, limitada. Dependendo da quantidade de matéria orgânica depositada e das condições ambientais necessárias à evolução, reprodução e crescimento dos organismos decompositores, o esgoto pode causar a destruição total do ambiente receptor (morte de todos os organismos). Desta forma, é necessário que haja compatibilidade entre a capacidade que o corpo receptor possui de decompor a matéria orgânica e a carga orgânica depositada no mesmo.

Um sistema de tratamento de esgotos recebe o esgoto bruto e o entrega tratado ao ambiente receptor, reduzindo desta forma a quantidade de matéria orgânica depositado no mesmo. O sistema funciona segundo os mesmos princípios do tratamento provido pelo solo ou a água procurando, porém, otimizar os processos ao menor custo possível. Nas estações de tratamento procura-se diminuir o tempo em que o esgoto fica detido na mesma e aumentar a eficiência das reações bioquímicas, de maneira que se reduza a carga orgânica a quantidades e intervalos de tempo bem inferiores ao que se obtém em um ambiente natural.

Assim sendo, mesmo a disposição no solo, que possui em geral eficiência de tratamento inferior a um corpo aquático, pode constituir-se em uma excelente forma de tratamento, desde que se respeite a capacidade natural do meio e dos microorganismos decompositores presentes.

A evolução da tecnologia de tratamento de esgotos em ambiente confinado e controlado iniciou-se com a constatação de que lagoas poderiam ser utilizadas para esse fim e também com as proposições de sistemas que hoje são conhecidos como *tanques sépticos* e *lodos ativados aeróbios*, em 1893 e 1914, respectivamente [Campos, 1999].

Durante muito tempo acreditou-se que águas residuárias poderiam ser tratadas com elevada eficiência apenas quando se empregavam processos aeróbios (oxigênio presente na forma molecular O_2) e que o processo anaeróbio (ausência de oxigênio) só se aplicava à digestão de lodos, com elevada concentração de sólidos orgânicos. Atualmente, já se tem uma idéia generalizada de que ambos os processos biológicos, aeróbio e anaeróbio, podem ser aplicados para o tratamento de esgotos sanitários, cada qual apresentando uma série de aspectos positivos e naturalmente, outra série de aspectos negativos.

Durante os últimos 20 anos, verificou-se uma verdadeira revolução nos conceitos concernentes com o tratamento de águas residuárias. As unidades de tratamento não são mais vistas como simples tanques, em concreto ou em chapa metálica. Hoje essas unidades são estudadas como reatores em que ocorrem transformações complexas, com a participação de organismos vivos [Campos, 1999].

2.1 Etapas do Tratamento de Esgotos

Um sistema típico de tratamento de esgotos abrange três níveis: *primário*, *secundário* e *terciário* [Campos, 1999]. Na Figura 2.1 apresenta-se um diagrama esquemático da composição de um sistema típico de tratamento de esgotos.

No **tratamento primário** os sólidos grosseiros são removidos por meio de grades e através de processos de sedimentação ou flotação. Estes sólidos poderiam congestionar as bombas que levam o esgoto de um ponto a outro. Os sólidos grosseiros podem ser enterrados diretamente no solo, incinerados ou adensados e digeridos para posterior secagem e disposição em local apropriado.

Percebeu-se posteriormente que a simples remoção de sólidos grosseiros provida pelo tratamento primário era insuficiente para a proteção adequada dos receptores de esgoto. Isto deve-se à presença de material orgânico no esgoto após o tratamento primário. Este material orgânico é utilizado por microorganismos presentes no esgoto ou no corpo receptor. Neste processo, o oxigênio dissolvido (OD) é consumido causando sua depleção parcial ou total com a consequente

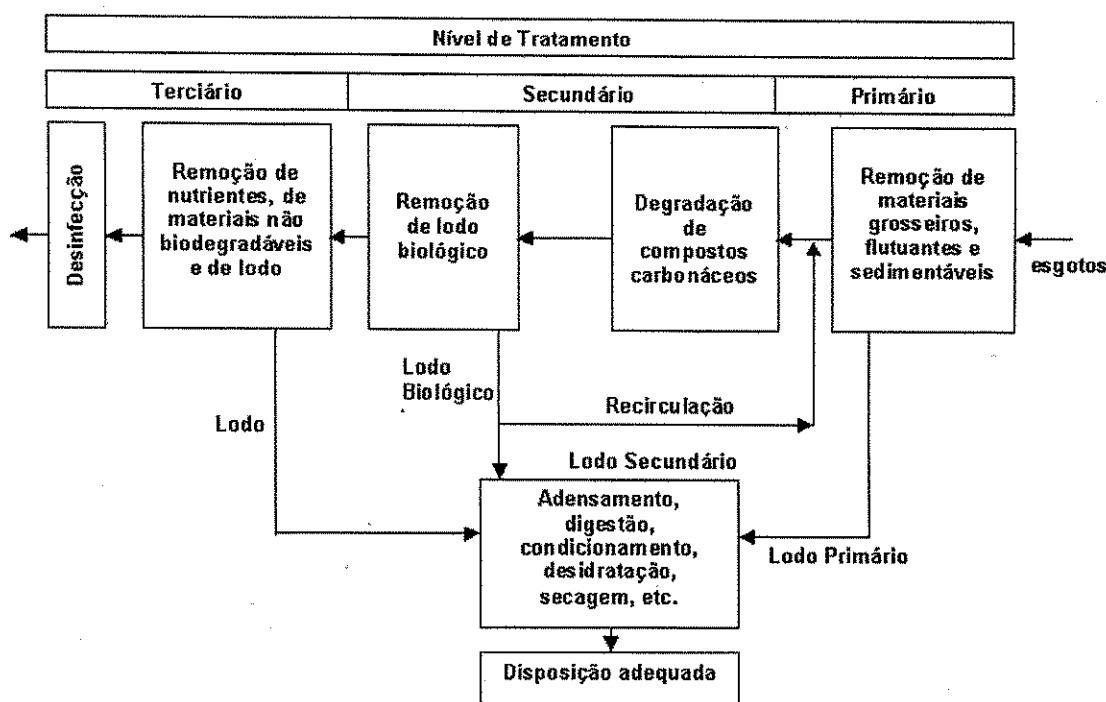


Figura 2.1: Diagrama esquemático de um sistema de tratamento de esgotos

dificuldade de sobrevivência para os organismos que dependem do oxigênio para o seu metabolismo. Assim foram desenvolvidos vários sistemas de tratamento para reduzir o teor de material orgânico, o chamado **tratamento secundário**.

O tratamento secundário envolve a degradação biológica dos compostos de carbono. Nesta degradação os carboidratos, óleos e graxas e proteínas são convertidos em compostos mais simples como dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), amônia (NH_3), amina (NH_2), etc, dependendo do tipo de processo. À medida que a degradação acontece, as bactérias que efetuam o tratamento se reproduzem e têm sua massa aumentada (biomassa) em função da quantidade de matéria degradada. A degradação pode ser **aeróbia**, quando o material orgânico é oxidado para produtos minerais, envolvendo-se assim a presença de oxigênio ou **anaeróbia** que pode ser desenvolvida quando não há um oxidante para o material orgânico. Neste segundo processo os produtos finais são gases, predominantemente o metano e o dióxido de carbono (biogás).

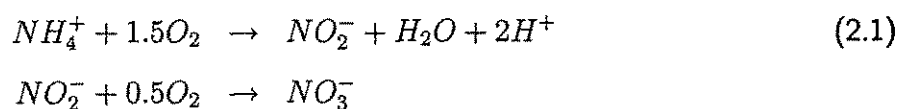
Após a degradação biológica os sólidos produzidos são removidos em unidades específicas (lagoas de sedimentação, decantadores, etc) e logo após são submetidos à adensamento, digestão, secagem e disposição adequada. De acordo com o processo adotado pode-se recircular uma parcela da massa das bactérias de volta ao reator biológico, o que permite um aumento de

produtividade do sistema e maior estabilidade no seu desempenho [Campos, 1999].

A partir da metade do século passado, tornou-se claro que a descarga de efluentes de sistemas de tratamento secundário poderia resultar na deteriorização da qualidade do corpo receptor, ainda quando a remoção de material orgânico é muito eficiente. A deteriorização pode ser atribuída em parte à altas concentrações de nitrogênio (na forma de nitrato) e fósforo (na forma de fosfato). A disponibilidade destes elementos tendem a causar um crescimento efetivo da vida aquática, que precisa destes elementos para a síntese celular (notadamente os organismos autotróficos, como algas, que usam o carbono inorgânico (CO_2) para a síntese celular). Assim, pode ocorrer um crescimento explosivo de biomassa (autotrófica) na água, quando o nitrogênio e o fósforo estão disponíveis em grande quantidade. Esta biomassa pode produzir oxigênio dissolvido durante o dia, utilizando-se do processo de fotossíntese, mas à noite haverá consumo de oxigênio e a concentração de oxigênio dissolvido pode atingir níveis muito baixos para manter a vida de macroorganismos como peixes, por exemplo.

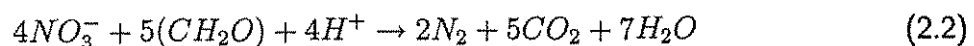
No **tratamento terciário** objetiva-se, em uma primeira etapa a redução das concentrações de nitrogênio e fósforo e em uma segunda etapa a remoção de organismos patogênicos.

Na primeira etapa, o tratamento é feito através de processos chamados *nitrificação* e *desnitrificação*. O nitrogênio está presente de várias formas em águas residuárias, amônia (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e como composto orgânico e pode ser removido por um procedimento a dois passos. No primeiro passo, a amônia é oxidada para nitrato em zonas aeradas. Este é o processo chamado de nitrificação e pode basicamente ser descrito pelas duas fórmulas químicas em (2.1).



Como em (2.1), a amônia não é diretamente oxidada para nitrato. Ela deve ser primeiro oxidada para nitrito e então para nitrato.

No segundo passo, o nitrato produzido sob condições aeróbicas é transformado para gás nitrogênio (N_2) pelo processo chamado desnitrificação. A desnitrificação ocorrem em ambientes anaeróbios onde a bactéria responsável pela desnitrificação respira com nitrato em lugar de oxigênio. Este ambiente é chamado anóxico. O processo pode ser resumido pela fórmula química (2.2).



onde (CH_2O) representa a matéria orgânica.

Utilizando-se estes dois processos bacteriológicos, nitrificação e desnitrificação, o nitrogênio é removido do esgoto biologicamente.

O processo de remoção de fósforo pode ser efetuada por meio de tratamento biológico utilizando-se o próprio processo de nitrificação/desnitrificação, ou por meio químico, aplicando-se sulfato de alumínio, por exemplo [Van Haandel, 1994].

O tratamento terciário também produz lodo, que deve ser adensado, digerido, secado e disposto convenientemente.

Na segunda etapa do tratamento terciário, é necessário que se elimine ao máximo os organismos patogênicos presentes no lodo e no efluente, evitando-se a proliferação de várias doenças. Os sistemas de tratamento biológico não são adequados para a remoção destes organismos patogênicos e normalmente, um tratamento adicional em uma unidade específica é necessário para se obter um efluente de boa qualidade higiênica. Vários métodos vêm sendo aplicados, incluindo métodos químicos (desinfecção), físico-químicos (irradiação ultravioleta) e físicos (filtração). Em países de clima tropical, como o Brasil, o uso de lagoas é uma alternativa atrativa: descarrega-se o esgoto bruto ou o efluente de um sistema de tratamento em lagoas rasas. Após um período de permanência suficientemente longo há uma remoção significativa de patogênicos através de sua morte natural. A taxa de morte dos patogênicos nessas lagoas, chamadas *leitos de secagem*, pode ser acelerada utilizando-se a luz solar com o objetivo de criar condições adversas para estes organismos como temperatura alta, obtida com a irradiação direta do sol.

2.2 Lodo de Esgotos

Todos os sistemas de tratamento biológico de águas residuárias geram lodos na forma de suspensão de flocos. Dependendo da natureza e origem dos sólidos, distingue-se lodo primário e lodo secundário. O lodo primário é gerado a partir da sedimentação de material particulado do afluente. O lodo secundário ou biológico é gerado no reator biológico do sistema de tratamento, constituindo-se em uma mistura de sólidos não-biodegradáveis do afluente e massa bacteriana que cresce no reator.

Os lodos apresentam características bastante indesejáveis, cuja correção é papel do tratamento de lodo [Aisse, 1999]:

- **Grande volume:** a concentração de sólidos nos lodos é relativamente baixa, de modo

que seu volume é considerável, sendo necessário reduzir o teor de água.

- **Qualidade higiênica péssima:** especialmente no caso de esgoto sanitário há uma grande variedade de vírus, bactérias e parasitas (protozoários, ovos de nematóides e helmintos) e portanto representam um grande perigo à saúde pública.
- **Instabilidade biológica:** os lodos primário e aeróbio possuem normalmente uma grande fração de material orgânico biodegradável o que torna o lodo putrescível. O método mais comum para reduzir o teor de material orgânico é por meio da aplicação da digestão anaeróbia.

2.3 Desidratação do Lodo

Há vários processos naturais e artificiais usados para desidratação do lodo, com o objetivo de reduzir seu volume. Dentre os naturais tem-se, os *leitos de secagem*, as *lagoas de secagem* e a *disposição no solo*. O primeiro destaca-se por conseguir atingir um alto teor de sólidos [Van Haandel, 1994]. Entre os processos artificiais têm-se as *centrífugas* que separam os sólidos da água por diferença de força centrífuga e os *filtros* (a vácuo, prensa de esteiras e prensa de placas) onde o lodo fica retido em panos filtrantes.

Os processos naturais exigem uma área considerável em razões como 1 m^2 para 20 a 50 habitantes, dependendo das condições climáticas e da natureza do processo (anaeróbio ou aeróbio). Os processos artificiais ou mecanizados não demandam uma grande área mas possuem custo mais elevado e requisitos como: alimentação de energia elétrica e adição de polímeros auxiliares no processo.

2.3.1 Leitos de Secagem

Leitos de secagem foram as primeiras unidades a serem usadas para a secagem de lodo (Figura 2.2). Fisicamente, são constituídos de uma área confinada por paredes e um fundo de alvenaria ou concreto onde há um sistema de drenagem composto de tubos perfurados que se apóiam sobre o fundo. Acima do sistema de drenagem encontram-se camadas estratificadas de cascalho e areia.

Quando o lodo a ser secado é descarregado sobre a areia do leito, a água é removida por percolação (pelo sistema de drenagem) e por evaporação. Após alguns dias, o fluido inicial do

lodo aplicado se transforma numa massa pastosa densa e a percolação pára. A partir deste momento, a secagem de lodo continua somente como resultado da evaporação.

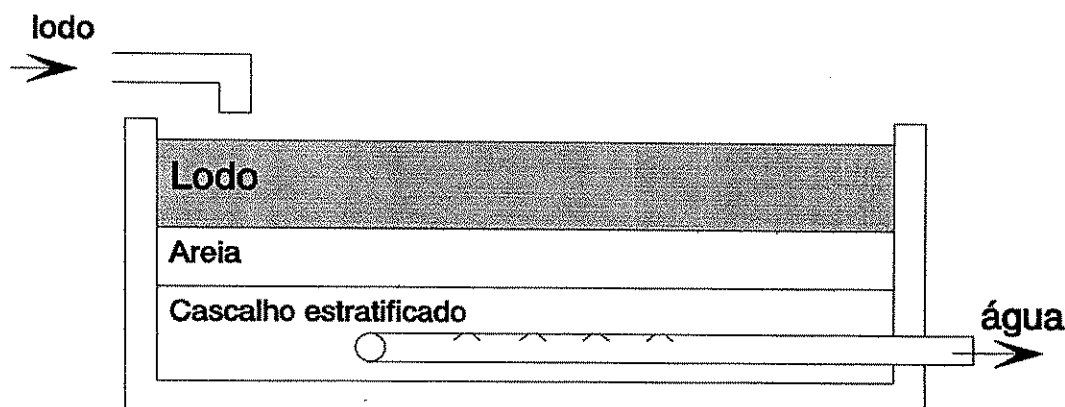


Figura 2.2: Representação esquemática de um leito de secagem

As frações relativas entre sólido e líquido no lodo são usualmente descrito pela **concentração ou teor de sólidos** expresso em g/l ou % de sólidos. Denomina-se *sólidos totais* em um lodo a soma dos sólidos dissolvidos e suspensos. Este último definido como aquela fração de sólidos que não passa através de um filtro denominado *filtro de fibra*. Cada um destes três tipos de sólidos (total, dissolvido e suspenso) podem ainda serem subdivididos em *fixos* e *voláteis*, sendo o último definido como a fração que se oxida a $600^{\circ}C$.

As curvas da Figura 2.3 representam a relação entre o volume relativo de lodo e a sua percentagem de água para teores iniciais de sólidos de 50 e 100 g/l isto é, para percentagens iniciais de água de 90 e 95 % (curvas a e b respectivamente). Observa-se que o volume do lodo diminui rapidamente à medida em que a porcentagem de água se reduz devido aos processos de evaporação e percolação. Por exemplo, ao se submeter um lodo com 95 % de água ($50 g.STS.l^{-1}$ – 50 gramas de sólidos totais sedimentáveis/litro) à separação sólido-líquido e havendo uma redução da percentagem de água para 80 %, então os $50 g.STS.l^{-1}$ representarão $100 - 80 = 20$ % ou $1/5$ do volume.

Na Figura 2.3 também é ilustrado como as percentagens de água influenciam nas propriedades mecânicas do lodo. À medida que a percentagem de água diminui, o lodo se torna mais pastoso e abaixo de uma percentagem de 75 % perde as características de um fluido e transforma-se em uma torta semi-sólida. Abaixo dos 65 % o lodo se transforma num sólido duro e abaixo dos 40 % esse sólido se quebra em grânulos. Quando a percentagem de água se torna ainda mais baixa

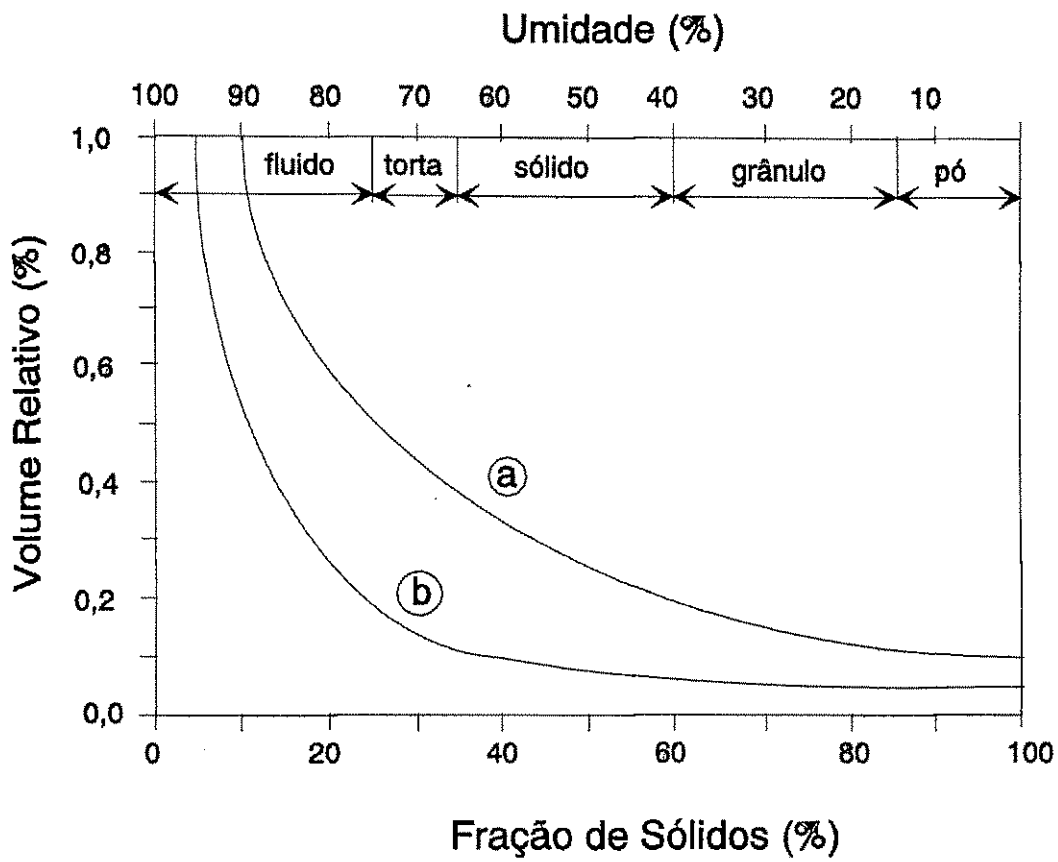


Figura 2.3: Curvas de valores de volume do lodo *versus* fração de sólidos

(15%), o sólido desintegra-se, formando um pó fino.

Cobertura dos leitos de secagem

Em princípio, o leito de secagem é uma unidade aberta. No entanto, com o objetivo de abrigá-lo das chuvas e geadas (climas frios) costuma-se cobri-los. Ao cobrir o leito abre-se a possibilidade de usar a energia solar para aquecer o lodo durante a secagem. Utilizando-se uma cobertura transparente, pode-se aumentar a temperatura interna do lodo bem acima da do ambiente por efeito estufa, reduzindo-se assim a concentração de organismos patogênicos.

2.4 Desinfecção do Lodo

O lodo resultante gerado do processo de tratamento de esgotos é rico em nutrientes tais como potássio, fósforo e nitrogênio, que geram efeitos benéficos nas propriedades do solo permitindo a princípio seu uso na agricultura. Porém, como comentando anteriormente, muitos organismos patogênicos estão presentes no lodo o que causaria sérias doenças à população, se utilizado diretamente sem nenhum tratamento prévio.

2.4.1 Patogênicos associados ao lodo de esgotos e ao efluente

Os principais organismos causadores de prejuízos à saúde pública e que encontram-se presentes no lodo de esgotos e no efluente são:

- **Bactérias:** As bactérias encontradas no lodo incluem os coliformes fecais, *Salmonella spp.*, *Vibrio cholerae*, *Campylobacter fetus*, *Escherichia coli*, *Legionella*, *Listeria*, *Shigella* e *Yersinia enterocolitica*.

A maioria dos patogênicos morrem muito rapidamente fora do intestino humano, mas *Escherichia coli*, a qual é utilizada como um indicador de bactéria, persiste por períodos de tempo maiores.

As espécies *Salmonella* podem sobreviver de 11 a 280 dias no solo e entre 7 a 53 dias em plantas [Gerba, 1975]. Um estudo da sobrevivência da *Salmonella* presente no lodo quando aplicado à terra demonstrou taxas de morte em solos orgânicos e arenosos de $T_{90} = 22$ dias e $T_{90} = 14 - 16$ dias respectivamente (T_{90} é o intervalo de tempo necessário para 90 % dos organismos morrerem [Kowal, 1982]).

- **Vírus:** Os vírus encontrados em esgotos incluem Enterovírus (67 tipos incluindo poliovírus e ecovírus, os quais causam meningite), rotavírus, vírus da hepatite A, adenovirus (31 tipos) e HIV.

Geralmente os vírus não sobrevivem bem na atmosfera e seu número decresce rapidamente.

- **Protozoários:** Os protozoários normalmente encontrados no lodo de esgotos são *Entamoeba histolytica cysts*, *cryptosporidium*, *balandium coli* e *giardia intestinalis*.

Os protozoários são capazes de persistir apenas algumas horas em plantas, mas podem sobreviver por dias no solo.

A *Giardia cyst* pode sobreviver na água à 8°C por mais de dois meses, um mês à 21°C e quatro dias à 37°C.

- **Helmintos:** Os ovos de Helmintos se concentram no lodo de esgotos por causa da sua relativa alta densidade. As espécies mais comumente encontradas são *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichara*, *Enterchuis vermicularis*, *Aneucetoma duodenale*, *Taenia saginata* e *Taenia sclion*.

Diferente das bactérias e vírus, os ovos de helmintos e larvas são estáveis no solo e podem permanecer viáveis por anos [Smith, 1997]. O gado pastando em um pasto irrigado com um efluente não tratado pode ser infectado com o *Cystecercus bovis* (o estágio em larva da *Taenia saginata*). A rota de transmissão para a infecção humana é estabelecida quando alguém come a carne de gado contaminada crua ou mal cozida.

O ovo de *Ascaris lumbricoides* aparece como o mais resistente dos helmintos, e sua presença pode assim ser um indicador útil da qualidade higiênica do lodo de esgoto tratado.

2.4.2 Desinfecção utilizando-se calor

A elevação da temperatura no lodo pode destruir organismos patogênicos bastante resistentes como os ovos de helmintos e assim muitos pesquisadores tem usado a elevação da temperatura para diminuir a concentração de organismos patogênicos [Steintiford, 1994]. Em [Strauss, 1999], a influência da temperatura é apresentada através de um diagrama que relaciona temperatura versus tempo com a sobrevivência de organismos patogênicos tais como *Vibrio cholerae*, *Taenia*, bacterias como *Shigella*, *Salmonella* e ovos de *Ascaris* e *Taenia* sendo que uma temperatura de 60 °C durante uma hora, garante a morte total destes organismos patogênicos.

Alguns métodos tem sido usado para aumentar a temperatura do lodo bem acima da temperatura ambiente, tais como o uso de gás biológico, gerado na digestão biológica, ou energia química da digestão aeróbica de alta taxa. No entanto, a energia solar não tem sido usada como fonte de calor para aquecimento do lodo. Nas condições típicas da região nordeste do Brasil, o sol é uma poderosa fonte de calor que pode ser usado para aumentar a temperatura do lodo bem acima da do ambiente.

Uma variante dos leitos de secagem, representado pela Figura 2.4 foi utilizado neste trabalho para estudar a eliminação dos patógenos, fazendo bom uso da radiação solar. O leito de secagem modificado é termicamente isolado na base e nos lados, e na parte superior ele possui uma

tampa de vidro. O vidro permite que a radiação solar entre no leito mas impede o retorno de raios infravermelhos emitidos pelo lodo, criando desta forma um aquecimento por efeito estufa [Tipler, 1995]. Na parte inferior, uma camada de areia dá suporte mecânico à camada de lodo.

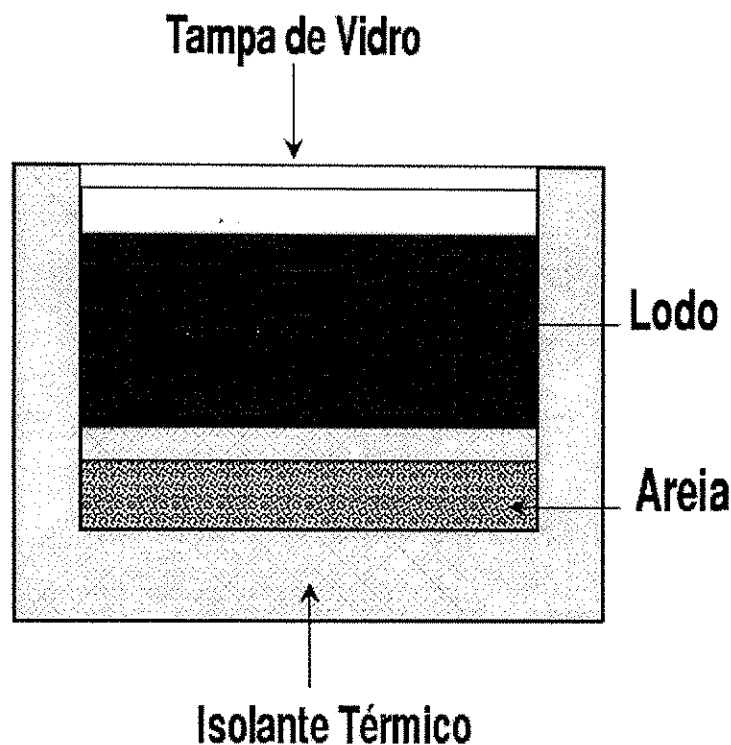


Figura 2.4: Representação esquemática de um leito de secagem modificado

As questões que se apresentam são: É possível tornar os ovos de helminto inertes usando radiação solar? Quais deveriam ser as dimensões da camada de lodo para obter-se o menor tempo de morte dos organismos mais resistentes dado um ambiente com determinadas características térmicas? Ou por outro lado, dado um conjunto de dimensões para a camada de lodo, quanto tempo levaria para os organismos mais resistentes serem destruídos?

O ponto de partida para responder estas questões é medir a temperatura da camada de lodo no leito de secagem e verificar se a mesma consegue manter-se acima 60°C por cerca de uma hora. Isso pode ser verificado de forma rápida e precisa utilizando-se um sistema de aquisição de dados. Em seguida, a modelagem e estimação de parâmetros do sistema de secagem poderá fornecer estimativas de temperatura, dado um conjunto de condições térmicas.

Este trabalho se propõe a apresentar um sistema de aquisição de dados de temperatura e radiação de baixo custo desenvolvido para a monitoração destas grandezas nos leitos de secagem

e de descrever os processos de modelagem, identificação e estimação de parâmetros físicos realizados nos leitos de secagem

2.5 Destino final do Lodo

Além do uso na reciclagem agrícola há outros destinos para o lodo como a colocação em aterros sanitários exclusivos, a disposição de superfície, a disposição oceânica, lagoas de armazenamento ou a incineração. Porém, a reciclagem agrícola têm se destacado, a nível mundial, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, por viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo, e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo.

Os custos das alternativas de disposição final são bastante variados, mas podem ser avaliados pelos dados apresentados na Tabela 2.1.

Alternativas de disposição final	Custo(US\$/t)
Oceânica	12 a 50
Aterros sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem Agrícola	20 a 125

Tabela 2.1: Custo de algumas alternativas de disposição final do lodo

O condicionamento do lodo tem as funções básicas de reduzir o potencial patogênico dos agentes presentes no material e aumentar o seu grau de estabilização, com o objetivo de reduzir os problemas potenciais da geração de odor, da atração de vetores (organismos que podem transportar os patógenos para outros locais) e os riscos de contaminação.

Dependendo do sistema de tratamento, das condições de estabilidade e das condições operacionais, o lodo produzido pode apresentar bom grau de estabilização como, por exemplo, a aeração prolongada. Para a produção do lodo por batelada, como no caso dos reatores anaeróbico do tipo UASB (reatores anaeróbicos de fluxo ascendente), o lodo produzido é uma mistura de material bastante estabilizado em avançado nível de maturação, com sedimentos orgânicos mais frescos e pouco estabilizados.

Além dos aspectos econômicos, os potenciais impactos ambientais devem ser observados na definição das alternativas da disposição final do lodo. Os aterros sanitários dependem da

localização de áreas próximas aos centros urbanos onde o lodo é produzido. O terreno deve apresentar características especiais de impermeabilização, de disponibilidade de argila para a cobertura, isolamento ambiental com relação a bacias hidrográficas. Além das exigências de localização, deve-se considerar que, após a desativação e o selamento, os aterros podem produzir gases que deverão ser adequadamente drenados e que essas áreas apresentarão sérias restrições de uso.

A disposição superficial refere-se ao espalhamento do lodo em grandes áreas, para promover sua oxidação. Os principais problemas ambientais estão relacionados ao odor, à presença de vetores e à contaminação do lençol freático com nutrientes. Exige também grandes áreas com características especiais e localizadas próximas a centros urbanos.

Em todas as alternativas apresentadas, há problemas de localização por restrição da comunidade e os compostos provenientes do lodo não aproveitados economicamente.

A alternativa da reciclagem agrícola tem o grande benefício de transformar um resíduo em importante insumo agrícola que fornece matéria orgânica e nutrientes ao solo, trazendo também vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente. As vantagens são reduzir os efeitos adversos à saúde causados pela incineração, diminuir a dependência de fertilizantes químicos e melhorar as condições para o balanço do CO_2 pelo incremento de matéria orgânica no solo. Sua utilização no entanto traz riscos associados principalmente à agentes patogênicos, e deve estar condicionada a regras que definam as exigências de qualidade do material a ser reciclado e aos cuidados exigidos para a estabilização, desinfecção e normas de utilização que incluam as restrições de uso [Fernandes, 1997].

2.6 Conclusões

Neste capítulo, foi apresentada a necessidade de sistemas de tratamento de esgotos para a manutenção dos corpos receptores de esgoto e da vida dentro dos mesmos. As etapas do tratamento de esgotos foram discutidas, sendo dada maior ênfase ao tratamento terciário, onde operam os leitos de secagem de lodo, responsáveis inicialmente pela desidratação do lodo e principal objeto de estudo deste trabalho.

Foram descritos os principais patogênicos associados ao lodo em conjunto com algumas condições necessárias à sua morte. Foi descrita a desinfecção do lodo utilizando-se calor e um tipo modificado de leito de secagem, utilizado com o propósito de aproveitar a energia solar como

fonte de calor para desinfecção foi apresentado. Finalizando o capítulo, algumas alternativas de disposição do lodo foram colocadas.

Capítulo 3

Sistema de Aquisição de Dados

3.1 Introdução

Na maioria das estações de tratamento de esgotos, a coleta do conjunto de dados que determinam a qualidade do tratamento, tais como pH, temperatura, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), etc, é realizada de forma manual, o que pode causar dificuldades na análise das informações e até torná-las comprometedoras, por duas razões básicas: distância do processo ao centro de análise destes dados e precisão das medidas [Campos, 1999].

Uma vez que normalmente o ponto de medição fica distante do centro de análise, a velocidade com que o operador realiza a coleta é pequena quando comparada a um sistema automático. Um aumento da frequência da coleta torna-se difícil o que significa que se a dinâmica do processo é mais rápida que o intervalo de tempo entre as coletas, informações importantes poderão ser perdidas. Além disso, a precisão das medidas depende do operador e do instrumento utilizado, no caso de temperatura por exemplo, o instrumento mais comumente utilizado é o termômetro de mercúrio, devido ao seu baixo custo.

Com um sistema automático de aquisição de dados, é possível obter uma alta taxa de coleta de amostras combinada com uma precisão nas medidas independente do operador e de um modo geral bastante superior. Sistemas baseados em microcontroladores se tornaram uma opção eficiente, compacta, de baixo custo e tão poderosa para implementação de sistemas de aquisição de dados quanto as baseados em microprocessadores.

Neste trabalho desenvolveu-se um sistema baseado em microcontrolador, de baixo custo, para aquisição de dados de temperatura e radiação, desde o processo de aquisição propriamente

dito até sua *interface* humano-máquina. Para o sistema proposto teve-se como objetivo inicial utilizá-lo nos leitos de secagem de lodo com fins de modelagem, identificação e estimação de parâmetros. Além disso, o sistema também foi utilizado para medição de temperatura em uma lagoa denominada *lagoa de estabilização*, utilizada como uma etapa de polimento do efluente do sistema de tratamento de esgotos.

Além da seção de Introdução, este capítulo divide-se em mais quatro seções: a seção 3.2 trata dos sensores e do microcontrolador utilizado, pré-processamento dos sinais, transmissão via rádio e as rotinas de trabalho do microcontrolador e do microcomputador. Na seção 3.3 é apresentada a *interface* Humano-Máquina, em 3.4 os resultados de medição de temperatura na Lagoa de Estabilização e em 3.5 a conclusão do capítulo.

3.2 Aquisição de Temperatura e Radiação

Os principais pontos a terem sua medição de temperatura automatizada foram as lagoas de estabilização e os leitos de secagem de lodo. Na Figura 3.1 encontra-se um diagrama genérico do sistema de aquisição de dados. O sistema compõe-se de sensores de temperatura distribuídos ao longo dos leitos de secagem e da lagoa de estabilização que junto com o radiômetro são ligados a um microcontrolador. Este por sua vez, é ligado a um computador no centro de análise dos dados por um enlace de rádio-frequência, que distam cerca de 120 m..

Os sensores de temperatura e de radiação foram distribuídos em vários pontos da lagoa de estabilização e nos leitos de secagem. Na lagoa de estabilização foram colocados sete sensores de temperatura em um bastão de PVC de 70 cm, com espaçamento de 30, 10, 10, 8, 5, 2 e 4 cm entre os sensores, a partir de 10 cm acima da base (Figura 3.2), conforme especificação requerida pelo PROSAB.

Nos leitos de secagem, a quantidade de sensores é variável, pois a quantidade de leitos em cada experimento também o é. Houve situações de utilização de dois sensores por leito, quando da utilização de oito leitos a situações de cinco sensores por leito, utilizando-se dois leitos. A situação mais comum foi a da utilização de três sensores em cada leito. Em cada mudança no número de sensores, os orifícios do leito de secagem reservados à colocação dos mesmos eras abertos ou fechados.

Os sensores são ligados a um microcontrolador que irá periodicamente adquirir as informações dos sensores na forma analógica, convertê-los em uma forma digital e armazená-los localmente.

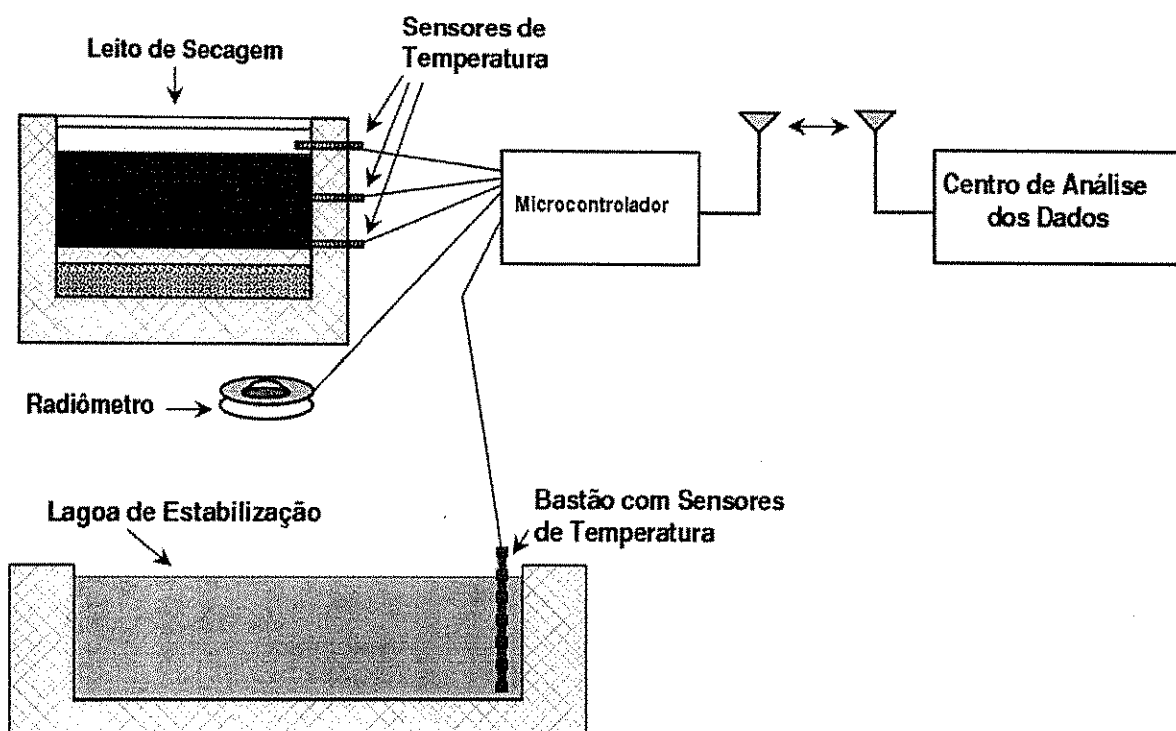


Figura 3.1: Diagrama geral do sistema de aquisição de dados

Pelo comportamento dinâmico da temperatura, um período de 5 a 10 minutos entre uma amostra e outra é suficiente para um acompanhamento satisfatório. Assim, adotou-se um período de amostragem de 5 minutos.

Quando o microcontrolador não estiver executando o processo de leitura, conversão e armazenamento das informações de temperatura e radiação, estará verificando se em sua porta de comunicação há algum pedido de leitura do computador instalado no centro de análise de dados. Em caso afirmativo, o microcontrolador enviará os dados referentes ao intervalo de tempo pedido, desde que este intervalo seja menor ou igual a 24 horas (limitação de memória). Em conjunto com os dados são enviadas informações para controle do fluxo de informações e verificação de erros. Um enlace de rádio faz a ligação entre o microcontrolador e o centro de análise de dados.

No centro de análise de dados, um microcomputador (PC) executa um programa, implementado para estabelecer a comunicação com o microcontrolador, processar os dados recebidos a fim de convertê-los para valores de temperatura e radiação, fazer a verificação de erros, permitir a visualização por parte do operador e criar um arquivo de dados contendo as informações

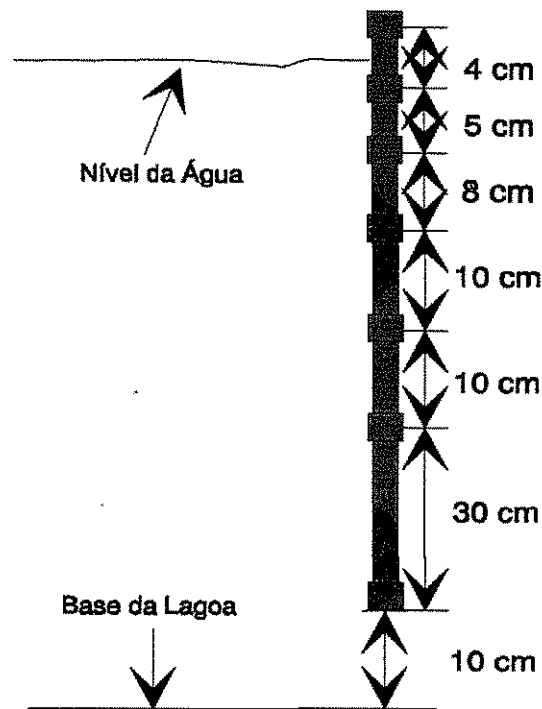


Figura 3.2: Representação esquemática do bastão de PVC contendo os sensores da lagoa de estabilização

recebidas para uma análise posterior mais detalhada.

3.2.1 Sensores utilizados

Utilizou-se o circuito integrado LM35 como sensor de temperatura. Como principais características destacam-se:

- Calibrado diretamente em graus Celsius, não sendo assim necessário converter o sinal recebido como ocorre quando o mesmo representa uma temperatura em Kelvin ou Fahrenheit e se deseja a temperatura em Celsius.
- Fator de escala linear de $+10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
- Faixa de Temperatura de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ (variável conforme o tipo).
- Opera de 4 a 30 V.

- Não linearidade típica de $\pm\frac{1}{4}^{\circ}C$.
- Baixa impedância de saída, $0,1 \Omega$ para uma carga que exige 1 mA de corrente.
- Corrente de Dreno menor que $60 \mu A$.
- Precisão garantida de $0,5^{\circ}C$ na temperatura de $25^{\circ}C$ e $0,75^{\circ}C$ em toda a faixa de temperatura.
- Baixo auto-aquecimento, $0,08^{\circ}C$ no ar parado.
- Constante de tempo térmica de 15 s.

Além disso é um sensor de utilização simples, possui apenas três terminais sendo dois deles para alimentação e o terceiro para obtenção do valor de temperatura com relação ao terminal de terra.

O sensor de radiação utilizado foi um radiômetro construído na própria Universidade Federal da Paraíba, e cujo fator de escala é de $2,99 mV/cal.min^{-1}.cm^{-2}$.

3.2.2 Microcontrolador utilizado

O microcontrolador utilizado no sistema de aquisição de dados foi o 80C552, um microcontrolador derivado do largamente utilizado 80C51 fabricado pela *Intel Incorporation* e *Philips Semiconductors* [Philips2, 1989]. As seguintes características estão presentes no 80C552 (Figura 3.3):

- CPU do 80C51 inclusive com instruções 100% compatíveis.
- RAM de 256×8 expansível externamente até $64K \times 8$ (utilizado $32K \times 8$).
- Sem ROM: necessário ROM externa.de até $64K \times 8$ (utilizado $32K \times 8$)
- Dois contadores/temporizadores padrão de 16 bits.
- Seis portas de entrada/saída de 8 bits.
- Um contador/temporizador de 16 bits acoplado a 4 registradores de captura e 3 registradores de comparação.

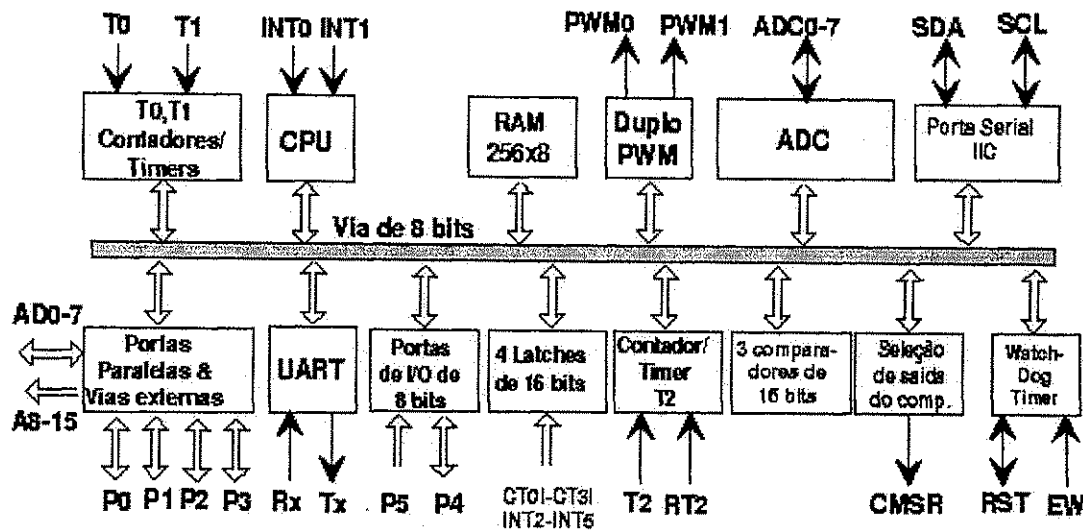


Figura 3.3: Diagrama em blocos do microcontrolador 80C552

- Um conversor A/D de aproximações sucessivas com 8 entradas, resolução de 10 bits e tempo de conversão de 50 μs .
- 2 Saídas moduladas por largura de pulso com 8 bits de resolução.
- UART *full-duplex* compatível com o padrão 80C51.
- Porta serial I²C com funções de mestre e escravo *byte* orientadas.

3.2.3 Pré-processamento dos Sinais

Antes de serem acoplados ao conversor A/D do 80C552, os sinais provenientes dos sensores necessitam de um processamento prévio com multiplexação, filtragem e condicionamento. A justificativa para cada processamento é descrita a seguir.

Multiplexação

Foram especificadas 24 pontos de entrada analógica para os sensores. Porém, como o microcontrolador possui apenas 8 entradas em seu conversor A/D disponíveis para o acoplamento dos mesmos, pensou-se em multiplexar os sinais oriundos dos sensores de modo que se pudesse obter o número necessário de pontos de entrada. Pensando-se ainda em uma necessidade futura de expansão foram colocados 32 pontos de entrada para os sensores.

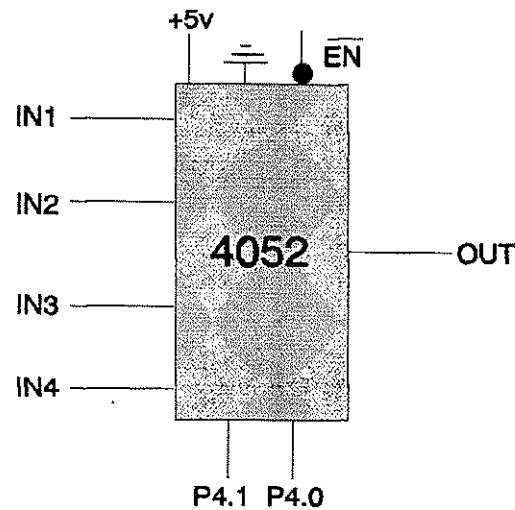


Figura 3.4: Diagrama funcional do multiplexador 4x1 - 4052

Na Figura 3.4 é apresentado o diagrama funcional do multiplexador utilizado. O Circuito Integrado (CI) 4052 possui dois multiplexadores de 4x1, com entradas de seleção comuns. IN1 à IN4 representam as entradas a serem multiplexadas, \overline{EN} a entrada de habilitação, +5 V e GND os pinos de alimentação, OUT a saída e P4.1 e P4.0 representam as entradas de seleção. Para 32 entradas são necessários quatro CIs 4052. Todas as entradas de seleção são controladas pelas portas P4.1 e P4.0 do microcontrolador de modo que a cada combinação das entradas de seleção, cada multiplexador fornece um sinal de um sensor para uma entrada do conversor A/D, sendo necessárias quatro mudanças nas entradas de seleção para completar a varredura das 32 entradas. O atraso de propagação típico do CI 4052 é de 250 ns, e assim foi necessário estabelecer um atraso entre o instante em que ocorre a mudança nos pinos de seleção e a rotina de leitura do conversor A/D (10 ms).

Condicionamento e filtragem

Como a faixa de conversão do conversor A/D possui um intervalo de variação de 0 a 5 V, e considerando-se que a temperatura para a aplicação em questão possa variar entre 0 e 100 °C o sensor de temperatura forneceria sinais com amplitudes variando entre 0 e 1 V, utilizando-se o fator de conversão de 10 mV/°C. Se estes sinais dos sensores fossem acoplados diretamente ao conversor A/D, iria-se subutilizá-lo, provocando-se erros maiores nas medidas.

O erro de quantização máximo do conversor A/D é de $\pm 1/2$ LSB, o que no caso de uma

faixa de conversão de 0 a 5 V com resolução de 10 bits resultaria em um erro máximo de $\pm 1/2 \left(\frac{5V}{2^{10}} \right) = \pm 0,0024414062$. Desta forma, temperaturas por exemplo entre 49,755 e 50,244 °C provocariam tensões na saída dos sensores variando entre 0,49755 e 0,50244 V as quais seriam interpretadas como 0,5 V considerando-se que há um nível de quantização neste ponto. Esta aproximação para 0,5 V implica que temperaturas variando entre 49,755 e 50,244 °C seriam interpretadas como 50 °C. No entanto, se um condicionador é utilizado de modo a deslocar a faixa de 0 a 1 V fornecida pelos sensores para a faixa de 0 a 5 V, seriam interpretadas como 50 °C temperaturas que variam entre 50,048 e 49,951 °C melhorando-se assim a precisão das medidas.

Com o propósito de eliminar interferências de sinais de origem desconhecida de frequência em torno de 100 Hz, percebidas durante a fase de testes (talvez algum harmônico resultante da operação de uma série de bombas e motores lá instalados), um filtro passa-baixas de primeira ordem com frequência de corte em 28,42 Hz foi colocado antes do condicionador. Considerando-se que a constante de tempo do sensor de temperatura é de 15 s, um filtro com esta frequência de corte não causa danos à informação.

Na Figura 3.5 ilustra-se o diagrama do circuito elétrico do filtro acoplado ao condicionador. Este último trata-se de um amplificador não-inversor com ganho ajustado em 5.

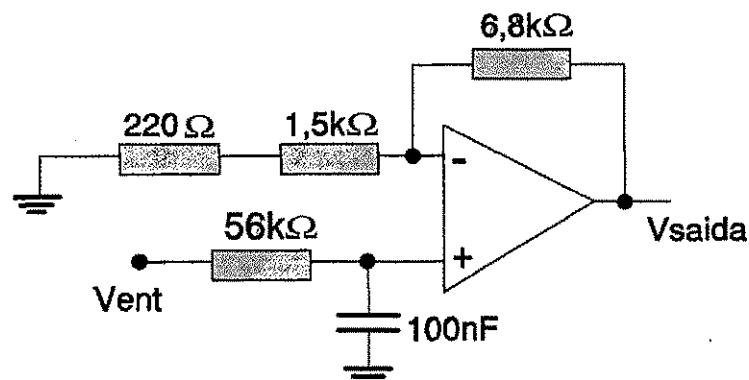


Figura 3.5: Diagrama do circuito de filtragem e condicionamento

O amplitude do sinal fornecido pelo radiômetro é bastante baixa ainda para intensidades altas de radiação. Deste modo, um amplificador foi colocado exclusivamente para o radiômetro (Figura 3.6). Um ganho de tensão de 20 para o amplificador eleva os valores de forma satisfatória, além de que, quando acoplado ao condicionador descrito anteriormente, resulta em um ganho total de 100, tornando os cálculos de conversão do sinal elétrico para informação de radiação,

um processo mais direto. O radiômetro fornece sinais balanceados de modo que utilizou-se um amplificador diferencial como primeiro estágio com o propósito de diminuir o ruído de modo comum.

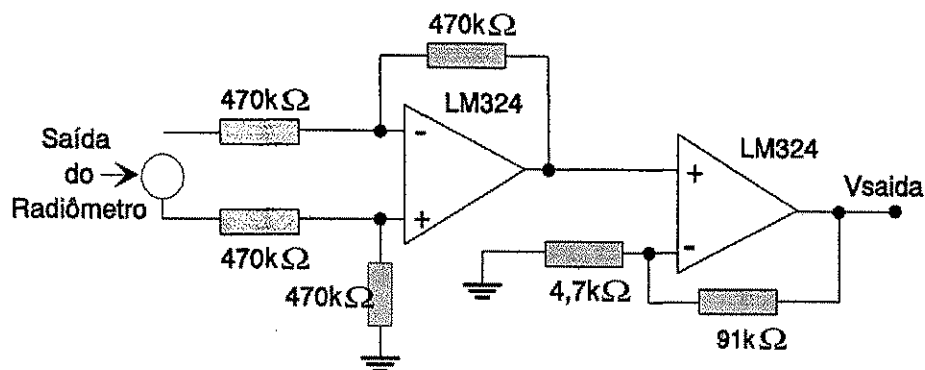


Figura 3.6: Esquema elétrico do amplificador do radiômetro

3.2.4 Transmissão via Rádio

Em estações de tratamento de esgotos, a distância e as condições de tempo tornam muitas vezes a coleta de dados um processo complicado. Ainda que a aquisição em si seja automatizada (o processo de aquisição e armazenamento local) na presença por exemplo de chuva, a coleta das informações por parte do operador torna-se difícil. Levando-se isto em consideração, entre o microcontrolador 80C552 e o microcomputador há um enlace de rádio que conecta as duas partes.

O enlace foi construído utilizando-se os módulos de transmissão (RRF1) e recepção (RTF-2) da TELECONTROLLI [Telecontrolli]. Os módulos transmitem e/ou recebem sinais utilizando modulação e/ou demodulação por chaveamento em frequência - FSK, e já vêm com frequência central de trabalho pré-determinadas: 315 MHz, 418 MHz e 433,92 MHz. As frequências de trabalho são determinadas através de um processo de sintonia de indutores utilizando-se *laser*, o que lhes confere alta precisão e estabilidade em frequência. Há um desvio de frequência Δf de ± 25 kHz em relação à frequência central de trabalho quando aplicados os bits "1" e "0" respectivamente. O alcance obtido é de até 250 metros, o que para a aplicação em questão é suficiente; para distâncias maiores porém, outros módulos devem ser pesquisados. Com o objetivo de ligar os módulos à porta serial, um conversor de níveis (uma *interface* de comunicação) foi

utilizado. O conversor (MAX232) converte o sinal TTL fornecido pelo receptor em padrão RS232 e o RS232 oriundo do PC em TTL para o transmissor (Figura 3.7). Como havia a disponibilidade

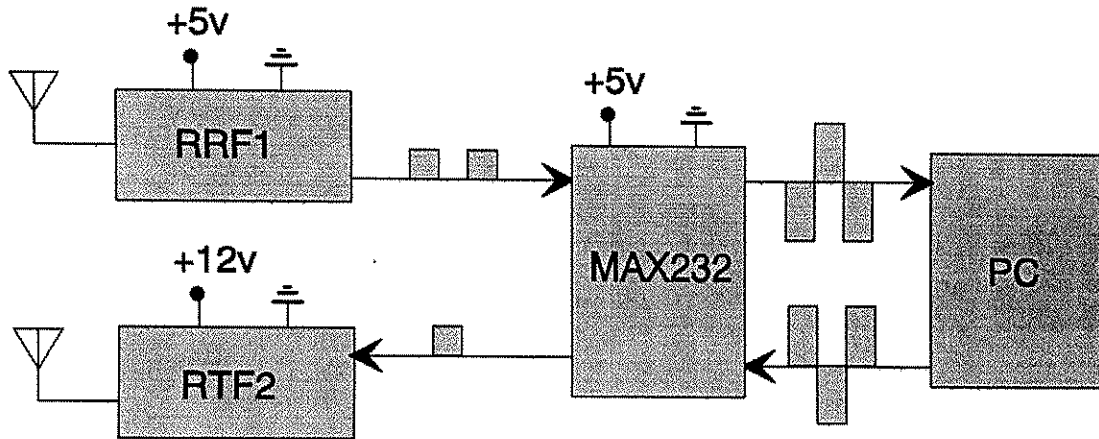


Figura 3.7: Acoplamento do transceptor com o PC

de apenas módulos com frequência de 433,92 MHz procurou-se implementar um enlace *half-duplex* (apenas um transmissor envia informações por vez) que possui a desvantagem de um fluxo de dados menor com relação ao *full-duplex*. Na Figura 3.8 têm-se ilustrado a representação esquemática do enlace entre o microcontrolador e o microcomputador.

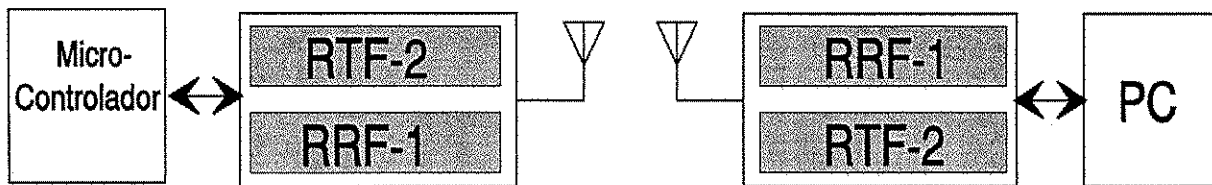


Figura 3.8: Representação esquemática do enlace via rádio

Como a comunicação é do tipo *half-duplex*, é necessário desligar a alimentação dos receptores quando os transmissores necessitarem enviar mensagens e vice-versa, evitando-se assim interferência entre o dado gerado localmente e a informação remota.

A comunicação em *half-duplex* permite ainda a implementação de um item que não foi contemplado neste trabalho mas que pode ser implementado no futuro que seria uma rede de comunicação entre microcontroladores e o microcomputador. O microcomputador neste caso

é o mestre da rede e os microcontroladores os escravos. Uma rede mestre-escravo é uma boa opção quando da ocorrência de problemas de expansão do sistema.

3.2.5 Rotina de Trabalho do Microcontrolador

Tipos de Mensagem

Entre o microcomputador e o microcontrolador dois tipos possíveis mensagens podem ser transmitidas:

- LEITURA
- DESCARREGAMENTO (*download*)

A mensagem de **leitura** obtém do microcontrolador o mais recente conjunto de amostras adquirido pelo mesmo. A mensagem de **descarregamento** permite que o usuário possa adquirir n ($n \leq 288$) amostras anteriores ao instante em que ele inicia a transmissão da mensagem. Isto é possível porque o microcontrolador possui 32 Kbytes de memória externa suficiente para armazenar além do programa de controle, informações dos sensores durante 24 horas (288 amostras de cada um dos 32 sensores) e se faz necessário quando não se tem a intenção de deixar o microcomputador ligado por exemplo, durante à noite.

As mensagens possuem um formato apresentado na Figura 3.9.



Figura 3.9: Quadro de mensagens originado pelo microcomputador

SOM, OP, SN, BCC e EOM representam respectivamente os *bytes* de início de mensagem, o tipo de operação, o número de amostras, a soma de verificação e o fim de mensagem. Os possíveis valores dos campos no quadro de mensagens encontram-se na Tabela 3.1.

Programa Principal

O microcontrolador possui basicamente duas funções principais: verificar a ocorrência de alguma mensagem vinda do microcomputador e a conversão e armazenamento dos sinais dos sensores.

Campo	Significado	Valor	
SOM	Início da Mensagem	$D3_{(16)}$	
OP	Operação	$01_{(16)}$	Leitura
		$02_{(16)}$	Descarregamento
		$03_{(16)}$ a $FF_{(16)}$	Não Usado
SN	Número de amostras anteriores	$00_{(16)}$	Para operação Leitura
		$0001_{(16)}$ a $0120_{(16)}$	Para operação Descarregamento
		$0121_{(16)}$ a $FFFF_{(16)}$	Não Usado
BCC	Check Sum	Soma módulo 256 dos campos OP e SN	
EOM	Fim da Mensagem	$23_{(16)}$	

Tabela 3.1: Significado dos Sinais

A primeira é tratada no programa principal, enquanto a segunda é realizada por uma rotina específica acionada por uma interrupção. Na Figura 3.10 encontra-se o fluxograma das tarefas executadas pelo programa principal.

Inicialmente ajustes iniciais como seleção da taxa de transmissão e valores iniciais dos registradores são realizados. Em seguida o microcontrolador verifica continuamente se chegou algum dado na porta serial. Em caso afirmativo, confirma se trata-se de um caracter de início de mensagem ($D3_{16}$) e se os bytes restantes trazem a informação correta utilizando-se o campo BCC e o caracter de final de mensagem. Se algum teste vier a falhar, o microcontrolador volta a verificar a porta serial.

Caso as mensagens cheguem em perfeito estado, verifica-se se a mesma é de leitura ou de descarregamento e trata-se de se enviar 1 ou n amostras conforme o caso.

Endereço de início da transmissão dos dados É reservado no programa principal uma faixa da memória para armazenamento dos dados adquiridos dos sensores. A rotina que trata da aquisição e armazenamento dos dados vai escrevendo-os à partir de um endereço inicial e quando a faixa de endereçamento termina, a próxima amostra deve ser escrita novamente no endereço inicial, dando início assim a mais um ciclo. Quando há um pedido de descarregamento, o endereço que aponta para a dado mais recente é salvo e as n amostras pedidas devem ser subtraídas do mesmo. Um teste verifica se o resultado da subtração é menor que o endereço inicial. Em caso afirmativo, supondo uma diferença Δ entre o endereço inicial e o resultado

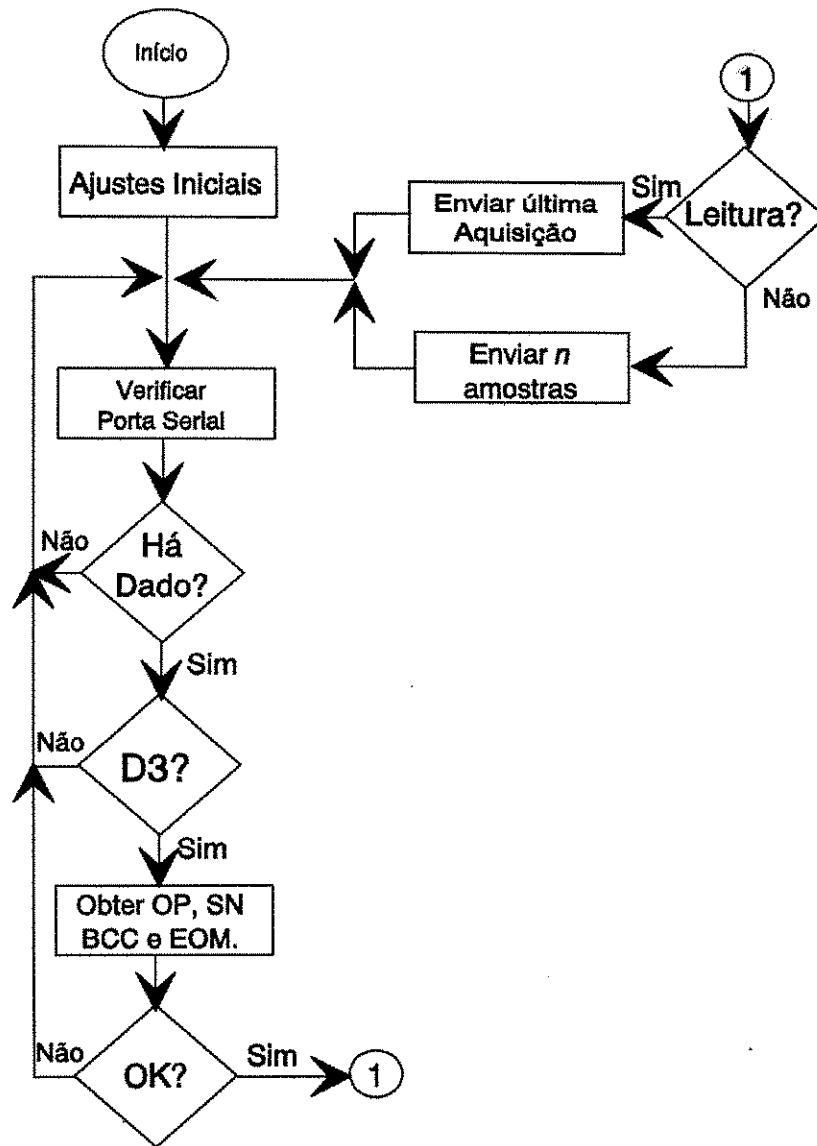


Figura 3.10: Fluxograma do programa principal do microcontrolador.

da primeira subtração, deve-se subtrair Δ do endereço final da faixa de armazenamento (Figura 3.11). A transmissão então inicia-se e o endereço vai sendo incrementado até que se atinja o endereço que aponta para a amostra mais recente. Caso a primeira subtração resulte em um endereço maior que o endereço inicial, a transmissão inicia-se e termina quando o endereço se igualar ao endereço de início do pedido.

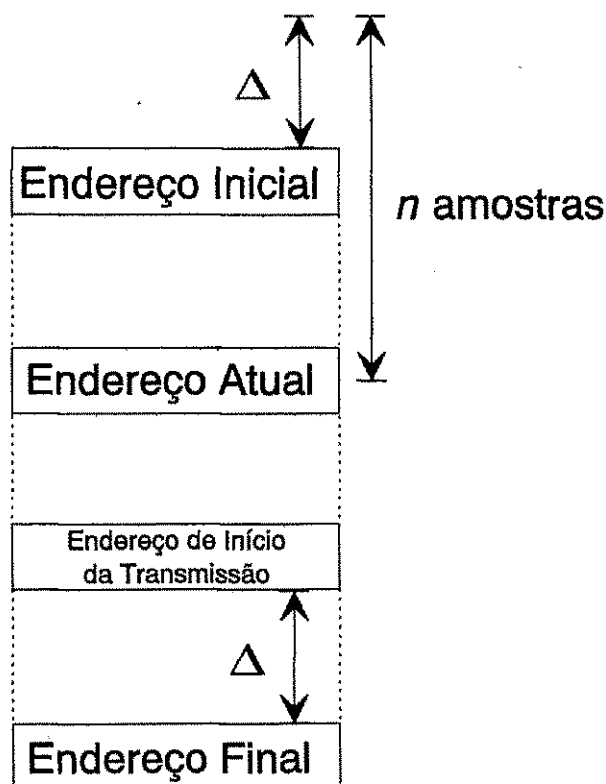


Figura 3.11: Representação esquemática do processo de busca do endereço para início da transmissão de dados.

Uma questão importante que pode ocorrer durante o processo de transmissão dos dados é que o programa principal seja interrompido para que sejam realizados os processos de aquisição e armazenamento, uma vez que estes últimos ocorrem por interrupção. Como o apontador de endereços é o mesmo, poderia haver erro na posição de escrita. Desta forma, sempre que se inicia um processo de transmissão e ocorre uma interrupção, o valor atual do apontador deve ser salvo, então deve assumir o valor de início da transmissão e após terminar os processos de aquisição e armazenamento, o apontador assume o valor anterior à interrupção.

Transmissão dos Dados O conversor A/D possui resolução de 10 *bits*, sendo necessárias duas posições de memória para o armazenamento de cada uma das informações dos sensores em cada ciclo. Na primeira posição disponível da faixa de memória reservada para as informações dos sensores são armazenados os 8 *bits* mais significativos da palavra de 10 *bits*, e na posição seguinte os 2 *bits* restantes. Com o objetivo de separar os dados das informações de controle, foi adotado um formato para a transmissão dos dados (Figura 3.12). Neste formato, o grupo 10 *bits* a serem transmitidos é seccionado e são transmitidos 4, 4 e 2 *bits*, respectivamente.



Figura 3.12: Formato prévio dos dados para a transmissão.

Desta forma, para cada amostra são necessários 3 *bytes* para sua transmissão. Adotando-se tal formato, cada *byte* que chega até o PC pode ter seu valor variando apenas entre 01000000_2 (40H) e 01111100_2 (7CH) o que contribui para a detecção de erros provocados pelo meio de transmissão e que levam um determinado *byte* a ficar fora da faixa 40H - 7CH. Os erros provocados pelo meio e que fazem com que o *byte* se localize na faixa 40H - 7CH ainda podem ser detectados pela soma de verificação (BCC).

Obviamente, tal formato leva a uma perda na vazão dos dados. Como a transmissão se dá *byte a byte*, utilizando-se 10 *bits* no formato apresentado, o intervalo de tempo necessário à transmissão é acrescido em 50 % porém, se a vazão não for um fator restritivo, e um aumento de confiabilidade dos dados é importante, o formato pode ser usado.

Além da modificação citada, os dados são transmitidos no formato de um quadro ilustrado na Figura 3.13.

O quadro é composto de um *byte* de início de mensagem ($D3_{16}$), pela sequência de $n \times 32$ canais, sendo $n = 1$ para mensagens de leitura e $1 \leq n \leq 288$ para mensagens de *download*. Ao final, têm-se um campo de BCC que contém a soma módulo 256 dos dados enviados e um caracter de final de mensagem (23_{16}).

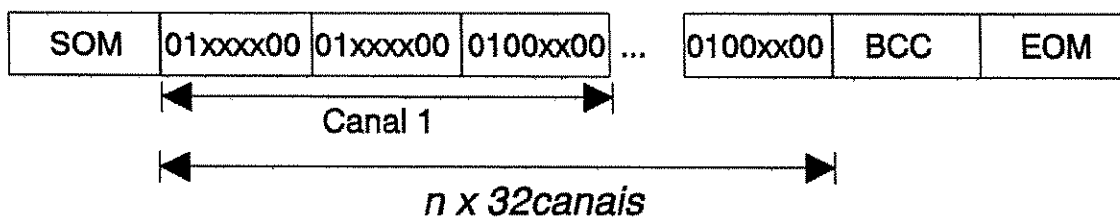


Figura 3.13: Formato do quadro de dados

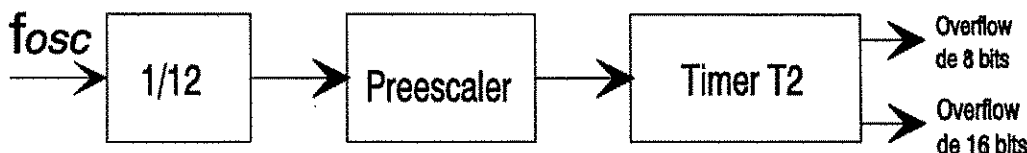


Figura 3.14: Estrutura interna do timer T2

Rotina de Aquisição e armazenamento dos dados

O microcontrolador 80C552 possui 3 temporizadores/contadores de 16 bits. Um deles, o T2, tem sua estrutura interna apresentada Figura 3.14. O temporizador T2 tem sua entrada de clock ligada a um preescaler com um fator de divisão programável de 1, 2, 4 ou 8. A entrada do preescaler é acionada com 1/12 da frequência de oscilador que é de 11,0592 MHz. Quando há um overflow de 8 ou 16 bits no temporizador T2, uma interrupção é gerada e força (se habilitada) o 80C552 a deixar de executar o programa corrente e iniciar uma execução à partir do endereço 8073H onde uma rotina adequada trata a interrupção. Uma descrição mais detalhada do temporizador e outros subsistemas é apresentado no apêndice.

Utilizou-se o temporizador T2 para gerar a base de tempo necessária para comandar os instantes de amostragem do conversor A/D. Utilizando-se um preescaler de fator 4 e um overflow de 16 bits, tem-se uma interrupção a cada $(\frac{11059200}{12} \frac{1}{4} \frac{1}{2^{16}})^{-1} = 0,28444 \text{ s}$ (na realidade não há como evitar o overflow de 8 bits, mas um teste foi implementado no início da subrotina que faz abortar o tratamento caso o overflow seja de 8 bits). Para obter-se uma amostragem a cada 5 minutos é necessário usar um registrador que a cada $(5 \times 60) / 0,28444 \approx 1055$ interrupções realize uma leitura no conversor A/D. Como os registradores são de 8 bits, utilizou-se dois registradores para obter-se uma contagem até 1055. Com 1055 interrupções, têm-se um período de $1055 \times 0,28444 \text{ s} = 300,088 \text{ s}$ o que significa um erro $300,088 - 300 = 0,088 \text{ s}$ ou de 5

minutos a cada 11,71 dias. Na Figura 3.15 é ilustrado o fluxograma para a rotina de tratamento da interrupção do temporizador T2.

Assim como no caso da transmissão dos dados pelo programa principal, no ato de armazenamento deve-se levar em consideração os endereços de início e final da faixa de memória reservada para o armazenamento.

3.2.6 Rotina de Trabalho do Microcomputador

Para que seja possível a comunicação entre microcontrolador e microcomputador é necessário que um conjunto de regras seja obedecido, o chamado protocolo. Como princípio tem-se que em condições de inatividade os transmissores de ambas as partes permanecem desligados e a comunicação sempre inicia-se pelo PC. Na Figura 3.16 é apresentado o algoritmo das tarefas a serem executadas pelo PC.

Ao se iniciar o programa de *interface*, a primeira tarefa que o mesmo executa é verificar se no campo de últimas amostras existe uma solicitação de descarregamento (*download*). Caso haja, o PC energiza o transmissor e envia para o mesmo por meio da porta serial uma mensagem de descarga com a quantidade de amostras anteriores que se deseja. Caso contrário o PC inicia com um pedido da amostra mais recente, dando início a uma aquisição periódica de informações.

Após enviar uma mensagem, o PC desenergiza o transmissor e espera que o microcontrolador responda ao pedido. Caso o microcontrolador não responda em um tempo pré-determinado, o PC fará mais 4 tentativas, após as quais, uma mensagem de erro é enviada ao usuário indicando que o não houve resposta por parte do microcontrolador e que ele deve verificar se há algum problema nas conexões.

Quando o microcontrolador responde, os dados recebidos são armazenados e é feita uma verificação de erros, somando-se os dados recebidos, tomando-se o resto da divisão por 256 e comparando-se com o campo BCC da mensagem que chega do microcontrolador. Caso seja detectado algum erro, um pedido de reenvio é enviado ao microcontrolador. O pedido de reenvio pode ser repetido até 5 vezes antes de um envio de mensagem de erro ao usuário.

Se houve resposta do microcontrolador e os dados chegam em perfeito estado, os mesmos são gravados em um arquivo de texto (o que permite sua manipulação em programas mais específicos de tratamento de dados) e podem ser visualizados através de um gráfico presente na *interface* do usuário.

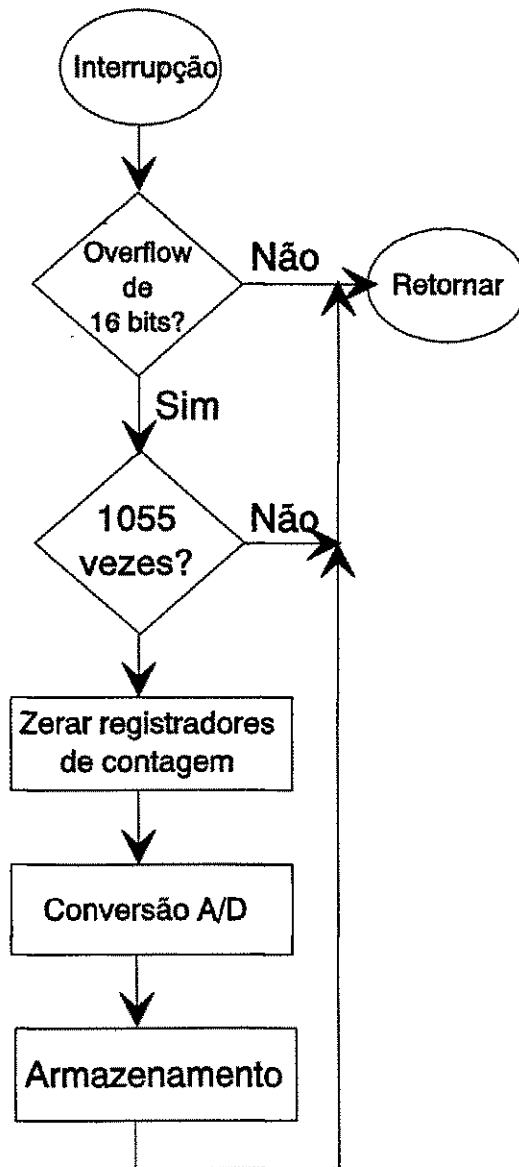


Figura 3.15: Algoritmo de tratamento da interrupção do temporizador T2.

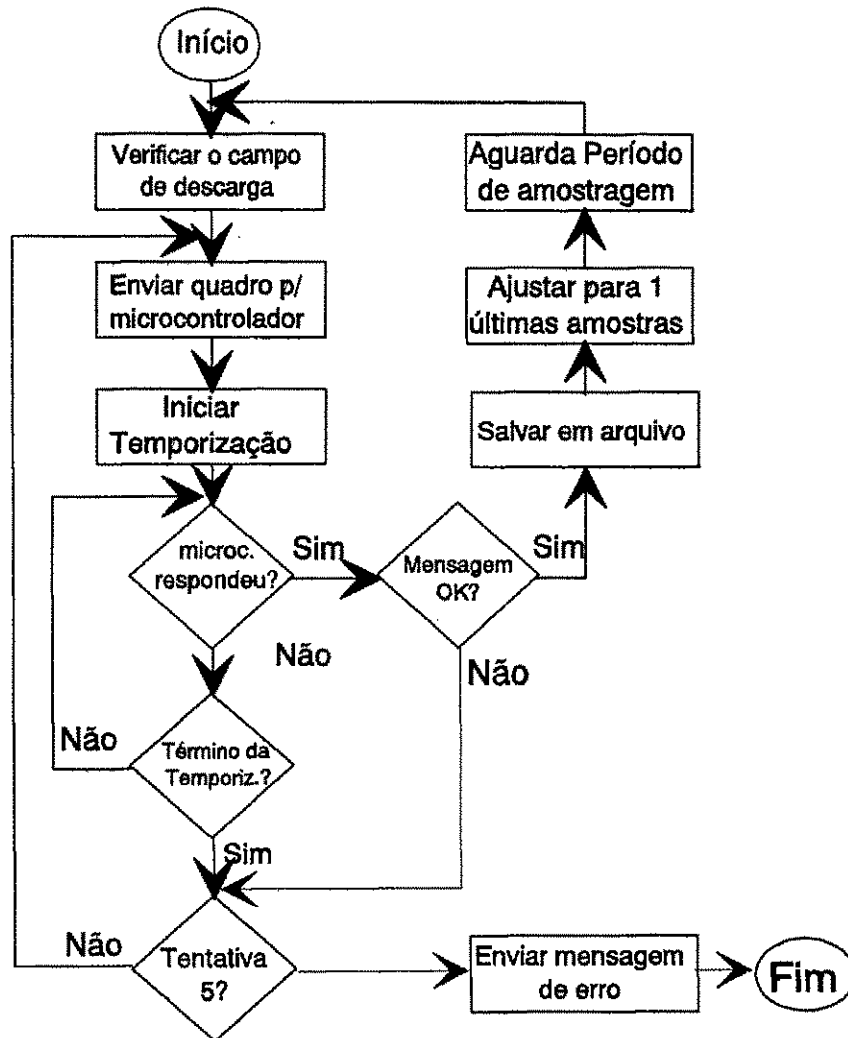


Figura 3.16: Algoritmo das tarefas a serem executadas pelo microcomputador

3.3 Interface Humano-Máquina

É importante para o usuário leigo em engenharia elétrica que o mesmo possa comunicar-se com o sistema de modo amigável, sem precisar entender termos específicos da área, deste modo, o sistema deve ter uma *interface* com o usuário simples e funcional. Para o sistema de aquisição de dados foi desenvolvida uma *interface* como mostrado na Figura 3.17.

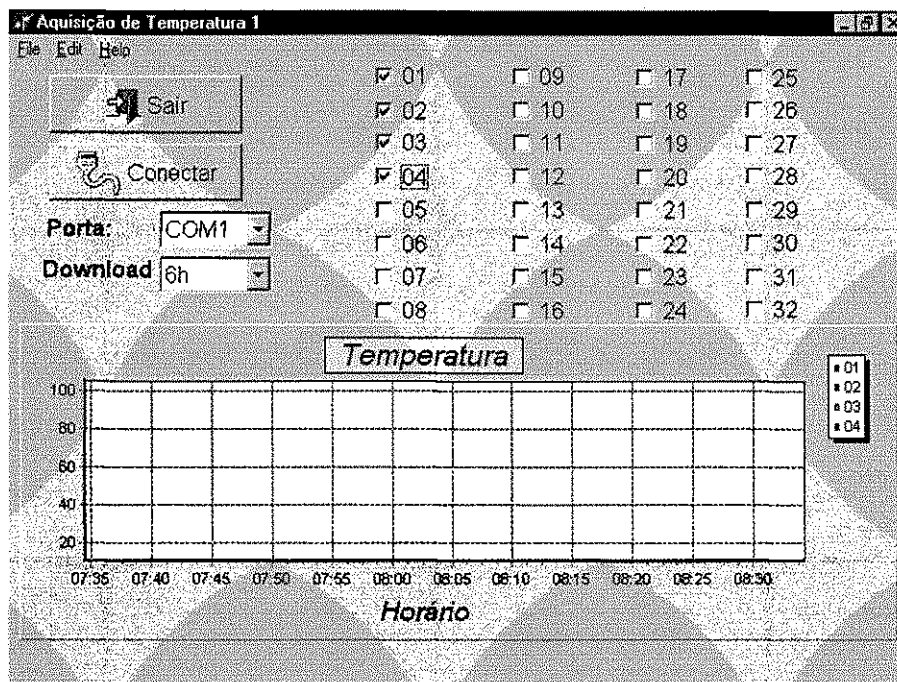


Figura 3.17: Representação da tela do programa de *interface* com o usuário

A *interface* foi criada em ambiente DELPHI, objetivando ter um programa executável em ambiente Windows que não dependa de outros programas, além do próprio Windows para funcionar. *Interfaces* desenvolvidas por exemplo em ambiente MATLAB [MATLAB, 1997] envolvem necessariamente a compra do mesmo, tornando o sistema de aquisição de dados bastante dispendioso. A opção por um programa independente é uma opção de menor custo.

A *interface* possui operação bastante simples. Ao ser acionada, o usuário deve fazer alguns ajustes prévios como escolher a porta de comunicação (COM1 como *default*) ajustar o *download* se necessário (*default* 0 - operação de Leitura) e os canais (1 a 32) que o mesmo deseja acompanhar. Após os ajustes prévios o botão **conectar** deverá ser acionado, ação que muda o *caption* do botão para **desconectar** e inicia-se o processo de comunicação com o microcontrolador.

Quando o microcomputador recebe dados válidos, os mesmos vão sendo mostrados em uma tela gráfica, de acordo com os canais selecionados. As informações vão sendo armazenadas em um arquivo de texto criado pelo programa em seu diretório. Este arquivo possui um nome no formato "datDDMMYYYY.txt", onde DD, MM e YYYY correspondem respectivamente ao dia, mês e ano da aquisição. O arquivo é aberto e fechado a cada aquisição, o que significa que os dados vão sendo adicionados ao arquivo já existente à medida que chegam.

A seleção dos canais utilizando os botões de seleção acima do gráfico permite a visualização dos canais desejados, no entanto, no arquivo de texto onde os dados são armazenados, todos os canais estão presentes independente de estarem ou não selecionados.

O gráfico utilizado é um componente nativo do DELPHI, o Tchart [Cantú, 1996]. O Tchart é um componente bastante versátil que permite inclusive ajuste de *zoom* por *default*. Para isto, basta selecionar a área desejada via botão esquerdo do *mouse*. Esta ação poderá ser feita várias vezes, até o ponto de visualização desejado. Para restabelecer o *zoom*, uma seleção na direção oposta (para cima e à esquerda) é suficiente. O *zoom* possui a opção de ser realizado passo a passo, ao invés de uma só vez, o que resulta um efeito de animação. Além disso, os gráficos são de boa qualidade, sem o efeito da cintilação (*flick*) presente em muitas aplicações gráficas.

O componente TChart permite ainda que o gráfico seja gravado como um arquivo gráfico de extensão BMP ou WMF, e que seja impresso com as opções de impressão típicas como resolução e orientação. Estas propriedades foram utilizadas para compor a barra de menus da *interface*.

3.3.1 Mensagens ao usuário

Algumas mensagens são passadas ao usuário, informando-o sobre alguns estados do sistema ao longo do funcionamento do mesmo.

Download

A operação de *download* (descarregamento), dependendo de quantas amostras são necessárias, pode tornar-se uma operação um tanto lenta. A lentidão é devido à taxa máxima de transmissão suportada pelo receptor, que é de 2400 bauds. Uma barra de progresso foi adicionada ao programa de *interface* (Figura 3.18) para que o usuário possa ter informação do andamento da operação de *download*, evitando-se a dúvida de se o programa está ou não funcionando adequadamente.

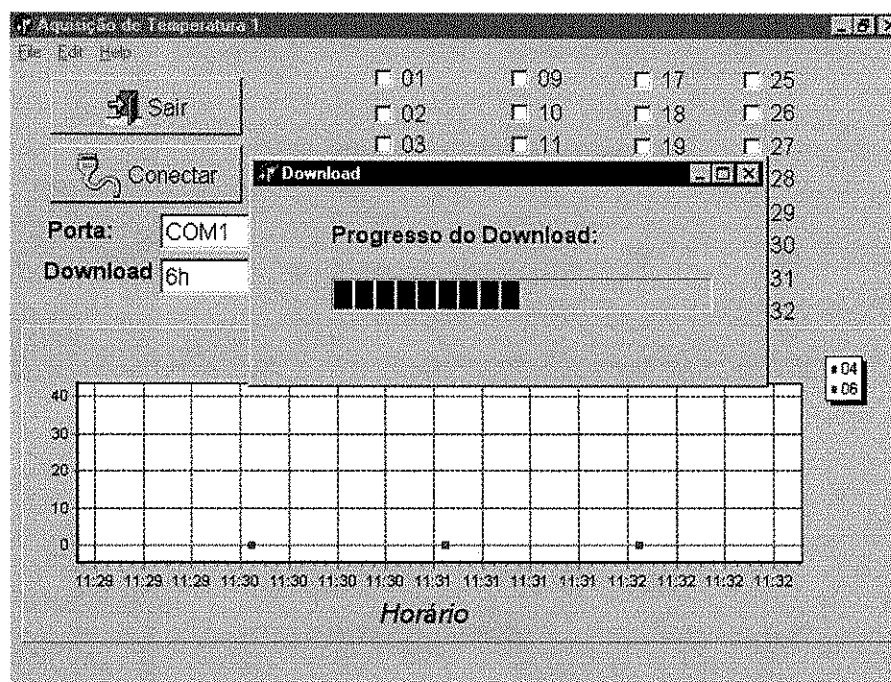


Figura 3.18: Representação da tela de *interface* para a operação de *download*

Erro na Comunicação

Quando o microcomputador tenta estabelecer uma comunicação com o microcontrolador e não recebe resposta deste último durante 5 tentativas seguidas, o programa de *interface* envia uma mensagem de erro ao usuário (Figura 3.19), pedindo que o mesmo verifique as conexões locais e o microcontrolador remoto (pode ser que esteja sem alimentação por alguma razão).

3.4 Resultados obtidos na Lagoa de Estabilização

Na Figura 3.20 encontram-se as curvas para os sete sensores de temperatura dispostos em um bastão e colocados na lagoa de estabilização. De baixo para cima os sensores são denominados Lagoa 1 a Lagoa 7, sendo este último localizado fora da lagoa e fornecendo assim informação da temperatura do ambiente externo.

Nos horários entre 7:00 h e 16:00 h tem-se normalmente uma escala crescente de temperaturas do sensor inferior a todos os outros (Lagoa 1) ao sensor superior (Lagoa 7). À partir das 16:00 h as temperaturas nos sensores mais próximos ao meio ambiente caem rapidamente, enquanto nos mais inferiores, as variações são menores. O comportamento térmico da lagoa

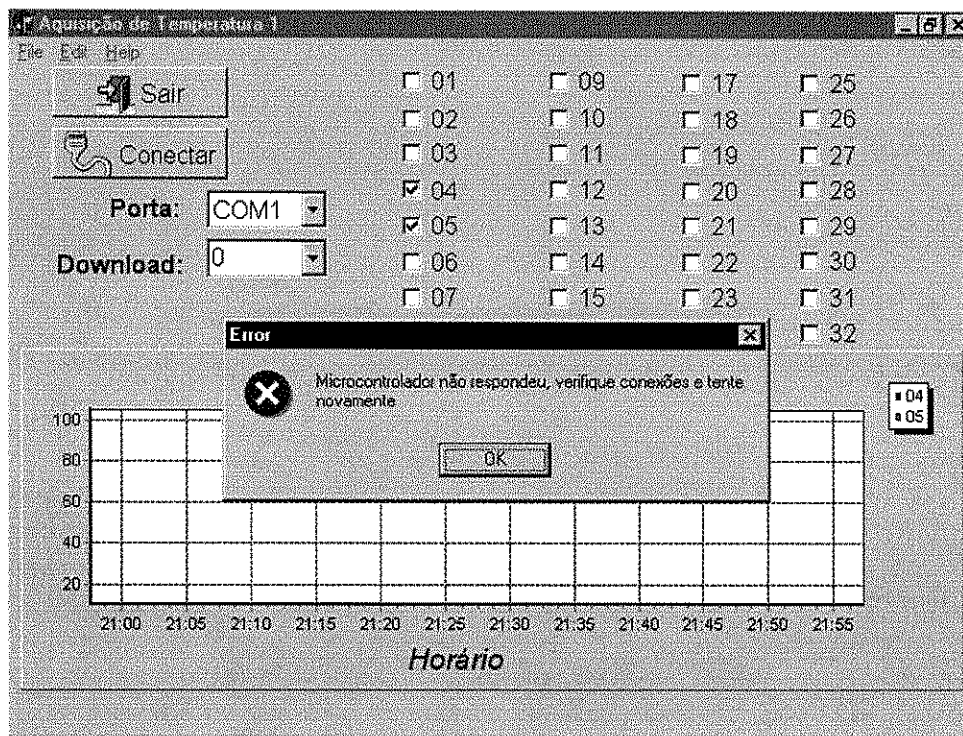


Figura 3.19: Representação da tela da *interface* quando da emissão de uma mensagem de erro.

varia ainda com o vento e com as chuvas.

3.5 Conclusão

Neste capítulo foi discutido o sistema de aquisição de dados desenvolvido. Foram descritas as justificativas de uso do sistema de aquisição com ênfase nas vantagens que ele oferece: precisão, alta frequência de coleta e apresentação dos resultados obtidos com relação a coleta manual. Sensores de temperatura e radiação de uso simples e boa precisão foram utilizados. As principais características do microcontrolador e os programas de gerenciamento das tarefas de comunicação com o microcomputador, de aquisição e armazenamenamento de dados foram descritas em detalhes. Finalmente foi descrito o programa de *interface* com o usuário, um programa desenvolvido para ambiente Windows, sem a necessidade de programas adicionais que encarecem o custo final de sistema de aquisição, que foi concebido com um requisito de funcionalidade e baixo custo.

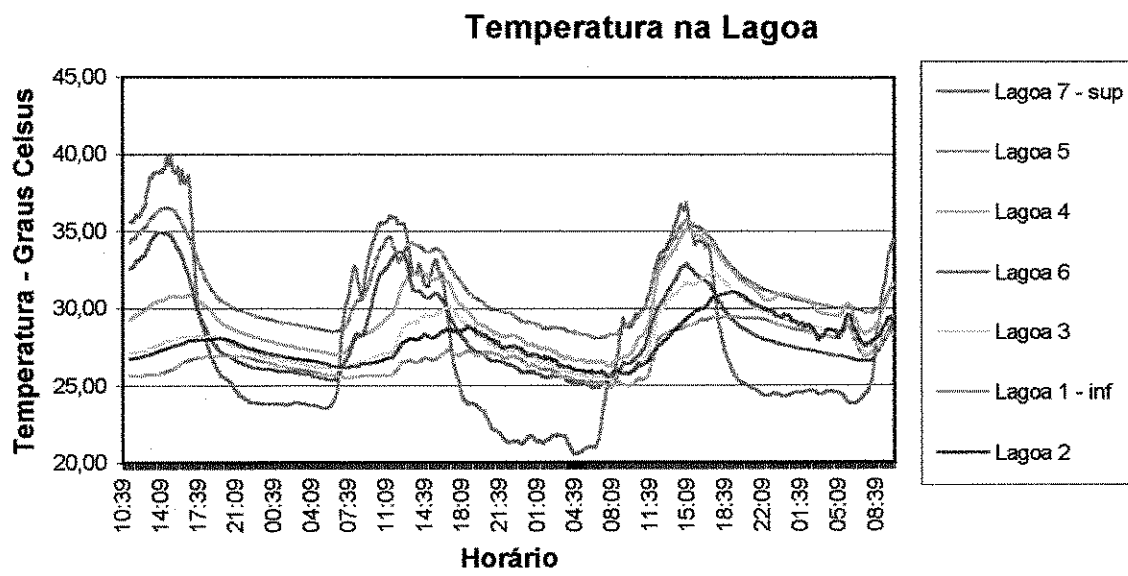


Figura 3.20: Curvas de temperatura na lagoa de estabilização.

de modelagem é descrita e nas seções 4.4 e 4.5 é descrita a identificação do sistema. Na seção 4.6 a estimação de parâmetros é realizada e na seção 4.7 apresenta-se como as características do lodo variam com a umidade e a carga aplicada. O capítulo finaliza-se com as conclusões na seção 4.8.

4.2 Sistemas Térmicos

Em sistemas ditos térmicos, a energia é armazenada e transferida de um ponto a outro em forma de calor. Desta forma, a variável de interesse nestes sistema é a temperatura ou mais precisamente a diferença de temperatura.

A diferença de temperatura pode causar uma taxa de transferência de calor por um ou mais dos seguintes modos: *condução*, *convecção* ou *radiação*.

Na condução, o calor se transmite através da matéria sem que esta se desloque. A agitação das moléculas do material se transmite às vizinhas; isto equivale dizer que o calor "flui" através da matéria.

A convecção é um processo de transferência de calor que se dá por transporte de matéria. Quando um gás ou líquido é aquecido as partes mais próximas à fonte de calor se expandem, tornam-se menos densas e iniciam um movimento de ascensão; as partes frias e menos densas então começam a descer e neste ciclo, o calor é transportado pela movimentação da matéria.

O processo de radiação é aquele em que o calor é transportado por ondas eletromagnéticas e assim, não há necessidade de um meio material para propagar o calor. É assim que o sol transmite calor à Terra.

Considere um pedaço de um determinado material segundo a Figura 4.1. O modelo linear para a taxa de transferência de calor como função da diferença de temperatura é dada pela lei de resfriamento de Newton:

$$Rq = \Delta T \quad (4.1)$$

onde R , q e ΔT são resistência térmica, a taxa de transferência de calor e a diferença de temperatura, respectivamente.

A resistência térmica para a convecção é dada por:

$$R = \frac{1}{hA} \quad (4.2)$$

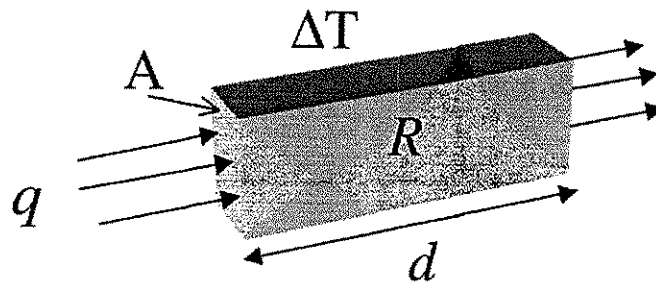


Figura 4.1: Representação de um pedaço de um material qualquer.

onde h é o coeficiente de filme da interface fluido-sólido, e A área de contato fluido-sólido. Para condução, têm-se que:

$$R = \frac{d}{kA} \quad (4.3)$$

onde k é a condutividade térmica do material, A sua área de superfície, e d sua espessura.

A transferência de calor por convecção é ainda dividida em duas categorias: convecção forçada - devido por exemplo à passagem de um fluido bombeado por uma superfície e convecção livre, devido ao movimento natural produzido pela diferença de densidades em um fluido.

Uma quantidade significativa de transferência de calor pode ocorrer por radiação, o exemplo mais notável é a energia solar. A radiação térmica produz calor quando a mesma encontra uma superfície capaz de absorvê-la, podendo ainda ser refletida, refratada ou ainda uma combinação destes três mecanismos. Quando dois corpos estão em contato visual, uma troca mútua de energia ocorre por emissão e absorção. A transferência líquida de calor ocorre do corpo mais quente para o corpo mais frio e pode ser dado pela lei de Stefan-Boltzmann [Tipler, 1995]:

$$q = \beta (T_1^4 - T_2^4) \quad (4.4)$$

onde as temperaturas envolvidas aparecem elevadas à quarta potência. O fator β varia com a natureza dos corpos, com a superfície e até com a própria temperatura. Em geral o β é muito pequeno, de modo que o efeito da transferência de calor por radiação é negligenciável comparado aos efeitos de condução e convecção, a menos que a temperatura de um corpo seja muito maior que o outro.

Além da resistência térmica R , um outro parâmetro importante em sistemas térmicos é a sua capacitância térmica, C . A quantidade de calor ΔQ armazenado em uma substância é

proporcional a sua massa m e a diferença de temperatura ΔT :

$$\Delta Q = cm\Delta T \quad (4.5)$$

ou

$$\Delta Q = C\Delta T.$$

Onde o fator de proporcionalidade c é o *calor específico* da substância e C a sua *capacidade térmica*.

Denomina-se constante de tempo térmica, τ ao produto resistência térmica, capacidade térmica:

$$\tau = RC \quad (4.6)$$

4.3 Modelo a parâmetros concentrados

Para ter-se um modelo simples a parâmetros concentrados, deve-se ser capaz de associar uma temperatura única que seja representativa do sistema. A análise de um sistema térmico torna-se muitas vezes complicada pela dificuldade de se associar tal temperatura representativa a um corpo ou fluido por causa de sua forma complexa ou movimento, resultando em uma distribuição complexa de temperatura ao longo do sistema. Quando a associação de uma temperatura representativa não é possível, vários modelos a parâmetros concentrados acoplados, ou um modelo a parâmetros distribuídos deve ser utilizado.

Modelos a parâmetros distribuídos tomam a forma de equações diferenciais parciais, as quais são mais difíceis de solucionar que as equações diferenciais ordinárias. Após inúmeras tentativas com uso de modelos à parâmetros distribuídos, sempre resultando na impossibilidade de encontro de estimativas de parâmetros físicos, resolveu-se usar neste trabalho aproximações a parâmetros concentrados.

Não foi encontrado na literatura nenhum trabalho relacionado a modelagem de leitos de secagem de lodo, no entanto, trabalhos relacionados modelagem em paredes de prédios para fins de economia de energia foram utilizados como base [Palm, 1999][Persson, 1996].

Considere que a radiação solar incida sobre um leito de secagem cuja camada de lodo possua espessura d como representado na Figura 4.2. Estando no leito de secagem, o lodo fica isolado termicamente das suas vizinhanças a menos de um lado, onde é permitida a passagem da

radiação. Assuma que a temperatura é uniforme em qualquer seção transversal da camada de lodo. Assim a temperatura depende da distância ao topo x e do instante observado t , isto é $T = T(x, t)$.

Assuma também que apenas o mecanismo de condução está presente no transporte de energia dentro do lodo. Devido à tampa de vidro, o mecanismo de convecção que envolve transporte de matéria torna a transferência inexistente ou bastante atenuada. A perda de calor do lodo por radiação também é desprezada devido à diferença de temperatura ser pequena entre o lodo e o ambiente externo e ainda considerando-se que o fator β em (4.4) em geral é muito pequeno. Assuma ainda que o lodo é uniforme (para camadas de mesma dimensão, R e C são iguais). Como última consideração, leva-se em conta aqui que sendo o lodo uma substância de coloração negra, toda radiação solar incidente é absorvida pelo lodo.

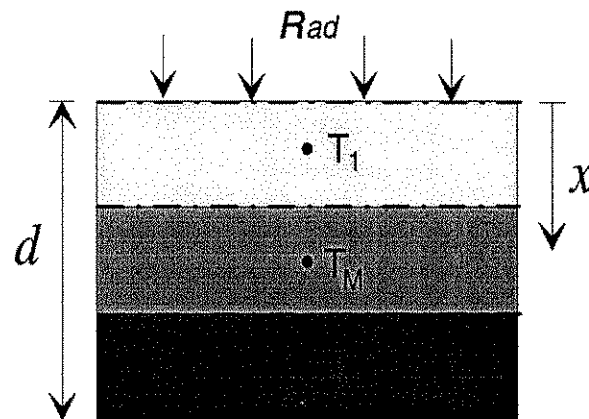


Figura 4.2: Representação da camada de lodo no leito de secagem

Após as considerações feitas, pode-se aproximar o lodo por uma série de subcamadas, cada uma delas contendo sua própria temperatura representativa, a qual é assumida ser constante ao longo da subcamada [Palm, 1999][Palm, 1999]. Assuma que a resistência térmica ocorre apenas na *interface* entre as subcamadas (linhas tracejadas), e que cada subcamada é uma capacitância térmica pura. Considerando a camada de lodo ser uniforme, um balanço de energia no topo irá resultar em:

$$C \frac{dT_1}{dt} = Rad - \frac{(T_1 - T_M)}{R}, \quad (4.7)$$

ou:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{Rad}{C} - \frac{T_1}{RC} + \frac{T_M}{RC} \quad (4.8)$$

onde T_1 e T_M são as temperaturas no topo e no meio da camada de lodo respectivamente, e Rad a radiação solar. Aplicando-se a transformada de Laplace à equação (4.8) e assumindo-se condições iniciais nulas, obtém-se:

$$sT_1(s) = \frac{Rad(s)}{C} - \frac{T_1(s)}{\tau} + \frac{T_M(s)}{\tau} \quad (4.9)$$

ou:

$$T_1(s) = \frac{\frac{1}{C}}{(s + \frac{1}{\tau})} Rad(s) + \frac{\frac{1}{\tau}}{(s + \frac{1}{\tau})} T_M(s) \quad (4.10)$$

onde $\tau = RC$ é a constante de tempo térmica do sistema.

Um balanço de energia na camada do meio do lodo produz:

$$C \frac{dT_M}{dt} = \frac{(T_1 - T_M)}{R} - \frac{(T_M - T_2)}{R}, \quad (4.11)$$

onde T_2 é a temperatura da camada inferior. Aplicando-se transformada de Laplace à (4.11) obtém-se:

$$CsT_M(s) = \frac{(T_1(s) - T_M(s))}{R} - \frac{(T_M(s) - T_2(s))}{R} \quad (4.12)$$

ou:

$$T_M(s) = \frac{\frac{1}{\tau}}{(s + \frac{2}{\tau})} (T_1(s) + T_2(s)). \quad (4.13)$$

Finalmente na base obtém-se:

$$C \frac{dT_2}{dt} = \frac{(T_M - T_2)}{R}. \quad (4.14)$$

E aplicando-se transformada de Laplace à equação (4.14):

$$T_2(s) = \frac{\frac{1}{\tau}}{(s + \frac{1}{\tau})} T_M(s). \quad (4.15)$$

Estas equações serão utilizadas para estimar os parâmetros físicos da camada de lodo. Neste trabalho, a estimação é limitada às camadas inferior e superior uma vez que são suficientes para a determinação dos parâmetros desejados.

4.4 Identificação do Sistema

4.4.1 Medições

As medições de temperatura e radiação foram obtidas do sistema de aquisição de dados descrito no capítulo 3. O experimento foi realizado durante uma semana com os sinais amostrados a cada 5 minutos. Os curvas dos sinais são representados nas Figuras 4.3 e 4.4. Pode ser visto que a temperatura em todas as camadas esteve acima de 60°C para a maioria dos dias ensolarados. Isto indica que os leitos de secagem são capazes de destruir organismos patogênicos.

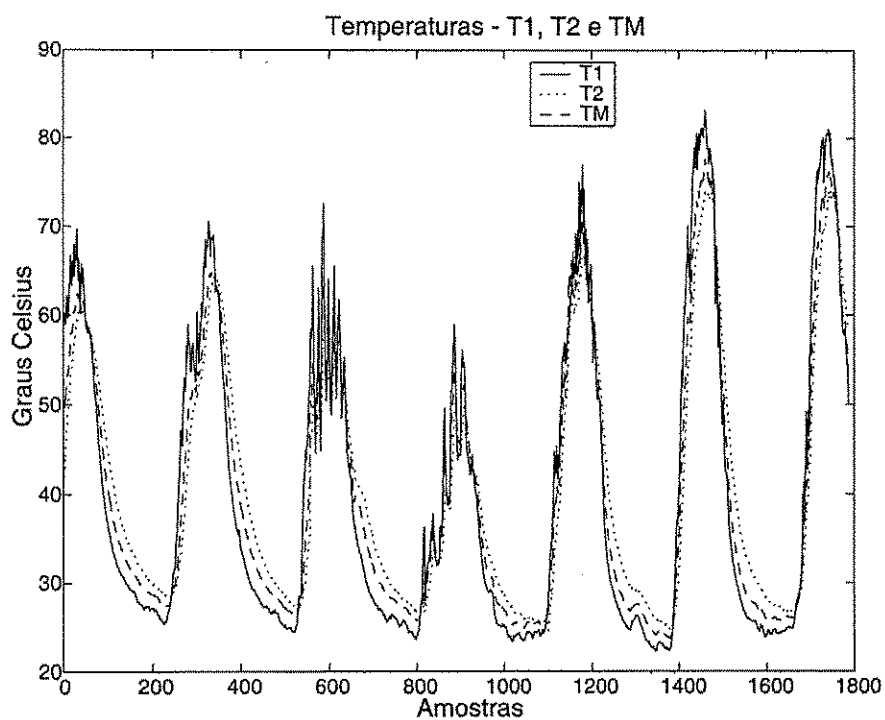


Figura 4.3: Curvas dos resultado das medições de T1, T2 e Tm

Considerando-se que as informações de temperatura e radiação não são obtidas continuamente em tempo, mas sim de forma discreta, funções em tempo discreto são mais adequadas que as funções em tempo contínuo, apresentadas em (4.8), (4.11) e (4.14).

As funções de transferência (4.10), (4.13) e (4.15) são de primeira ordem do tipo genérico:

$$G(s) = \frac{K}{s + a} \quad (4.16)$$

onde K e a são constantes. Amostrando-se (4.16) com período T e aplicando-se a transformada

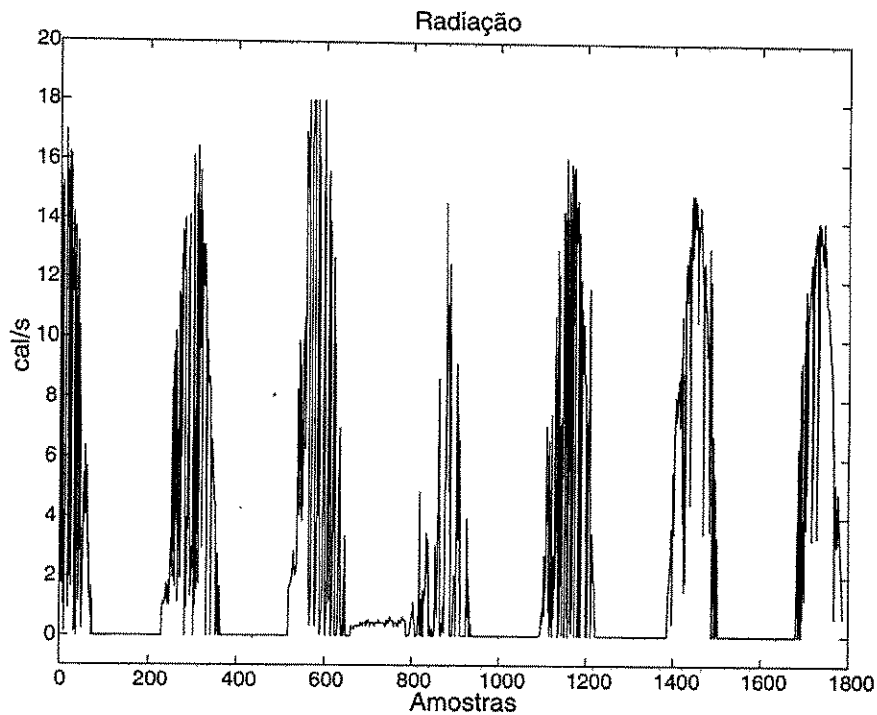


Figura 4.4: Curvas dos resultados da medições de Radiação

z obtêm-se:

$$G(z) = \frac{K e^{-aT}}{z - e^{-aT}}. \quad (4.17)$$

Nas seções seguintes utilizar-se-á sempre modelos discretos, e desta forma, t deve ser interpretado como kT , $k \in Z$ [Ogata, 1982].

Utilizando-se o *System Identification Toolbox* do MATLAB, vários modelos amostrados foram testados. Dois deles provaram dar bons resultados (erro máximo de $8^\circ C$): ARX (*Autoregressive with extra input*) e Espaço de Estados (com resolução das matrizes do sistema por N4SID - *Numerical algorithm for subspace state space system identification*).

4.4.2 ARX - Autoregressivo com entrada extra

Um modelo ARX com duas entradas e uma única saída pode ser descrita como uma equação de diferença linear:

$$y(t) + a_1 y(t-1) = b_1 u_1(t - n_k) + c_1 u_2(t - n_k) + e(t) \quad (4.18)$$

A qual relaciona a saída atual $y(t)$ com a saída anterior $y(t - 1)$ e as entradas $u_1(t)$ e $u_2(t)$. O termo $e(t)$ é o termo de ruído, enquanto n_k é o tempo de atraso puro (*dead time*) do sistema.

O vetor θ de parâmetros ajustáveis é definido como:

$$\theta = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \end{bmatrix}^T. \quad (4.19)$$

O vetor de regressão $\varphi(t)$ é definido como:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} -y(t - 1) & u_1(t - 1) & u_2(t - 1) \end{bmatrix}^T. \quad (4.20)$$

Os parâmetros estimados $\hat{\theta}$ podem ser obtidos resolvendo-se a equação (4.21):

$$\hat{\theta} = \left[\sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) \right]^{-1} \sum_{t=1}^N \varphi(t)y(t) \quad (4.21)$$

a qual é conhecida como solução por método dos mínimos quadrados [Ljung, 1999]. A equação (4.18) costuma ser escrita como:

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u_1(t) + \frac{C(q)}{A(q)}u_2(t) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (4.22)$$

onde:

$$\left\{ \begin{array}{l} q \text{ o operador deslocamento : } q^k u(n) = u(n+k), k \in Z \\ B(q) = b_1 \\ A(q) = 1 + a_1 q^{-1} \\ C(q) = c_1 \\ n_k = 1 \end{array} \right. \quad (4.23)$$

4.4.3 N4SID - Identificação de modelos em espaço de estados por método do subespaço

Um sistema linear pode sempre ser representado na forma de espaço de estados como em (4.24):

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + Bu(t) + w(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + v(t) \end{aligned} \quad (4.24)$$

com w e v sendo ruídos brancos.

Assume-se que não apenas y e u são medidos, mas também a sequência de vetores de estado x desta forma, conhecendo-se y , u , e x , o modelo (4.24) torna-se uma regressão linear. Fazendo-se:

$$\begin{cases} Y(t) = \begin{bmatrix} x(t+1) \\ y(t) \end{bmatrix}, \Theta = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \\ \Phi(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ u(t) \end{bmatrix}, E(t) = \begin{bmatrix} w(t) \\ v(t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (4.25)$$

então, (4.24) pode ser escrito como:

$$Y(t) = \Theta\Phi(t) + E(t). \quad (4.26)$$

Onde $Y(t)$ representa a informação de saída, $\Phi(t)$ a matriz de regressão, $E(t)$ a matriz de erro e Θ a matriz de parâmetros. Deste modo, todos os elementos de Θ podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados (4.21).

O problema é como obter o vetor de estados x . Ljung descreve em que os estados podem ser obtidos como combinações lineares de previsões k passos à frente das saídas ($k = 1, 2, \dots, n$). O problema é então solucionado, encontrando-se tais preditores e escolhendo-se uma base entre eles de modo que os estados possam ser gerados a partir desta base. Este método é conhecido como *método do subespaço* [Ljung, 1999].

O N4SID é um algoritmo baseado no método do subespaço e é capaz de encontrar os preditores para projeção diretamente dos dados de entrada/saída de forma eficiente e numericamente confiável [Van Overschee, 1996].

4.5 Identificação do Sistema Dinâmico

4.5.1 Base da camada de lodo

A identificação do sistema utilizando-se ARX-111 (pólos, zeros+1, e *dead time* respectivamente [Ljung, 1999]) e N4SID de ordem 1 com a informação de temperatura T_2 como saída e de T_M como entrada, forneceram os resultados ilustrados na Figura (4.5). A primeira metade das amostras de temperatura foi utilizada para a identificação e a segunda metade para validação do modelo. As estimativas foram boas e os resultados utilizando-se ARX e N4SID foram bastante próximos (Figura 4.6).

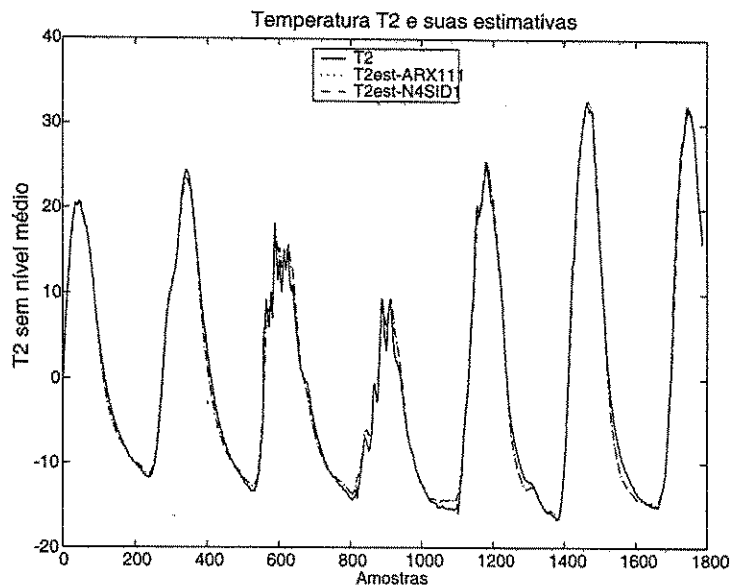


Figura 4.5: Curvas de T2 e suas estimativas utilizando-se ARX e N4SID

Incrementando-se de um a ordem dos modelos, o N4SID produz uma resposta em variações rápidas melhor que o modelo de primeira ordem (Figura 4.7); o ARX praticamente não se altera. Em trechos onde a curva de T_2 possui uma variação lenta, o N4SID perde muito em precisão, enquanto o ARX se mantém. Conclui-se que neste caso, o sistema de primeira ordem representa bem o comportamento da camada de lodo. Um aumento de ordem pode trazer benefícios em frequências altas e prejuízos em baixa frequência. Como no processo de modelagem tem-se sistemas de primeira ordem, é mais fácil estimar parâmetros utilizando-se modelos de primeira ordem.

Utilizando-se o ARX-111 as seguintes funções de transferência foram obtidas da identificação de (4.14):

$$T_2(z) = \frac{0,1253}{z - 0,8671} T_M(z), \quad (4.27)$$

ou

$$T_2(s) = \frac{0,0004483}{s + 0,0004755} T_M(s). \quad (4.28)$$

4.5.2 Topo da Camada de Lodo

Aplicando-se então os processos de identificação ao topo da camada de lodo obtém-se as curvas ilustradas nas Figuras 4.8 e 4.9.

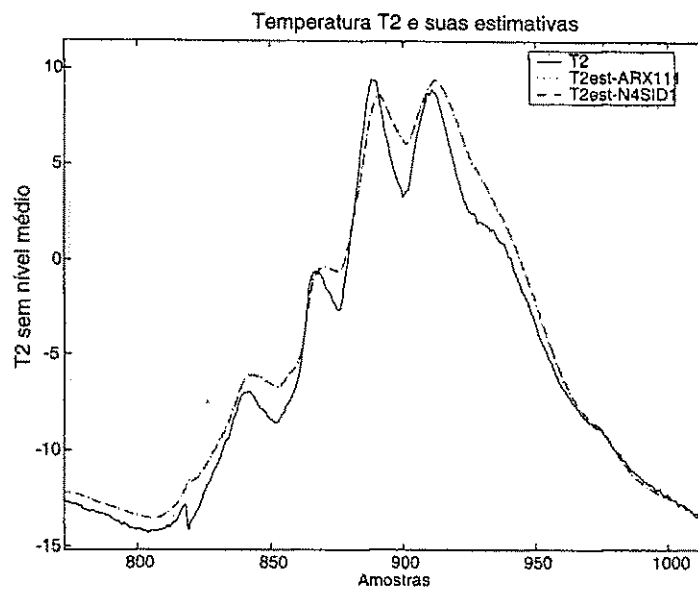


Figura 4.6: Zoom nas curvas de T2 e suas estimativas

As curvas são menos precisas que para a estimação da temperatura na base, isto devido a influência da radiação de modo direto em T_1 o que não ocorria no caso da estimação na base. Sendo o modelo de primeira ordem, ele não possui complexidade suficiente para acompanhar variações tão rápidas. As seguintes funções de transferência foram obtidas da identificação de (4.10):

$$T_1(z) = \frac{0,3112}{z - 0,195} R_{ad}(z) + \frac{0,123}{z - 0,8195} T_M(z), \quad (4.29)$$

ou

$$T_1(s) = \frac{0,001144}{s + 0,0006637} R_{ad}(s) + \frac{0,0004521}{s + 0,0006637} T_M(s). \quad (4.30)$$

4.6 Estimação de Parâmetros Físicos

Baseado nos resultados anteriores, pode-se estimar R e τ por comparação direta entre o modelo e sua identificação. Comparando-se (4.15) com (4.27) obtém-se:

$$\frac{1}{\tau_{1base}} = 0,0004483 \Rightarrow \tau_{1base} = 37,17 \text{ min} \quad (4.31)$$

$$\frac{1}{\tau_{2base}} = 0,0004755 \Rightarrow \tau_{2base} = 35,05 \text{ min}. \quad (4.32)$$

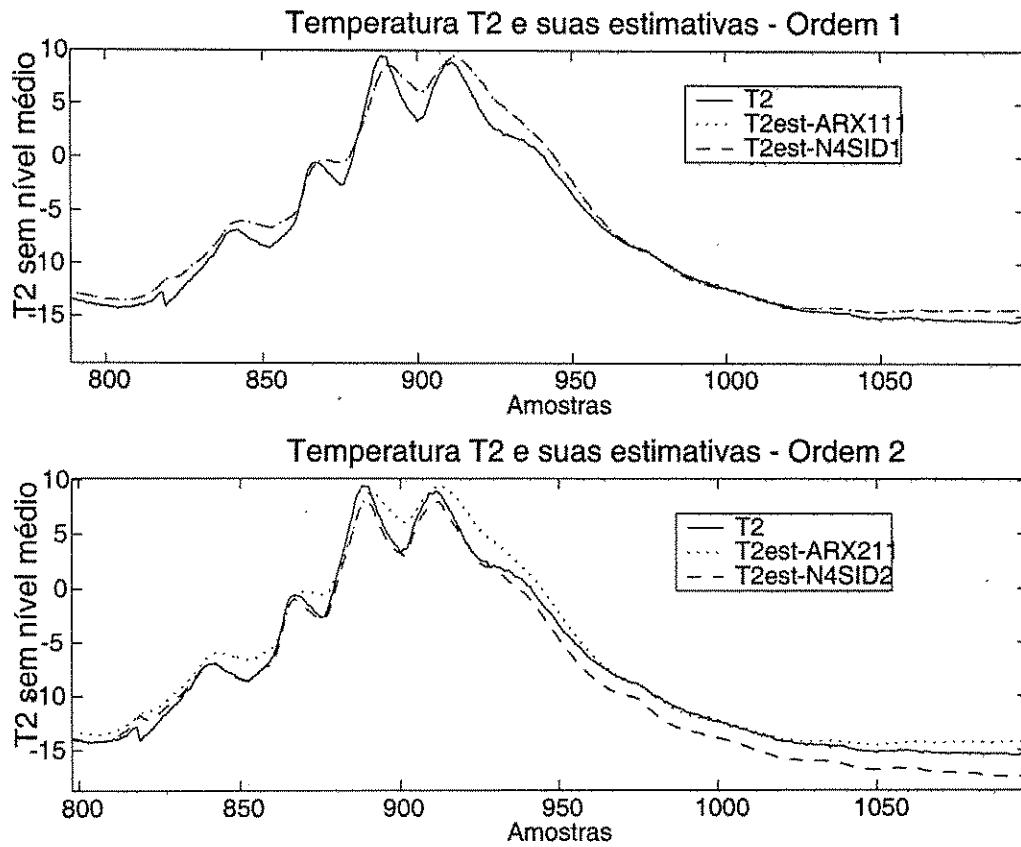


Figura 4.7: Comparativo entre os modelos para as ordens 1 e 2.

Como resultou-se dois valores para τ , o valor médio será tomado:

$$\tau_{\text{média base}} = \frac{\tau_{1\text{base}} + \tau_{2\text{base}}}{2} = 36,11 \text{ min.} \quad (4.33)$$

Comparando-se também a equação (4.10) com a equação (4.29) e considerando-se que a massa de lodo utilizada foi de 1810 g resulta em:

$$C = \frac{1}{0,001144} = 874,12 \text{ cal/}^\circ\text{C} \quad (4.34)$$

$$c = \frac{C}{m} = \frac{874,12}{1810} = 0,4829 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \quad (4.35)$$

$$\tau_{1\text{topo}} = \frac{1}{0,0004521} = 36,88 \text{ min} \quad (4.36)$$

$$\tau_{2\text{topo}} = \frac{1}{0,0006637} = 25,11 \text{ min.} \quad (4.37)$$

Como anteriormente, calcula-se a média:

$$\tau_{\text{média topo}} = \frac{\tau_{1\text{topo}} + \tau_{2\text{topo}}}{2} = 30,995 \text{ min.}$$

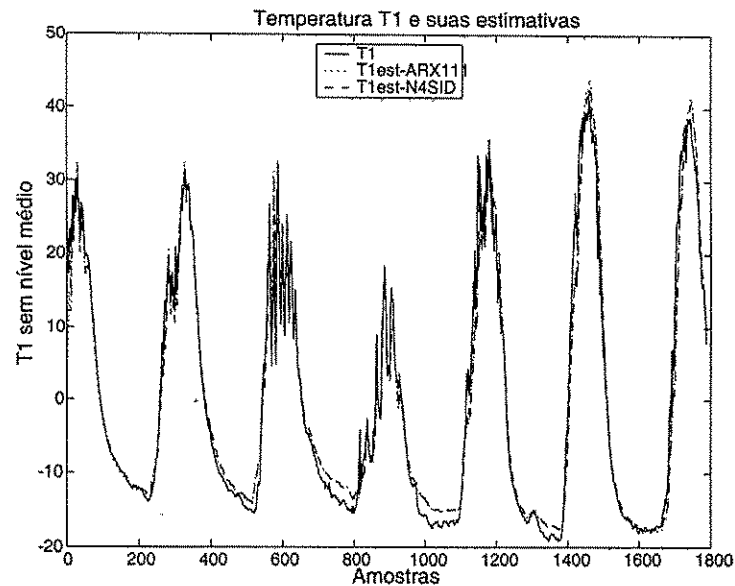


Figura 4.8: Curva de T1 e T1 estimado

Para as resistências térmicas têm-se:

$$R_1 = \frac{\tau_{1topo}}{C} = 2,53 \frac{^{\circ}Cs}{cal} \quad (4.38)$$

$$R_2 = \frac{\tau_{2topo}}{C} = 1,723 \frac{^{\circ}Cs}{cal} \quad (4.39)$$

$$R_3 = \frac{\tau_{1base}}{C} = 2,55 \frac{^{\circ}Cs}{cal} \quad (4.40)$$

$$R_4 = \frac{\tau_{2base}}{C} = 2,41 \frac{^{\circ}Cs}{cal} \quad (4.41)$$

$$R_{médio} = \frac{\sum_{N=1}^4 R_N}{4} = 2,3 \frac{^{\circ}Cs}{cal} \quad (4.42)$$

onde R_n são as resistências térmicas calculadas para as várias constantes de tempo.

À partir das resistências térmicas e utilizando-se as dimensões da camada de lodo, pode-se encontrar a condutibilidade térmica.

O lodo possui uma área de base de $25,3 \times 17,3$ cm e uma altura de 7,5 cm seccionada em três camadas de altura 2,5 cm. Desta forma, as condutibilidades térmicas para as várias resistência

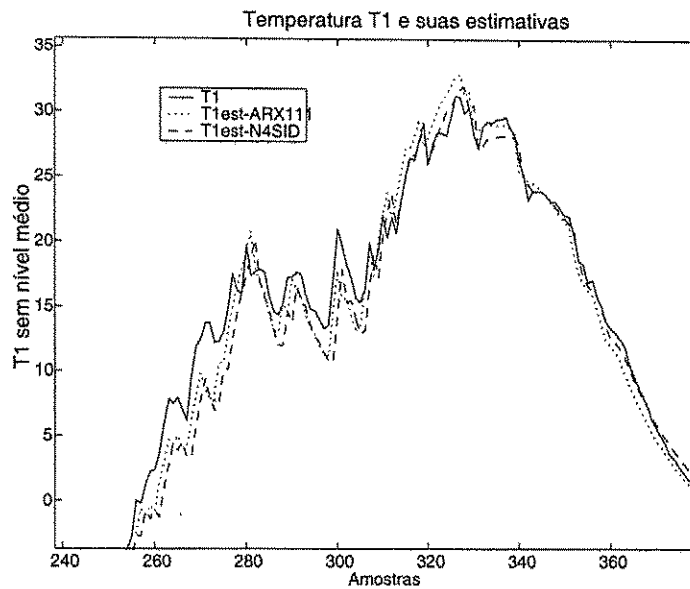


Figura 4.9: Zoom nas curvas de T1 e suas estimativas

térmicas são encontradas:

$$k_1 = \frac{d/3}{R_1 A} = 1,44 \frac{\text{cal}}{\text{s}^\circ\text{Cm}} \quad (4.43)$$

$$k_2 = \frac{d/3}{R_2 A} = 0,98 \frac{\text{cal}}{\text{s}^\circ\text{Cm}} \quad (4.44)$$

$$k_3 = \frac{d/3}{R_3 A} = 1,45 \frac{\text{cal}}{\text{s}^\circ\text{Cm}} \quad (4.45)$$

$$k_4 = \frac{d/3}{R_4 A} = 1,37 \frac{\text{cal}}{\text{s}^\circ\text{Cm}} \quad (4.46)$$

$$k_{\text{médio}} = \frac{\sum_{N=1}^4 k_N}{4} = 1,31 \frac{\text{cal}}{\text{s}^\circ\text{Cm}} \quad (4.47)$$

A existência de várias constantes de tempo e consequentemente resistências térmicas e condutibilidade térmicas pode ser explicado considerando-se que a camada de lodo não é de fato uniforme. À medida que a mesma recebe radiação solar, o topo vai se tornando mais seco que a base, o que provoca diferentes constantes de tempo. Além disso, um modelo a parâmetros concentrados foi utilizado o que por si só já resulta em resultados aproximados. Para a aplicação em questão, o cálculo da média resulta em uma boa aproximação.

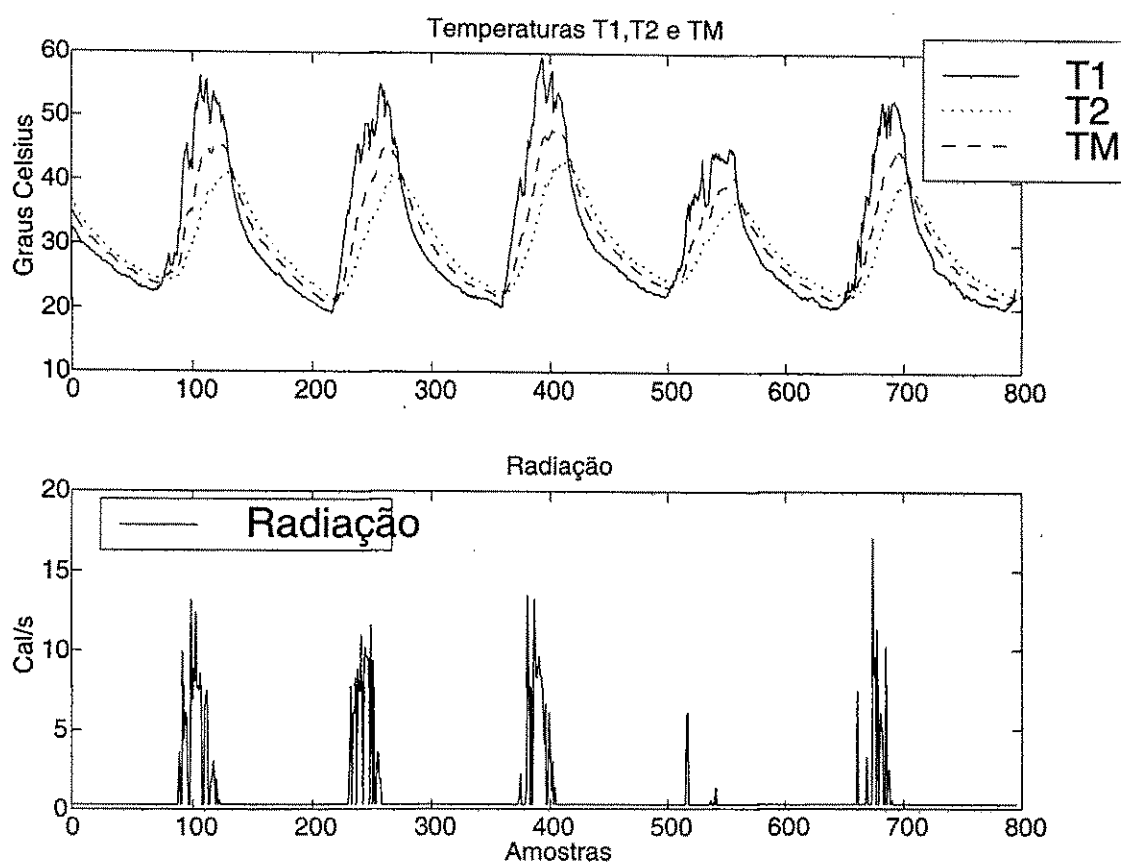


Figura 4.10: Curvas de temperatura e radiação para uma amostra de lodo com 78 % de umidade e carga de 20 kg/m².

4.7 Umidade e carga aplicada

Em sistemas de secagem de lodo trabalha-se com duas variáveis: umidade e carga aplicada. A umidade refere-se à percentagem de água presente no lodo e a carga aplicada é definida como a relação entre a massa de sólidos e a área onde será aplicado o lodo e é expresso em kg/m².

O lodo utilizado no processo de identificação e estimação descrito anteriormente, possuía uma carga aplicada de 20 kg/m² e umidade de 42 %. A umidade é medida no início do experimento, tomando-se uma amostra do lodo, medindo-se sua massa e em seguida submetendo-se essa amostra a um forno de modo a eliminar a água presente. Em seguida mede-se novamente a massa e obtém-se a umidade da amostra.

Repetindo o experimento com uma amostra de lodo de umidade 78,6 % e mesma carga aplicada, obteve-se as curvas da Figura 4.10.

É possível perceber que mesmo com níveis normais de radiação, a amostra com alta umidade não consegue atingir uma temperatura acima de 60 °C em sua camada inferior. Repetindo-se o processo de identificação obtêm-se as seguintes funções de transferência para o topo:

$$T_1(z) = \frac{0,5884}{z - 0,8169} R_{ad}(z) + \frac{0,1689}{z - 0,8169} T_M(z), \quad (4.48)$$

ou

$$T_1(s) = \frac{0,0010835}{s + 0,000337} R_{ad}(s) + \frac{0,000311}{s + 0,000337} T_M(s), \quad (4.49)$$

e para a base:

$$T_2(z) = \frac{0,07898}{z - 0,9096} T_M(z), \quad (4.50)$$

ou

$$T_2(s) = \frac{0,000138}{s + 0,0001579} T_M(s). \quad (4.51)$$

Desta modo, os seguintes parâmetros são encontrados:

$$\frac{1}{\tau_{1base2}} = 0,000138 \Rightarrow \tau_{1base2} = 120,77 \text{ min} \quad (4.52)$$

$$\frac{1}{\tau_{2base2}} = 0,0001579 \Rightarrow \tau_{2base2} = 105,55 \text{ min} \quad (4.53)$$

$$\tau_{base2m\u00e9dia} = 113,16 \text{ min} \quad (4.54)$$

$$\frac{1}{\tau_{1topo2}} = 0,000311 \Rightarrow \tau_{1topo2} = 53,59 \text{ min} \quad (4.55)$$

$$\frac{1}{\tau_{2topo2}} = 0,000337 \Rightarrow \tau_{2topo2} = 49,45 \text{ min} \quad (4.56)$$

$$\tau_{topo2m\u00e9dia} = 51,49 \text{ min} \quad (4.57)$$

$$C = \frac{1}{0,0010835} = 922,93 \text{ cal}/^\circ\text{C} \quad (4.58)$$

$$R_1 = \frac{\tau_{1topo2}}{C} = 3,34 \frac{^\circ\text{C}s}{\text{cal}} \quad (4.59)$$

$$R_2 = \frac{\tau_{2topo2}}{C} = 3,215 \frac{^\circ\text{C}s}{\text{cal}} \quad (4.60)$$

$$R_3 = \frac{\tau_{1base2}}{C} = 7,85 \frac{^\circ\text{C}s}{\text{cal}} \quad (4.61)$$

$$R_4 = \frac{\tau_{2base2}}{C} = 6,86 \frac{^\circ\text{C}s}{\text{cal}} \quad (4.62)$$

$$R_{m\u00e9dio} = \frac{\sum_{N=1}^4 R_N}{4} = 5,31 \frac{^\circ\text{C}s}{\text{cal}} \quad (4.63)$$

Com os resultados obtidos de (4.52) a (4.59) conclui-se que as resistências térmicas aumentaram com o aumento da umidade, dificultando assim a elevação de temperatura no lodo e que seus valores estão mais dispersos. A dispersão maior de valores deve-se ao fato de que para valores elevados de umidade, a diferença de umidade entre a sub-camada de lodo que fica diretamente exposta ao sol e as camadas inferiores é bem mais intensa. A umidade portanto só é uniforme no momento em que o lodo é colocado no leito de secagem, à medida em que o mesmo vai sendo exposto ao sol, vai ocorrendo diferenças de umidade.

Diante da impossibilidade de obter-se temperaturas acima de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos leitos de secagem utilizados para desinfecção, para umidades acima de 78%, deve-se submeter-se o lodo anteriormente a um processo de secagem que reduza sua umidade.

4.8 Conclusão

Neste capítulo, foram descritos os processo de modelagem, identificação e estimação de parâmetros físicos em um sistema de secagem de lodo. Uma vez que o sistema troca energia na forma de calor, equações de sistemas térmicos foram utilizadas no processo de modelagem. O modelo obtido constituiu-se de modelos em série a parâmetros concentrados.

Do processo de identificação, concluiu-se que sistemas de primeira ordem descreve de forma satisfatória o sistema real e estimativas de resistência térmica R , capacitância térmica C e constante de tempo térmica τ foram estimadas puderam ser realizadas.

O lodo apresentou parâmetros não únicos na identificação, o que levou a conclusão de que a consideração de uniformidade do lodo não é totalmente válida. Com o passar do tempo, as camadas de lodo superiores tornam-se menos úmidas que as inferiores, o que provoca a não unicidade no encontro dos parâmetros.

Um lodo com umidade maior foi utilizado em uma segunda fase de testes, para estudar como seria seu comportamento. Concluiu-se que a medida que a umidade aumenta, a resistência térmica também aumenta, e desta forma é necessário uma maior quantidade de calor para provocar a mesma variação de temperatura.

Capítulo 5

Conclusões e sugestões de trabalhos futuros

O lodo resultante do sistema de tratamento de esgoto deve passar por processos de desinfecção antes de ser disposto em local adequado. Uma alternativa de baixo custo de disposição do lodo é a utilização do solo, inclusive com grande possibilidade de usar-se o lodo como insumo agrícola, uma vez que o mesmo possui elementos importantes para a reciclagem agrícola: fósforo, potássio e nitrogênio. Para tanto, o lodo deverá passar por um processo de secagem à alta temperatura (acima de 60 °C) chamado higienização do lodo.

Neste trabalho foi discutido a modelagem, identificação e estimação de parâmetros em um sistema de secagem de lodo com fins de desinfecção. Para tanto um sistema de aquisição de dados com transmissão via rádio foi desenvolvido, desde a escolha dos sensores, programação do microcontrolador usado para gerenciamento das tarefas de aquisição, armazenamento e transmissão dos dados, até o desenvolvimento da *interface* Humano-Máquina.

O sistema de aquisição teve como objetivo inicial a obtenção de informações de temperatura e radiação necessárias à identificação do sistema mas que pode ser utilizado para medição de outras grandezas de interesse como potencial hidrogeniônico - pH, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, oxigênio dissolvido - OD, etc.

O sistema de secagem de lodo é tipicamente um sistema a parâmetros distribuídos. Pelo fato de que neste trabalho houve a impossibilidade de obtenção de parâmetros com coerência física com uma abordagem a parâmetros distribuídos, modelos a parâmetros concentrados foram usados em série com o objetivo de descrever o sistema a parâmetros distribuídos. Um sistema de terceira ordem a parâmetros concentrados foi utilizado no entanto, sistemas de ordem superior

(5ª ou 6ª ordem) poderiam ser utilizados com o intuito de verificar o aumento da precisão na estimação dos parâmetros com o incremento da ordem do modelo. Uma outra sugestão é associar a cada sub-camada uma resistência e uma capacitância diferente e não uma mesma resistência e capacitância térmica como neste trabalho.

A identificação do sistema foi desenvolvida com métodos bastante utilizados, o ARX - autotregressivo com entrada extra e o Espaço de Estados, ambos fornecendo resultados muito próximos.

Os principais parâmetros físicos estimados do lodo foram a resistência térmica R , a capacitância térmica C e a constante de tempo térmica τ . Concluiu-se que os parâmetros obtidos não são únicos, eles variam ao longo do lodo e este fato deve-se principalmente à não uniformidade do lodo. O valor médio dos parâmetros estimados foi tomado como representante do lodo. Testes físicos poderiam ser utilizados com o lodo afim de confirmar os valores encontrados, uma vez que tais parâmetros físicos não se encontram tabelados para o caso do lodo.

O lodo resultante dos sistemas de tratamento de esgotos pode ser coletado com diferentes umidades. Concluiu-se que quanto maior sua umidade, maior sua resistência térmica, mantida a carga de sólidos aplicada o que significa uma maior dificuldade de obter-se temperaturas mais elevadas. Desse modo, experimentos com variações na carga de sólidos aplicada, mantidas as umidades e com variações mais próximas de umidade (se possível a cada 5 %) mantendo-se a carga aplicada devem ser realizados.

A organização de experimentos com duplicação de amostras de lodo foi aplicada e foi bastante válida na prevenção de falha nos sensores, fato bastante comum uma vez que manter a isolamento elétrica dos mesmos não é uma tarefa fácil.

A variação da espessura do vidro que serve como tampa para o leito de secagem é outro fator que pode influenciar no aumento de temperatura interna do sistema de secagem. Vidros em série podem ser uma solução para testes de execução rápida.

Assim, como sugestão para trabalhos futuros:

- Testar modelos a parâmetros concentrados de ordem superior e verificar qual o ganho de precisão.
- Obter amostras de lodo com umidades variando em passos menores para saber o limite da viabilidade da desinfecção por energia solar.
- Fazer experimentos sempre em duplicata de amostras e/ou de sensores.

- Verificar a influência da espessura no vidro no aquecimento do lodo.
- Fazer testes físicos no lodo de modo a confirmar os parâmetros obtidos nos processo de estimação.

A Engenharia Elétrica tem muito o que oferecer a outras áreas do conhecimento, assim como o inverso. Este trabalho é um exemplo de como a interação entre áreas pode gerar benefícios para mesmas. Por um lado, o sistema de aquisição de dados em conjunto com a estimação de parâmetros físicos do lodo traz uma série de facilidades aos operadores dos sistemas de tratamento de esgoto e por outro lado há o recebimento de um conhecimento mais sólido de diversas plantas, o que resulta, no processo de ensino, um levantamento real do campo de aplicações possíveis para um engenheiro eletricitista e no processo de pesquisa, aplicações mais avançadas e que trazem benefícios à sociedade de modo geral.

Como é possível perceber, este trabalho não possui a intenção de esgotar as discussões a respeito dos leitos de baixo custo utilizados na pasteurização do lodo, e sim de ser um trabalho de base para outros, haja visto que o tema é de grande interesse atualmente e que muitas contribuições podem ainda serem dadas.

Apêndice A

O Microcontrolador 80C552 e a placa de desenvolvimento 80C552++

O objetivo deste apêndice é descrever o microcontrolador 80C552, utilizado no sistema de aquisição de dados e a placa de desenvolvimento 80C552++. Aqui descreve-se informações além das contidas no *data sheet* do 80C552, que não traz informações sobre todos os subsistemas.

A.1 O microcontrolador 80C552

A.1.1 Descrição Geral

O 80C552 é microcontrolador de alto desempenho projetado para uso em aplicações em tempo real tais como instrumentação, controle industrial e aplicações de controle automotivo específicas. Além das funções contidas no 80C51, um número adicional de funções dedicadas se apresenta no 80C552.

O 80C552 é um microcontrolador de 8 *bits* fabricado sob tecnologia CMOS e é derivado da família de microcontroladores 80C51.

Existem na verdade duas versões do 80C552, embora o termo genérico "80C552" seja utilizado para referência à ambos:

- 83C552: possui 8K *bytes* de ROM e 256 *bytes* de RAM.
- 80C552: versão sem ROM

O 80C552 possui uma memória de dados de escrita e leitura de 256×8 e os seguintes subsistemas:

- Seis portas de I/O de 8 *bits*.
- Dois contadores/temporizadores (idênticos ao temporizadores do 80C51).
- Um contador adicional de 16 *bits* acoplado a latches de captura e comparação.
- Uma estrutura de interrupção aninhada com 15 fontes e dois níveis de prioridade.
- Uma conversor A/D de 10 *bits* e oito entradas.
- Dois PWMs.
- Duas interfaces seriais - UART e I²C.
- Um *watchdog timer*.
- Expansão de ROM até 64 K *bytes*.
- Expansão de RAM até 64 K *bytes*.

A.1.2 Organização da Memória

A Unidade Central de Processamento (CPU) manipula operandos em três espaços de memória (Figura A.1) distintos: a memória de dados externa de 64 K *bytes*, a memória de dados interna de 256 *bytes* e a memória de programa externa de 64 K *bytes*.

O espaço de endereçamento da memória de dados interna é subdividida em 128 *bytes* de RAM de dados interna e 128 *bytes* para uso como Registradores de Funções Especiais (SFR).

Os registradores de função especial incluem locações referentes às portas de I/O, ponteiros do sistema, registros de interrupção, registros da porta serial, dos temporizadores, do conversor A/D, registros aritméticos e registradores de PWM. A CPU trata os registradores de função especial da mesma forma que trata a RAM, podendo alí efetuar alterações e, até endereçar algumas dessas posições *bit a bit*.

Pode parecer à princípio que há interseção de endereços entre a RAM interna e a RAM externa, porém o tipo de instrução determina o acesso a uma ou outra RAM.

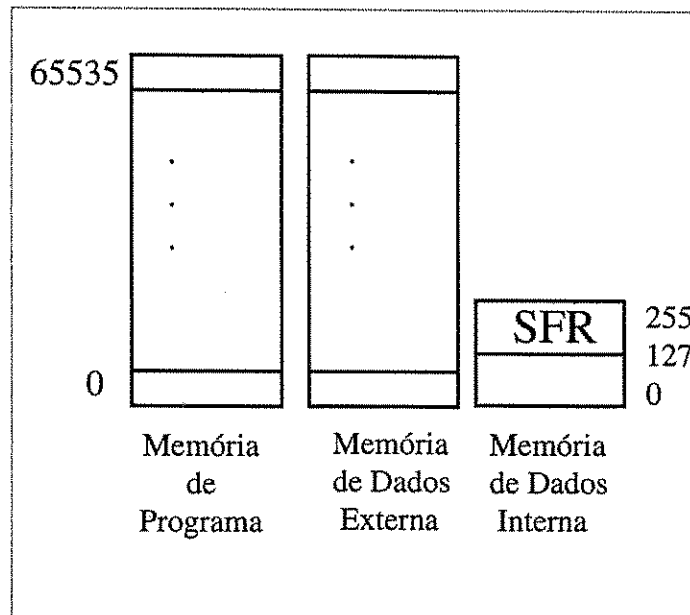


Figura A.1: Organização da memória no 80C552

A.1.3 Banco de Registradores

Os bancos de registradores são posições de memória RAM interna onde é permitido o endereçamento pelo nome, além da posição de memória correspondente a cada registrador (Figura A.1). A RAM interna contém quatro bancos de registradores, cada um com oito registradores, e com 128 de seus *bits* endereçáveis diretamente.

O banco de registradores é selecionado através dos *bits* RS1 e RS0 do registrador de função especial PSW (Tabela A.1).

RS1	RS0	Banco Selecionado
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

Tabela A.1: Relação entre o banco selecionado e os bits RS0 e RS1

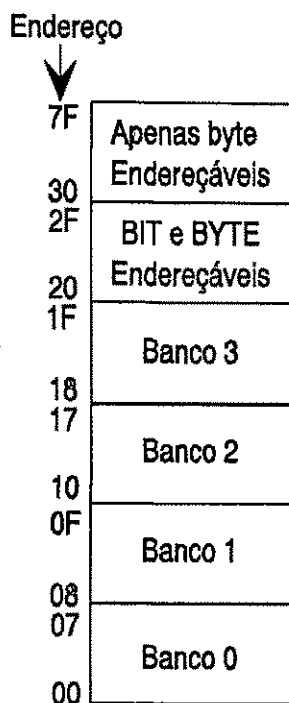


Figura A.2: Esquema da parte baixa da RAM

A.1.4 Modos de Endereçamento

O 80C552 possui seis modos de endereçamento:

- **Direto:** no endereçamento direto, o operando é especificado como um endereço de 8 *bits* na própria instrução.
- **Indireto:** no endereçamento indireto, as instruções especificam um registrador o qual contém o endereço do operando.
- **Instruções de Registrador:** os bancos de registradores, contendo os registradores de R0 a R7, que podem ser acessados por certas instruções as quais carregam uma especificação de três *bits* de registrador, dentro do código de operação da instrução. Instruções que acessam os registradores desta forma têm eficiência de código, uma vez que é eliminado um *byte* de endereço.
- **Instruções de Registrador Específico:** algumas instruções são específicas para um

determinado registrador. Por exemplo, algumas instruções sempre operam no acumulador, e nenhum *byte* de endereço é necessário para apontá-lo.

- **Imediato:** quando um valor constante segue o código de operação em uma instrução.
- **Endereçamento indexado:** apenas a memória de programa pode ser acessada com endereçamento indexado, e apenas para operações de leitura. Neste modo de endereçamento, os dados são obtidos utilizando-se para endereçamento um registrador de base (DPTR). O endereço é calculado somando-se o dado do acumulador ao registrador de base.

A.1.5 Registradores de Função Especial - SFR

O mapa dos registradores de função especial com o seu respectivo endereço é apresentado na Figura A.3. Pode-se notar que nem todos os endereços estão ocupados. Acessos de escrita não irão ter efeito, e acessos de leitura irão resultar em dados randômicos nos endereços livres.

F8H	IPI				PWM0	PWM1	PWMP	T3	FFH
F0H	B								F7H
E8H	IEN1		TM2CN	CTCON	#TML2	#TMH2	STE	RTE	EFH
E0H	ACC								E7H
D8H	S1CON	#S1STA	S1DAT	S1ADR					DFH
D0H	PSW								D7H
C8H	TM2IR	CMH0	CMH1	CMH2	#CTH0	#CTH1	#CTH2	#CTH3	CFH
C0H	P4				#P5	ADCON	#ADCH		C7H
B0H	IP0								BFH
B0H	P3								B7H
A8H	IEN0	CML0	CML1	CML2	#CTL0	#CTL1	#CTL2	#CTL3	AFH
A0H	P2								A7H
98H	S0CON	S0BUF							9FH
90H	P1								97H
88H	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1			8FH
80H	P0	SP	DPL	DPH				PCON	87H

Figura A.3: Mapa dos registradores de função especial

Os SFRs de uso mais geral são:

- **Acumulador (E0H)**

O acumulador é utilizado em operações aritméticas, e é denominado ACC.

- **Registrador B (F0H)**

O registrador B é utilizado durante operações de multiplicação e divisão.

- **Registrador de Status - PSW (D0H)**

O PSW contém a informação de status do programa. O PSW é equivalente ao registrador de FLAG em microprocessadores como 8088/8086 e equivalentes.

- **Ponteiro de Pilha - SP (81H)**

Seu conteúdo aponta sempre para o topo da pilha e é alterado em operações de PUSH, POP e CALL.

- **Ponteiro de Dados - DPTR (82H e 83H)**

O DPTR é um registrador de 16 *bits*, consistindo de um *byte* de alta ordem (DPH) e um *byte* de baixa ordem (DPL). O DPTR é usado na geração de endereçamento à memória externa.

- **Portas de 0 a 3 (80H, 90H, A0H e B0H)**

Os SFRs P0, P1, P2 e P3 são os latches das portas 0, 1, 2, e 3, respectivamente. Escrevendo-se um "1" em um SFR corresponderá à uma mudança para nível de tensão alto do pino correspondente.

- **Buffer de Dados Seriais - S0BUF (99H)**

O buffer de dados seriais constitui-se na verdade de dois registradores separados, um deles utilizado para transmissão e o outro para recepção de dados. O tipo de instrução separa o uso dos registradores.

- **Registradores de Temporização/Contagem**

Os pares de registradores (TL0, TH0), (TL1, TH1) e (TL2 e TH2) são os registradores T0, T1 e T2 utilizados para contagem/temporização.

- **Registradores de Controle**

São os registradores IP, IEN, TMOD, TCON, S0CON, ADCON e PCON, utilizados para controle e status das interrupções, contadores/*timers*, porta serial e conversor A/D.

A.1.6 Saídas Moduladas por Largura de pulso - PWM

O 80C552 possui duas saídas moduladas por largura de pulso. A frequência de saída é definida pela frequência do oscilador e pelo conteúdo do SFR PWMP (FEH):

$$f_{pwm} = \frac{f_{osc}}{2(1 + PWMP)255} \quad (A.1)$$

Os SFRs PWM0 (FCH) e PWM1 (FDH) são comparados continuamente com o conteúdo do registrador que conta livremente (Figura A.4). Se o conteúdo do registrador for maior que do SFR, a saída do comparador terá nível baixo, caso contrário, nível alto. As saídas em PWM se apresentam em $\overline{PWM0}$ e $\overline{PWM1}$.

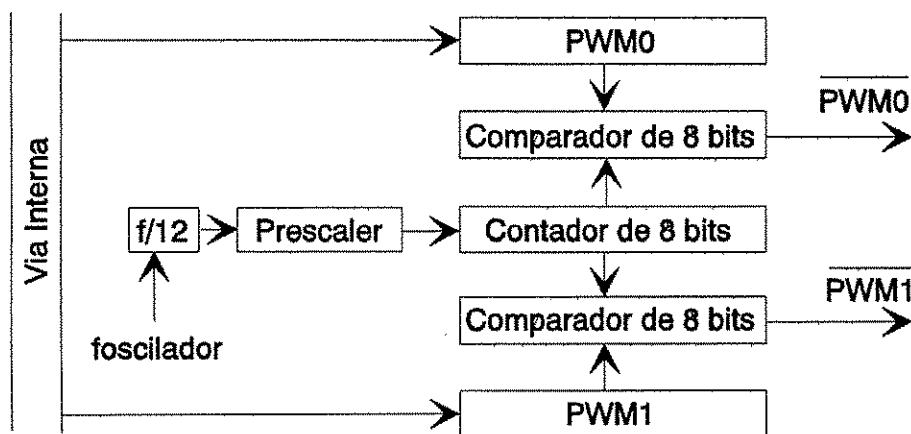


Figura A.4: Diagrama em blocos do PWM do 80C552

A.1.7 Entradas Analógicas

O circuito de entrada analógica consiste de um multiplexador analógico de 8 entradas e um conversor A/D de aproximações sucessivas de 10 bits de resolução (Figura A.5). A tensão de referência analógica e a tensão de alimentação são ligadas em vias separadas e cada conversão leva 50 ciclos de máquina, isto é 50 μ s com uma frequência de clock de 12 MHz.

O conversor A/D é controlado utilizando-se o SFR ADCON (C5H). Os canais de entrada são selecionados nos bits 0-2 do ADCON (AADR0 a AADR2). Os demais bits são descritos na Tabela A.2.

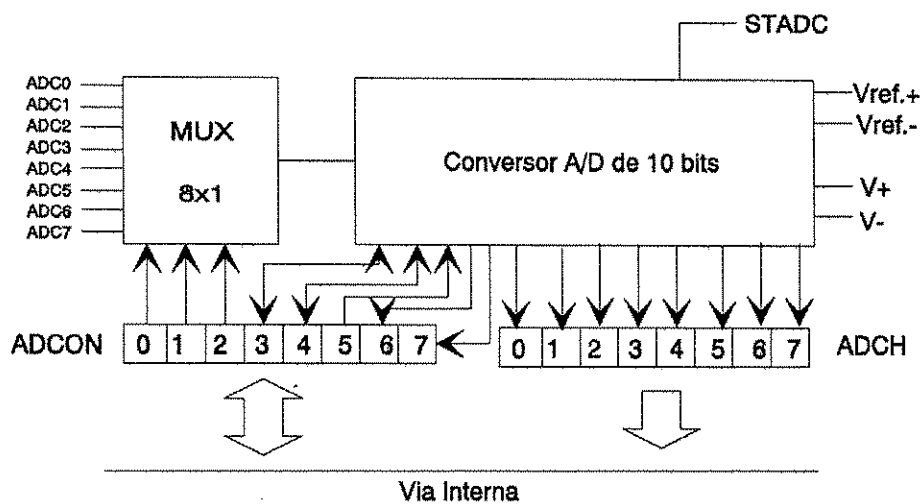


Figura A.5: Diagrama esquemático do conversor A/D do 80C552

A cada nova conversão, precisa-se zerar os *bits* ADCL e o ADSC. Quando a conversão de 10 *bits* é completada, o ADSC torna-se nível lógico 1, e o resultado é armazenado no SFR ADCH (8 *bits* superiores - endereço C6H) e no ADCON (2 *bits* inferiores).

A.1.8 Temporizadores/Contadores de Eventos

O 80C552 contém três temporizadores/contadores de eventos de 16 *bits*, os *timer/counter* T0, T1 e T2 e um temporizador de 8 *bits*, o *timer* T3. Um *timer* é de fato um contador que pode ser programado para contar eventos, como a passagem de objetos em uma esteira, sendo neste caso denominado contador, ou pode contar intervalos de duração de um evento, sendo chamado temporizador.

Os *timers* 0 e 1 podem ser programados para as seguintes funções:

- Medições de intervalos de tempo e duração de pulsos (operação como temporizador).
- Contagem de Eventos (operação como contador).
- Gerar requisição de interrupções.

Os *timers* 0 e 1 podem ser programados independentemente para operar em três modos:

ADC.1	ADC.0	ADEX	ADCI	ADCS	AADR2	AADR1	AADR0
Descrição dos bits							
ADC.1→ <i>bit</i> 1 do valor convertido no A/D							
ADC.0→ <i>bit</i> 0 do valor convertido no A/D							
ADEX→Habilita o início da conversão via pino externo							
ADCI	ADCS						
0	0	Conversor A/D livre, uma nova conversão pode ser iniciada					
0	1	Conversor A/D ocupado, nova conversão bloqueada					
1	0	Conversão completa, nova conversão bloqueada					
1	1	Não é possível					

Tabela A.2: Descrição dos bits do ADCON

- **Modo 0:** contador ou temporizador de 8 *bits* cada qual com *preescaler* (divisor) de fator 32.
- **Modo 1:** contador ou temporizador de 16 *bits*.
- **Modo 2:** contador ou temporizador de 8 *bits* com recarga automática de um valor pré-determinado.

O *timer* 0 pode ser programado para operar em um modo adicional:

- **Modo 3:** contador ou temporizador de 8 *bits* e contador de 8 *bits*.

Quando o *timer* 0 está operando no modo 3, o *timer* 1 pode ser programado para operar nos modos 0, 1 ou 2 mas não podem gerar uma interrupção. No entanto, o *overflow* do *timer* 1 pode ser utilizado para gatilhar o gerador de taxa de transmissão da porta serial.

Os contadores são iniciados e parados por um controle via software, assim como seu modo de operação.

Timer T2

O *timer* T2 é um contador/temporizador de 16 *bits* que possui acoplado a ele facilidades de captura e comparação (Figura A.6).

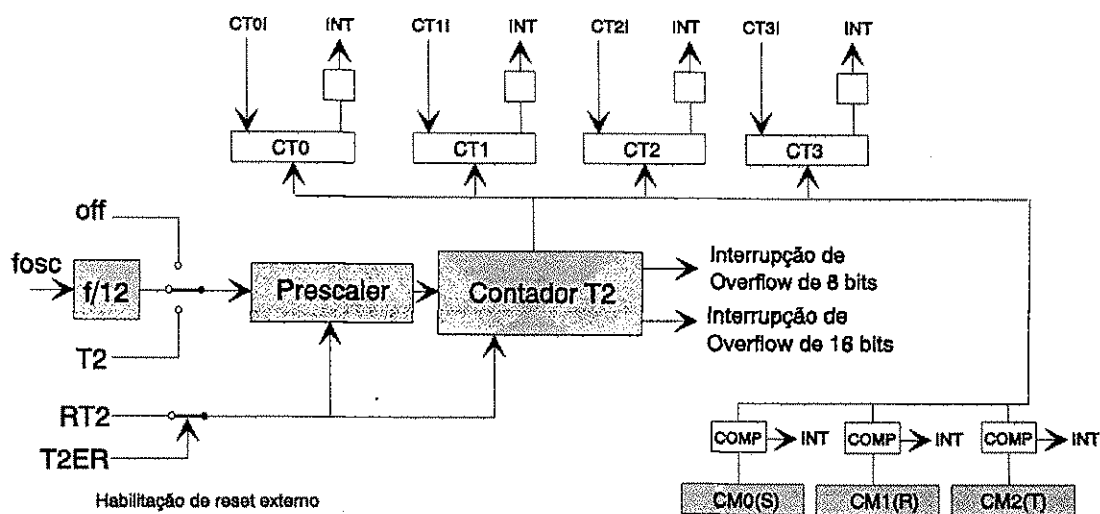


Figura A.6: Diagrama em blocos do timer T2 do 80C552

O contador T2 (*on the fly*) recebe os pulsos de clock do divisor (prescaler), que por sua vez pode recebê-los da entrada externa T2, do oscilador, ou não recebê-los. T2 pode ser resetado pelo sinal de RST ou através de uma transição positiva em RT2, quando habilitada.

T2 é ligado a 4 registradores de captura de 16 bits: CT0, CT1, CT2 e CT3. Estes registradores são carregados com o conteúdo de T2 quando em suas entradas de gatilho CT0I, CT1I, CT2I e CT3I ocorre uma transição (positiva, negativa ou em ambas, programadas no registrador CTCON) e então uma interrupção é gerada.

O conteúdo dos registradores CM0, CM1 e CM2 são continuamente comparadas com o conteúdo de T2. Quando ocorre uma igualdade uma interrupção é gerada e em P4 é sinalizada a igualdade da seguinte forma: se uma igualdade ocorre em CM1, os bits de P4.0 à P4.5 são resetados (bem como no registrador RTE), se ocorre em CM0, os bits de P4.0 à P4.5 são setados (bem como em STE) e caso ocorra em CM2, os bits de P4.6 e P4.7 são invertidos com relação ao seu estado anterior, bem como no registrador STE.

O conteúdo do contador T2 pode ser acessado através dos registradores TML2 e TMH2.

O fator de divisão do prescaler e sua fonte de clock são estabelecidos através do registrador TM2COM.

Todas as interrupções são por software e podem ser habilitadas ou não através do registrador de flag TM21 R.

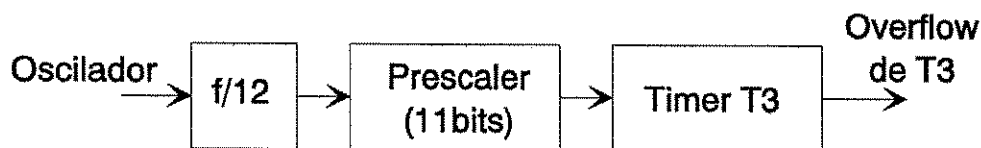


Figura A.7: Diagrama em blocos do watchdog timer

T3 - O Watchdog timer

O *watchdog timer* serve para prevenir o sistema de mal funcionamento de hardware/software. O oscilador é ligado a um prescaler de 11 *bits* que por sua vez gera os pulsos de clock para o *timer* T3 (Figura A.7).

Quando um *overflow* ocorre, é gerado um *reset* no sistema.

Para prevenir o *reset*, o conteúdo do *timer* deve ser alterado continuamente. Caso haja algum problema do tipo *loop infinito*, não haverá alteração em T3 e um *overflow* fatalmente ocorreria, levando o sistema a reiniciar.

A.1.9 Modos de redução de consumo de potência selecionáveis por software

Há dois possíveis modos de redução de consumo de potência do 80C552.

- O modo *Idle* que paraliza a CPU permitindo que a RAM, *timers*, portas seriais e o sistema de interrupção continuem funcionando.
- O modo *Power-Down* que salva os conteúdos da RAM, mas paraliza o oscilador, causando o não funcionamento de todas as outras funções da chip.

Os modos de redução de potência são habilitados via o registrador PCON, que será descrito na seção seguinte.

A.1.10 Porta Serial UART

Para transmitir e receber informações, as palavras a serem escritas/lidas são armazenadas em registradores denominados S0BUF. Existem dois registros com o mesmo nome S0BUF, diferenciados pelo tipo de instrução (leitura ou escrita no registrador).

A transmissão inicia-se tão logo o dado é escrito no registro S0BUF.

A recepção inicia-se quando o *bit* REN do registro S0CON estiver setado, nos modos 1, 2 ou 3, e o sistema detecte a chamada do start *bit*.

Registro de Controle S0CON:

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
7	6	5	4	3	2	1	0

Tabela A.3: Descrição dos bits do S0CON

SM0 e SM1: Determinam o modo de funcionamento do canal serial:

SM0	SM1	Taxa de Transmissão	Observação
0	0	Frequência do oscilador/12	Síncrono - 8bits
0	1	Variável	Assíncrono - 10 bits
1	0	Frequência do oscilador/32 ou 64	Assíncrono - 11 bits
1	1	Variável	Assíncrono - 11 bits

Tabela A.4: Descrição dos bits SM0 e SM1 do SOCON

SM2 possui diferentes finalidades em cada modo:

- MODO 0: Não impõe qualquer efeito no funcionamento do canal serial.
- MODO 1: Não gerará pedido de interrupção se estiver setado e o stop *bit* for ilegal.
- MODO 2 e 3: Habilita a comunicação entre os vários microcontroladores. Nestes modos, não gerará interrupção se estiver setado, e o nono *bit* de dado for 0. De modo geral deve ser setado para comunicação multiprocessador, e zerado para operação individual.

REN: Habilita recepção. Se setado habilita a recepção tão logo o start *bit* seja detectado. Se estiver resetado, desabilita a recepção, e o pino RXD pode ser utilizado como I/O.

TB8: Nos modos 2 e 3, indica o estado do nono *bit* a ser transmitido.

RB8: Não é usado no modo 0, e no modo 1 indica o estado do stop *bit* recebido, desde que SM2=0. Nos modos 2 e 3, indica o estado do nono *bit* de dados.

TI: Flag de requisição de interrupção de transmissão. É setado pelo hardware após a transmissão do oitavo *bit* de dados no modo 0, nos outros modos, ao início do stop *bit*.

Geração de taxas de transmissão

Para geração das taxas de transmissão necessita-se do registrador PCON e dos registradores do *timer* T1, TH1 e TL1.

Registrador PCON:

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL
<i>bit</i> 7							<i>bit</i> 0

Tabela A.5: Descrição dos bits do PCON

SMOD: Nos modos 1, 2 e 3 a taxa de transmissão é dobrada se $SMOD = 1$ e se o *timer*1 for utilizado para gerar a respectiva taxa.

GF1 E GF2: Flags de uso geral.

PD: *bit* de Power-Down. Quando em 1 ativa o Power-Down.

IDL: *bit* de modo idle. Quando 1 ativa este modo.

Para os modos 1 e 3, a taxa de transmissão é fornecida pelo *timer* 1. Para isso deve-se desabilitar a interrupção de T1. Neste caso, tem-se:

$$Taxa = \frac{2^{SMOD}}{32} (\text{taxa de overflow do timer1}) \quad (A.2)$$

O caso mais comum no entanto, é utilizar T1 no modo recarga automática (*timer* de oito *bits*) e neste caso a taxa é dada por:

$$Taxa = \frac{2^{SMOD}}{32} \frac{(\text{frequência do oscilador})}{12(256 - TH1)} \quad (A.3)$$

A.1.11 Sistema de Interrupção

A forma como a CPU deixa a execução normal do programa principal e executa rotinas dos periféricos internos ou externos ao microcontrolador é por meio de interrupção. O 80C552 reconhece pedidos de interrupção de 15 fontes:

- $\overline{INT0}$ e $\overline{INT1}$: pinos de interrupção externa.
- INT2 a INT5: pinos externos que são compartilhados com as quatro entradas de captura do *timer* T2.
- *timer* 0 e *timer* 1: dos dois contadores internos.

- timer T2 (8 interrupções separadas): 4 interrupções de captura, 3 interrupções de comparação e 1 interrupção de *overflow*.
- Interrupção de fim de conversão do conversor A/D.
- Interrupção da porta serial I²C.
- Interrupção da porta serial UART.

Cada fonte de interrupção pode ser individualmente habilitada ou não utilizando-se o seu *bit* correspondente nos registradores IE0 e IE1, além disso, cada interrupção pode ser programada com prioridade alta ou baixa utilizando-se o correspondente *bit* nos registradores IP0 e IP1. Tem-se ainda que todas as interrupções podem ser globalmente habilitadas ou não (Figura.A.8).

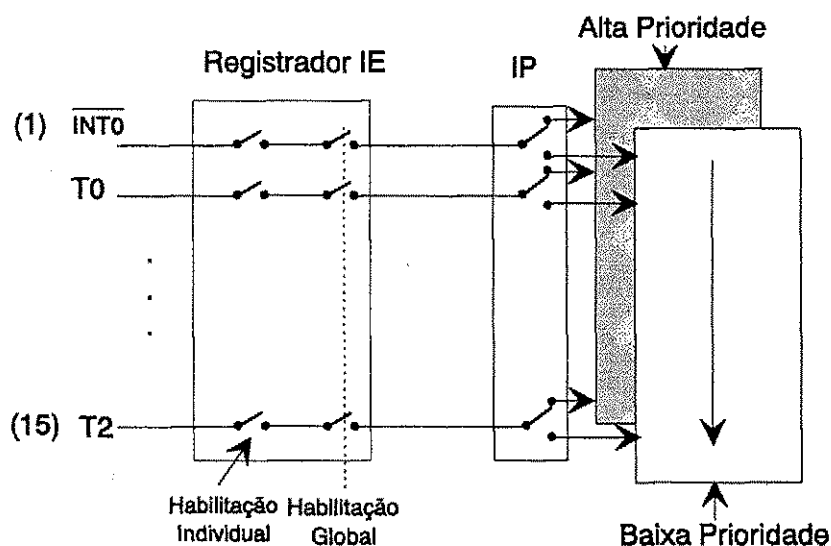


Figura A.8: Representação esquemática do sistema de controle de interrupção

Na Tabela A.6 apresenta-se os vetores de interrupção. O vetor indica a locação da ROM onde a rotina apropriada de serviço da interrupção inicia.

A.1.12 Conjunto de Instruções

Na Tabelas A.8 e A.9 apresenta-se o conjunto de instruções do 80C552, as convenções são utilizadas apresentam-se na Tabela A.7:

Fonte		Vetor
Externa 0 ($\overline{INT0}$)	X0	0003H
<i>overflow</i> do timer 0	T0	000BH
Externa 1 ($\overline{INT1}$)	X1	0013H
<i>overflow</i> do timer 1	T1	001BH
UART	S0	0023H
I ² C	S1	002BH
Entrada de Captura 0	CT0	0033H
Entrada de Captura 1	CT1	003BH
Entrada de Captura 2	CT2	0043H
Entrada de Captura 3	CT3	004BH
Término da conversão no A/D	ADC	0053H
Entrada de Comparação 0	CM0	005BH
Entrada de Comparação 1	CM1	0063H
Entrada de Comparação 2	CM2	006BH
<i>overflow</i> do timer 2	T2	0073H

Tabela A.6: Endereços de início do tratamento da interrupções no 80C552

A.2 Placa de Desenvolvimento 80C552++

A placa de desenvolvimento 80C552++, fabricada pela PHOEBUS, é ideal para realização rápida de projetos que empregam microprocessadores tais como:

- Aquisição de Dados
- Controle de Motores
- Equipamentos médicos.
- Automação programada
- Práticas de Laboratório

A placa de desenvolvimento é baseada no microcontrolador 80C552 e permite a utilização de todas as potencialidades do mesmo.

Rn	Registadores de R0-R7
direto	Endereço de 8 <i>bits</i> da RAM interna
@Ri	8 <i>bits</i> da RAM interna endereçados pelos registadores R1 ou R2
#dados	constante de 8 <i>bits</i> incluída na instrução
#dados 16	constante de 16 <i>bits</i> incluída na instrução
addr 16	Endereço de destino de 16 <i>bits</i>
addr 11	Endereço de destino de 11 <i>bits</i>
rel	<i>byte</i> de off-set sinalizado (em complemento de 2)
<i>bit</i>	<i>bit</i> acessado diretamente da RAM interna ou de um SFR
A	Acumulador

Tabela A.7: Descrição das convenções utilizadas na descrição do conjunto de instruções do 80C552

Todas as conexões com as portas de entrada e saída do microcontrolador são acessadas por conectores de expansão. As portas de entrada e saída são conectadas de maneira lógica por meio de quatro conectores de expansão:

- J8 que agrupa todas as ligações de expansão do barramento
- J16 que está associado ao conversor analógico/digital
- J27 que está associado às linhas de E/S das portas
- J19 que agrupa as linhas da interface serial RS-232

Na Figura A.9 um diagrama elétrico da placa 80C552++ é apresentado e na Figura A.10 a representação dos conectores de expansão é apresentada.

A placa 80C552++ possui três soquetes para posicionamento das memórias, que permitem alcançar um máximo de 64 *Kbytes* de programa e 64 *Kbytes* de dados. Opcionalmente, um destes soquetes pode admitir uma memória RAM não-volátil, que pode manter as informações nela contida por cerca de 10 anos.

A memória de programa é formada pela EPROM 27C512 e possui um programa monitor usado para auxílio ao usuário na depuração e carregamento dos programas. A memória de dados é formada por uma memória volátil contida no circuito integrado HM58C252 de 32 *Kbytes* e uma memória não-volátil de 32 *Kbytes*, o CI HM62256.

Para uma comunicação serial adequada para um microcomputador, a placa 80C552++ possui um CI de interface serial, MAX232.

A.2.1 Programa monitor MON552_P

A EPROM da placa 80C552++ contém um programa monitor, o MON552_P que permite carregar o programa do usuário na memória RAM e executá-lo em seguida. Ao inicializar a placa, uma mensagem é enviada pela interface serial, solicitando um comando do usuário. Para auxiliar o operador, teclando-se "?" aparece uma tela com os seguintes escritos:

MON552_P Versão 1.0 (- 1998 -) Tecla <?> para Ajuda

>?

- AJUDA [MON552_P] -

—— Carga e Execução ——

H - carrega programa em Hexa (formato Intel ou Motorola)

P ou <espaço> - executa Passo a Passo instruções sucessivas

A <espaço> ou [n aaaa] - visualiza ou modifica os pontos de parada

G <espaço> ou [aaaa] - executa no endereço corrente ou no endereço aaaa

—— Leitura de Dados ——

M <aaaa>,[aaaa] - desasseMbla

X <aaaa>,[aaaa] - lista a memória eXterna (Xdata)

I <aa>,<aa> - lista a memória Interna (data e ldata)

S <aa> - mostra o valor do Sfr(aa)

R - mostra os Registradores

— Modificação dos Dados —

B <aaaa>,[aaaa]=<dd> - inicializa um Bloco de memória externa

E <aaaa>-[dd] - edita a memória Externa (use <bs>, <cr>, <espaço>)

D <aa>-[dd] - edita a memória interna (Data e iData)

F <aa>=<dd> - modifica o valor do sFr(aa)

C <r>=<dd> - modifica o registro (Pc Sp Acc B Dptr psW r0..9)

>

Utilizando o programa monitor é possível visualizar e modificar os registradores de uso geral e de de função especial e toda a memória de dados. É possível executar um programa passo a passo e inserir pontos de parada em um programa tornando mais fácil o processo de depuração.

O endereço de carga do programa do usuário deverá ser igual ou superior a 8000H. Todos os vetores de interrupção e de *reset* situados a partir do endereço 0003H são reapontados para o endereço 8003H e superiores, salvo a interrupção do *timer 1* (001BH) que é utilizado pelo programa monitor.

Para carregar o programa (comando **H**) pode-se utilizar um programa de emulação de terminal (como o hiperterminal do Windows ou o Kermit). O programa em hexadecimal (extensão HEX) deverá ser enviado para a placa, com os seguintes parâmetros de comunicação serial RS-232:

- 9600 *bauds*
- 8 *bits*
- sem paridade
- transferência em ASCII

Instrução	Descrição	Instrução	Descrição
ADD A,Rn	Soma Rn à A	ANL direto,#dados	AND byte direto e imediato
ADD A,direto	Soma byte direto à A	ORL A,Rn	OR entre A e Rn
ADD A,ØRi	Soma byte indireto à A	ORL A,direto	OR entre A e byte direto
ADD A,#dados	Soma byte imediato à A	ORL A,ØRi	OR entre A e byte indireto
ADDC A,Rn	Soma Rn à A e ao carry	ORL A,#dados	OR entre A e byte direto
ADDC A,direto	Soma byte direto à A e ao carry	ORL direto,A	OR direto e A (resultado em direto)
ADDC A,ØRi	Soma byte indireto à A e ao carry	ORL direto,#dados	OR byte direto e imediato
ADDC A,#dados	Soma byte imediato à A e ao carry	XRL A,Rn	EX-OR entre A e Rn
SUBB A,Rn	Subtrai Rn de A com borrow	XRL A,direto	EX-OR entre A e byte direto
SUBB A,direto	Subtrai byte direto de A com borrow	XRL A,ØRi	EX-OR entre A e byte indireto
SUBB A,ØRi	Subtrai byte indireto de A com borrow	XRL A,#dados	EX-OR entre A e byte direto
SUBB A,#dados	Subtrai byte imediato de A com borrow	XRL direto,A	EX-OR direto e A (resultado em direto)
INC A	Incrementa acumulador	XRL direto,#dados	EX-OR byte direto e imediato
INC Rn	Incrementa registrador	CLR A	Clear o Acumulador
INC direto	Incrementa byte direto	CPL	Complementa A
INC ØRi	Incrementa byte indireto	RL	Rotaciona A à esquerda
INC dptr	Incrementa o dptr	RLC	Rotaciona A à esquerda com carry
DEC A	Decrementa A	RR	Rotaciona à direita
DEC Rn	Decrementa registrador	RRC	Rotaciona à direita com carry
DEC direto	Decrementa Direto	SWAP	Intercâmbio de nibbles em A
DEC ØRi	Decrementa indireto	MOV A,Rn	Mover de Rn para A
MUL AB	Multiplica A e B	MOV A,direto	Mover byte direto para A
DIV AB	Divide A e B	MOV A,ØRi	Mover byte indireto para A
DA A	Ajuste decimal em A	MOV A,#dados	Mover byte imediato para A
ANL A,Rn	AND entre A e Rn	MOV Rn,A	Mover de A para Rn
ANL A,direto	AND entre A e byte direto	MOV Rn,direto	Mover de byte direto para Rn
ANL A,ØRi	AND entre A e byte indireto	MOV Rn,#dado	Mover de byte imed. para Rn
ANL A,#dados	AND entre A e byte direto	MOV direto,A	Mover de A para byte direto
ANL direto,A	AND direto e A (resultado em direto)		

Tabela A.8: Conjunto de Instruções do 80C552

Instrução	Descrição	Instrução	Descrição
MOV direto,Rn	Mover de Rn para byte direto	CLR C	Reseta o carry
MOV direto,direto	Mover de direto para direto	CLR bit	Reseta bit direto
MOV direto,ØRi	Mover de indireto p/byte direto	SETB C	Seta bit de carry
MOV direto,#dados	Mover de imediato p/byte direto	SETB bit	Seta bit direto
MOV ØRi,A	Mover de A para byte indireto	CPL C	Inverte o carry
MOV ØRi,direto	Mover de direto p/byte indireto	CPL bit	Inverte bit direto
MOV ØRi,#dados	Mover de imediato para byte ind.	ANL C,bit	AND carry e bit direto
MOV dptr,#dados 16	Mover word direto para dptr	ANL C,/bit	AND carry e o NOT bit direto
MOVC A,ØA+dptr	Mover byte de código relativo a dptr	ORL C,bit	OR carry e bit direto
MOVC A,ØA+PC	Mover byte de código relativo a PC	ORL C,/bit	OR carry e o NOT bit direto
MOVX A,ØRi	Mover da RAM externa para A	MOV C,bit	Mover bit direto para carry
MOVX A,Ødptr	Mover da RAM externa(16) para A	MOV bit,C	Mover carry para bit direto
MOVX A,ØRi,A	Mover de A para RAM externa	JC rel	Desviar para rel se carry =1
MOVX Ødptr,A	Mover de A para RAM externa(16)	JNC rel	Desviar para rel se carry =0
PUSH direto	Colocar byte direto na pilha	JB rel	Desviar para rel se bit =1
POP direto	Retirar da pilha para byte direto	JNB rel	Desviar para rel se bit =0
XCH A,Rn	Trocar conteúdos de A e Rn	JBC rel	Desviar se bit=1 e resetar bit
XCH A,direto	Trocar conteúdos de A e direto	ACALL addr11	Chamar subrotina (absoluto)
XCH A,ØRi	Trocar conteúdos de A e indireto	LCALL addr16	Chamar subrotina (longo)
XCHD A,ØRi	Trocar o low-nibble de A e Rn	RET	Retornar da subrotina
		RETI	Retornar da Interrupção
CJNE A,direto,rel	Compare A com direto e desvie se diferentes	AJMP addr11	Desvio absoluto
CJNE A,#dados,rel	Compare A com imed. e desvie se diferentes	LJMP addr16	Desvio longo
CJNE Rn,#dados,rel	Compare Rn com imed. e desvie se diferentes	SJMP rel	Desvio curto (relativo ao endereço)
CJNE ØRi,#dados,rel	Compare A com imed. e desvie se diferentes	JMP ØA+dptr	Desvio relativo a dptr
DJNZ Rn,rel	Decremente Rn e desvie se $\neq 0$	JZ rel	Desvie se A é zero
DJNZ direto,rel	Decremente byte direto e desvie se $\neq 0$	JNZ	Desvie se A não é zero
NOP	Nenhuma operação		

Tabela A.9: Conjunto de Instruções do 80C552 - Continuação

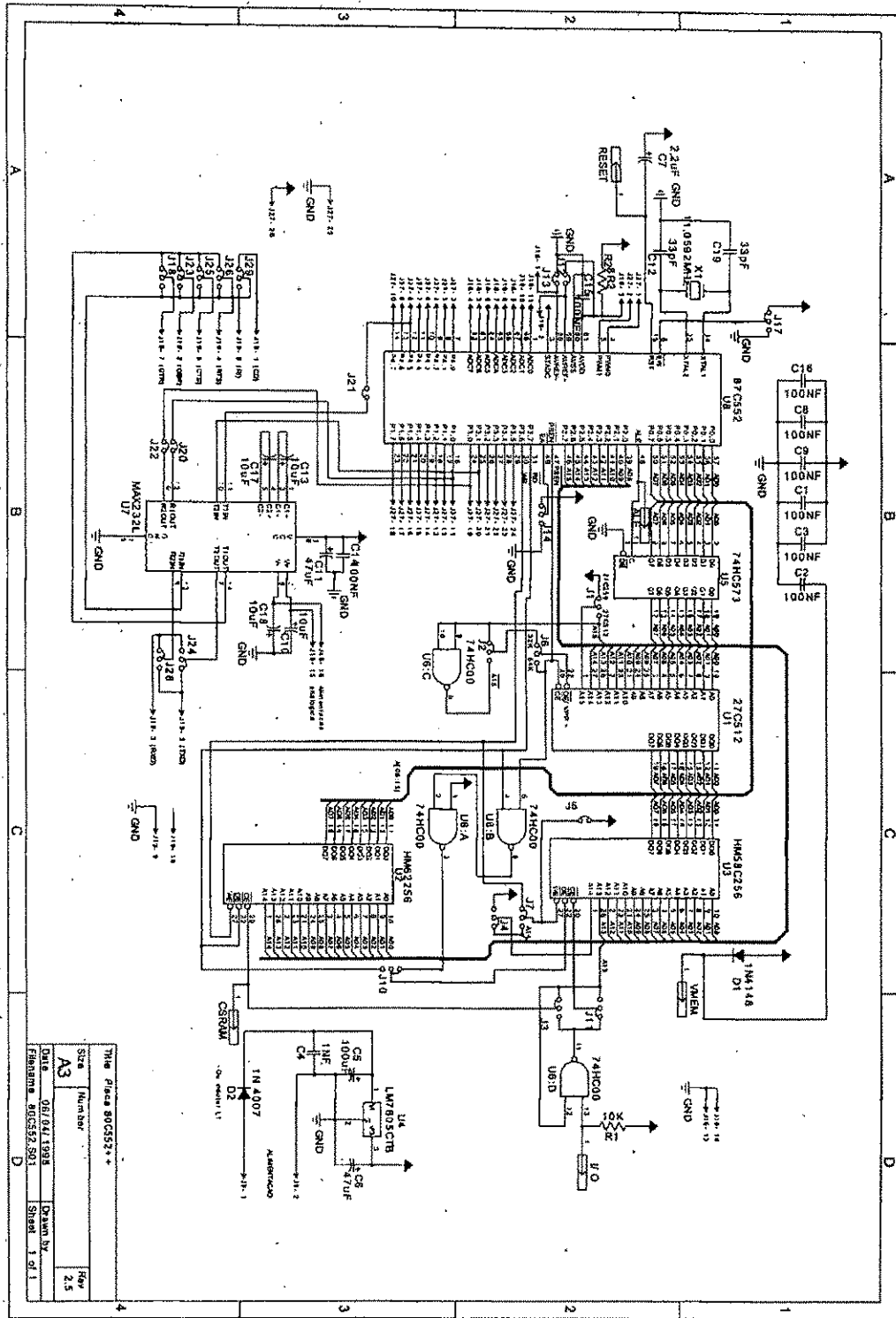


Figura A.9: Diagrama esquemático do circuito elétrico da placa de desenvolvimento 80C552++

J8		J27	
CSRAM 1	2 VMEM	PWM0 1	2 PWM1
(P3.6)/WR 3	4 A14	(CMSR0) P4.0 3	4 P4.2 (CMSR2)
A12 5	6 A13	(CMSR1) P4.1 5	6 P4.3 (CMSR3)
A7 7	8 A8	(CMSR4) P4.4 7	8 P4.5 (CMSR5)
A6 9	10 A9	(CMT0) P4.6 9	10 (CMT1) P4.7
A5 11	12 A11	(CT0) P1.0 11	12 (CT1) P1.1
A4 13	14 /RD(P3.7)	(CT2) P1.2 13	14 (CT3) P1.3
A3 15	16 A10	(T2) P1.4 15	16 (RT2) P1.5
A2 17	18 /PSEN	(SCL) P1.6 17	18 (SDA) P1.7
A1 19	20 AD7	(RXD) P3.0 19	20 (TXD) P3.1
A0 21	22 AD6	/INT0 P3.2 21	22 /INT0 P3.3
AD0 23	24 AD5	(T0) P3.4 23	24 (T1) P3.5
AD1 25	26 AD4	GND 25	26 VCC
AD2 27	28 AD3		
/I/O 29	30 RESET		
A15 31	32 ALE		
VCC 33	34 GND		

J16		J19	
AVREF- 1	2 AVREF+	CD 1	2 DSR
AVDD 3	4 ADC 7	RXD 3	4 RTS
ADC6 5	6 ADC 5	TXD 5	6 CTS
ADC4 7	8 ADC3	DTR 7	8 RI
ADC2 9	10 ADC1	GND 8	10 NC
1ADC0 1	12 STADC		
1DBND 3	14 AGND		
+10V 15	16 -10V		

Figura A.10: Descrição dos pinos dos conectores J8, J27, J16 e J19.

Bibliografia

- [Albino, 2001] D.S.Albino, P.R.Barros, J.S. da Rocha Neto, A.C. van Haandel and P.F.Cavalcanti. **Modelling and Estimation of Physical Parameters in a Sludge Drying System** - 8th conference in the Instrumentation, Control and Automation (ICA-2001)- Malmo, Suécia - Junho de 2001 .
- [Aisse, 1999] Aisse, Miguel Mansur *et al.* **Tratamento de Esgotos sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo - Capítulo 11** - Projeto PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico-Rio de Janeiro, 1999.
- [Campos, 1999] Campos, José Roberto e Neto, Cícero Onofre de Andrade. **Tratamento de Esgotos sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo - Capítulo 1** - Projeto PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico-Rio de Janeiro,1999.
- [Cantú, 1996] Cantú, Marco. **Dominando o Delphi 2.0** - Makron Books - 1996.
- [Fernandes, 1997] Fernandes F. et al (1997). **Manual Técnico para a Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná**. Curitiba, SANEPAR.
- [Gerba, 1975] Gerba, C.P., *et al* (1975) - **Fate of wastewater bacteria and viruses in soil**. J.Irrig. Drainage division, 101:157-174.
- [Kowal, 1982] Kowal, N.E.(1982) - **Health effects of land treatment - microbiological**. USEPA Publication N° EPA-600/1-82-007.
- [Lindberg, 1997] Lindberg, C. F. - **Control and Estimation Strategies Applied to the Activated Sludge Process**. Uppsala University, 1997.
- [Ljung, 1999] Ljung, L. - **System Identification. Theory for the User**. Prentice-Hall, 1999.

- [Mikheyev, 1975] Mikheyev, M. - **Fundamentals of Heat Transfer** - Peace Publishers - 1965.
- [MATLAB, 1997] **Building Graphical User Interfaces with MATLAB** - version 5 - Mathworks Incorporation - 1997.
- [Ogata, 1982] Ogata, Katsuhiko - **Engenharia de Controle Moderno** - Prentice Hall do Brasil - 1982
- [Palm, 1999] Palm, W.J (1999). **Modeling, Analysis and Control of Dynamical Systems** - Wiley and Sons - 2nd Edition.
- [Persson, 1996] Persson, Ola - **Estimating Physical Parameters in Distributed System**. Master Thesis -Uppsala University , 1996.
- [Philips, 1998] Philips Data Handbook IC20 - **80C51-Based 8-Bit Microcontrollers**-1998.
- [Philips2, 1989] Philips Data Handbook IC14 - **Microcontrolers NMOS, CMOS** - 1989.
- [Smith, 1997] Smith L.S.(1977) - **Can Sludge be used hygienically?** Presented at a Symposium on Treatment and Disposal of Sludges deriving from Municipal Sewage, Pretoria, 26-27 October.
- [Steintiford, 1994] Steintiford, E (1994) - **Investigation into the pathogen die-off mechanisms in composting of refuse and sewage sludge**. Summary Report no. GR/F1209. University of Leeds.
- [Strauss, 1999] Strauss, M.(1999). **Health of excrete pathogens**, IRCWD News 23:4-7.
- [Tipler, 1995] Tipler, Paul - **Física para cientistas e engenheiros** - Volume 2 - Terceira Edição -Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.- 1995.
- [Telecontrolli] endereço eletrônico: www.reidosom.com.br ou www.gde.com.
- [Van Haandel, 1994] Van Haandel, A. Lettinga, G. -**Tratamento Anaeróbio de Esgotos - Um manual para regiões de clima quente**. Editoração Eletrônica por Dalton Serey Guerrero e Sebastian Yuri Cavalvanti Catunda. Campina Grande, 1994.
- [Van Overschee, 1996] .Van Overschee, P. and DeMoor, B. - **Subspace Identification of Linear Systems: Theory, Implementation, Applications**. - Kluwer Academic Publishers - 1996.