Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos

**Estudo e Implementação de Um
Sistema de Monitoramento Remoto
de Variáveis Edafo-Ambientais.**

André Torre Neto

Tese apresentada ao Instituto de Física
de São Carlos para obtenção do título de
Doutor em Ciências (Física Aplicada).

Orientador: Prof. Dr. Jan Frans Willem Slaets

Departamento de Física e Informática

São Carlos - Maio, 1995

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Jan Frans Willem Slaets

Prof. Dr. Claudio José Magon

Prof. Dr. Sérgio Oliveira Moraes

Dr. Silvio Crestana

Prof. Dr. João Francisco Escobedo

“ Não basta a certeza das madrugadas que se perdem nem das flores e seres que nunca se abrem para que a Luz nasça. É preciso que algumas flores e seres dêem sangue na semimadrugada do amor eterno ... Agora a minha vida e a minha história estão fora de mim. Então, sou essência. Tenho infinidade de mãos e todas se agarram ao eterno presente. “

Sri Mahakrishna Swami

A
Minha mulher Lília
e meu filho Yúri.

por longos na

confirmações

WILKES VIMES

Formiga

Ladislau Martin Neto

Paulo Hermannfy.

Indi

Ja/H 14

Paulo

René

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Paulo

Um trabalho gratificante surge de esforços conjuntos de colaborações preciosas, de incentivos ... A todos, meus agradecimentos.

Wladimir P. G. Caiado

Paulo

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO	xvii

1. O PROGRAMA DE MODELAMENTO LEACHMP 1

1.1 INTRODUÇÃO 1

1.2 REGIÃO DE INTERESSE 1

1.3 CLASSIFICAÇÃO 2

1.4 EQUACIONAMENTO 2

1.4.1 Fluxo de água 3

1.4.2 Transporte de pesticidas 3

1.4.3 Degradação de pesticidas 8

1.4.4 Absorção de água pelas plantas 9

1.4.5 Evapotranspiração potencial 10

1.5 O PROGRAMA 10

1.5.1 Subrotinas 10

1.5.2 Parâmetros de entrada 11

1.5.3 Dados de saída 13

2. AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS E TELEMETRIA NA AGRICULTURA 15

2.1 INTRODUÇÃO 15

2.2 SENSORES 17

2.3 ENLACES 19

2.3.1 Meio físico 19

2.3.1.1 Cabos	19
2.3.1.2 Ondas de rádio	20
2.3.1.3 Meios óticos	22
2.3.2 Topologias	22
2.3.2.1 Topologia em estrela	22
2.3.2.2 Topologia em cadeia	23
2.3.2.3 Topologia em linha	24
2.4 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PARÂMETROS NO CAMPO	25
2.5 CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS ELETRÔNICOS NO CAMPO	26
2.5.1 Problemas mecânicos	26
2.5.2 Temperaturas extremas	26
2.5.3 Umidades elevadas	27
2.5.4 Descargas atmosféricas	27
2.6 ALIMENTAÇÃO	29
2.7 MANUTENÇÃO	30
3. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	32
3.1 INTRODUÇÃO	32
3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES	32
3.3 DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES	33
3.3.1 Sensores climatológicos	33
3.3.2 Sensores edáficos	34
3.4 DESCRIÇÃO DOS SENSORES	35
3.4.1 Velocidade do vento	35
3.4.2 Direção do vento	36
3.4.3 Temperatura do ar	37
3.4.4 Umidade do ar	37
3.4.5 Precipitação	37
3.4.6 Evaporação	38
3.4.7 Radiação solar	38
3.4.8 Temperatura do solo	39
3.4.9 Potencial mátrico	39

3.5 ARQUITETURA IMPLEMENTADA	39
3.6 SUBSISTEMAS	40
3.6.1 O Posto de Coleta de Dados	41
3.6.1.1 Aquisição dos dados (Transmissor Digital Inteligente, TDI)	42
3.6.1.1.1 Descrição do hardware	43
3.6.1.1.2 Descrição do software	45
3.6.1.2 Transmissão dos dados para a Unidade Remota	48
3.6.2 A Unidade Remota de Armazenamento	49
3.6.2.1 Programa de controle	49
3.6.2.2 Programa de comunicação	53
3.6.3 A Central de Armazenamento e Processamento	54
3.6.3.1 Transferência dos dados	55
3.6.3.2 Base de dados edafo-ambientais	55
3.6.3.3 Controle remoto	55
3.7 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	57
3.7.1 Considerações gerais	57
3.7.2 Implementação do protocolo	57
3.8 OS RÁDIOS-MODEM	60
4. CARACTERÍSTICAS E RESULTADOS OBTIDOS	62
4.1 INTRODUÇÃO	62
4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	62
4.2.1 Posto de Coleta de Dados	62
4.2.1.1 Alimentação	62
4.2.1.2 Barramento	63
4.2.1.3 TDIs	63
4.2.1.4 Sensores	64
4.2.1.5 Enlace (rádio-modem)	68
4.2.2 Unidade Remota de Armazenamento	68
4.2.2.1 Hardware	68
4.2.2.2 Software	68
4.2.2.2.1 Programa de controle	69
4.2.2.2.2 Programa de comunicação	69
4.2.3 Central de Armazenamento e Processamento	69

4.2.3.1 Hardware	70
4.2.3.1.1 Estação de trabalho RISC/UNIX	70
4.2.3.1.2 Microcomputador	70
4.2.3.2 Software	70
4.2.3.2.1 Programa de gerenciamento da base de dados edafo-ambientais	71
4.2.3.2.2 Programa de modelamento LEACHMP	71
4.2.3.2.3 Programa de comunicação	71
4.2.3.2.4 Programa de conectividade para PCs	71
4.3 DINÂMICA DE FUNCIONAMENTO	71
4.4 RESULTADOS OBTIDOS	73
4.4.1 Três dias de leitura	74
4.4.2 Dados climatológicos	75
4.4.3 Temperatura no solo	76
4.4.4 Recuperação de falhas na comunicação	76
4.4.5 Autonomia	77
4.4.6 Armazenamento e transmissão dos arquivos de dados	77
4.4.7 Resultados com o modelo LEACHMP	78
4.4.8 Problemas encontrados e recomendações	82
5. CONCLUSÕES	84
5.1 CONCLUSÕES GERAIS	84
5.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS	85
5.2.1 Abrangência dos conhecimentos adquiridos	85
5.2.2 Custos	86
5.2.3 Facilidades para o usuário	87
5.2.4 Aspectos do barramento serial multiponto	87
5.2.5 Integração de produtos de mercado e desenvolvimentos anteriores	87
5.2.6 Possibilidade de ampliação	87
5.2.7 Potencial de utilização do sistema	88
5.3 TRABALHOS FUTUROS	89
5.3.1 Novo modelo de caixa para os TDIs	89
5.3.2 Sensor de temperatura múltiplo	90
5.3.3 Processamento local	90
5.3.4 Análise estatística para correção de dados em tempo real	91

5.3.5 Módulo de armazenamento redundante	91
5.3.6 Atuadores para controle	92

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA GERAL ____ 93

7. APÊNDICES _____ 104

Apêndice A - Leis da transferência de massa usadas para o estudo do solo	104
Apêndice B - Arquivos de entrada e saída do modelo LEACHMP	105
Apêndice C - Tensiômetros	119
Apêndice D - Listagens da programação do TDI de temperatura no solo	121
Apêndice E - Exemplo de arquivo de dados gerado pela Unidade Remota	133
Apêndice F - Biblioteca CBASE	138

8. GLOSSÁRIO _____ 143

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema genérico de aquisição automática de dados e controle para aplicações na agricultura _____	16
Figura 2.2 - Topologia em estrela onde a estação-base se comunica com cada estação de campo individualmente _____	23
Figura 2.3 - Topologia em cadeia ou anel onde a estação-base e as estações de campo formam uma cadeia. Os comandos são repassados de uma estação para outra até ecoarem na estação-base (linha cheia). Somente a estação de campo identificada através de um código responde ao comando (linha pontilhada) _____	24
Figura 2.4 - Topologia em linha na qual todas as estações são ligadas a um barramento. Os comandos são recebidos simultaneamente por todas as estações de campo. Assim como na topologia em anel, um identificador determina qual estação de campo deve responder ao comando da estação-base, porém a falha de uma estação não compromete a comunicação das demais _____	25
Figura 2.5 - Circuito supressor de transientes multiestágio _____	28
Figura 2.6 - Aterramento recomendado para barramento serial multiponto. A ligação pontilhada não é recomendada e, caso seja necessária, deve ser feita com cabo de, no mínimo, 3mm ² de seção _____	29
Figura 3.1 - Localidades, distâncias e infra-estrutura envolvidas no sistema _____	33
Figura 3.2 - Sensor de velocidade do vento. Trata-se de um anemômetro do tipo conchas rotativas, acoplado a um disco perfurado que intercepta um feixe de luz infravermelho. O sinal elétrico fornecido são pulsos cuja frequência corresponde à velocidade do vento ____	35
Figura 3.3 - Sensor para direção do vento. Um disco codificado com código <i>gray</i> e cinco pares transmissores/receptores de luz infravermelha fornecem a direção diretamente na forma binária _____	36
Figura 3.4 - Medidor de precipitação, trata-se de um pluviômetro tipo báscula, cujo sinal elétrico de saída é um pulso TTL para cada 0,1 mm de chuva _____	37
Figura 3.5 - Medidor de radiação solar, trata-se de um piranômetro tipo estrela, cujo sinal de saída é um nível de tensão proporcional à radiação solar global direta e difusa _____	38
Figura 3.6 - Arquitetura implementada _____	41
Figura 3.7 - Diagrama em blocos do circuito Transmissor Digital Inteligente (TDI) _____	42
Figura 3.8 Esquema elétrico do TDI (Transmissor Digital Inteligente) _____	44
Figura 3.9 - Vista explodida do TDI para temperatura no solo _____	45
Figura 3.10 - Fluxograma simplificado do programa de controle dos TDIs _____	46

Figura 3.11 - Estrutura de <i>software</i> na Unidade Remota de Armazenamento e os principais arquivos envolvidos	50
Figura 3.12 - Tela principal do programa de controle do sistema, que é executado na Unidade Remota de Armazenamento	51
Figura 3.13 - Janela de diálogo para configuração de alguns parâmetros da aquisição relativos aos sensores	51
Figura 3.14 - Estrutura de <i>software</i> na Central de Armazenamento e os principais arquivos envolvidos	54
Figura 3.15 - Telas do programa desenvolvido para gerenciamento da base de dados edafo-ambientais gerados pelo sistema. O programa é executado na estação de trabalho em ambiente UNIX System V, com interface gráfica X-Window	56
Figura 3.16 - Formato dos pacotes de comunicação definidos no protocolo criado	58
Figura 3.17 - Diagrama em blocos dos rádios-modem. a) lado do Posto de Coleta onde a interface é do tipo RS-485 e o microcontrolador faz o <i>handshake</i> com o <i>modem</i> e b) lado da Unidade Remota onde a interface é RS-232 e o <i>handshake</i> é feito diretamente pelo PC	61
Figura 4.1 - Diagrama funcional do sistema mostrando as operações realizadas pelos seus componentes	73
Figura 4.2 - a) temperatura no solo, na parcela 1, nas profundidades de 15, 30 e 60 cm e b) umidade relativa e temperatura do ar. Dados obtidos no período de 24 a 26 de março de 1993, com intervalo entre aquisições de 10 minutos	74
Figura 4.3 - Trechos do arquivo de rastreamento. Em a) não ocorreram falhas na comunicação e em b) ocorreu uma falha, que foi recuperada na primeira tentativa de recuperação prevista no protocolo de comunicação	76
Figura 4.4 - Tempos de transferência do arquivo de dados entre a Unidade Remota e a Central de Processamento, com e sem a compactação em tempo real por <i>software</i> , oferecida pelo protocolo proprietário do PCanywhere	78
Figura 4.5 - Dados adquiridos pelo sistema no período escolhido para a simulação com o programa LEACHMP, de 25/03 a 10/04/94. Em a) período total, 16 dias, e em b) detalhes em torno da última precipitação, acrescentando-se a radiação solar global e a temperatura no solo a 60 cm	79
Figura 4.6 - Evolução temporal e espacial do transporte do pesticida atrazina, no período de 16 dias, para profundidades de até 100 cm com relação à superfície, obtida por simulação com o modelo LEACHMP, com dados fornecidos pelo sistema	81
Figura 4.7 - Simulação do potencial mátrico de água no solo, no mesmo período e nas mesmas profundidades do experimento da Figura 4.6	81

Figura 5.1 - TDI para potencial mátrico, montado no novo modelo de caixa cilíndrica, e TDI de temperatura no solo, montado na versão anterior de caixa _____ 90

Figura 7.1- Corte de um tensiômetro de mercúrio instalado no solo _____ 119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-I	Coeficientes de adsorção não-linear (Hamaker & Thompson, 1972)	7
Tabela 2-I	Alguns sensores utilizados em sistemas de aquisição de dados e controle na área agrícola	18
Tabela 2-II	Principais dispositivos supressores de transientes utilizados em circuitos de proteção de linhas e alguns valores típicos de suas características	27
Tabela 3-I	Associações dos endereços adotadas no protocolo	60
Tabela 4-I	Dados climatológicos e de um tensiômetro a 15 cm de profundidade, registrados durante uma noite chuvosa	75

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento e a implementação de um sistema de aquisição automática de variáveis edafo-ambientais, que inclui a transmissão de dados, em tempo real ou posterior para as facilidades computacionais de um laboratório. Esses dados alimentam um programa de modelamento do transporte de pesticidas no solo, o qual é executado em uma estação de trabalho RISC/UNIX. O sistema foi projetado e implementado considerando uma arquitetura serial multiponto, que permite a leitura de até 240 sensores. A transmissão de dados é realizada por dois enlaces, um via rádio (3 Km) e outro via linha telefônica discada (130 Km). Unindo esses enlaces, há um microcomputador PC, que se convencionou chamar de Unidade Remota de Armazenamento. O sistema de aquisição opera sob a supervisão da Unidade Remota. Para isso, foi criado um programa em ambiente gráfico (Windows), o qual assume que os sensores edáficos estejam distribuídos em até quatro parcelas. Esse programa tem as funções de: a) controlar os parâmetros do sistema de aquisição de dados, como intervalo entre amostragens e faixa de leitura dos sensores; b) verificar a consistência dos dados; c) permitir a complementação de dados, com entradas manuais relativas a aplicações de pesticidas e chuvas artificiais; d) armazenar localmente os dados em memória de massa; e) enviar dados para o laboratório, quando requisitados; f) monitorar leituras em tempo real e g) indicar possíveis falhas do sistema. O enlace via linha telefônica serve não-somente para a transferência dos dados, mas também possibilita que as funções da Unidade Remota sejam observadas e controladas à distância.

O sistema está em operação no campo (Estação Experimental de Pindorama, do IAC) há mais de dois anos. Estão sendo adquiridos dados climatológicos, temperatura do solo e potencial mátrico, em intervalos de 10 minutos. No decorrer desse período, os danos causados por efeitos secundários de relâmpagos durante tempestades resultaram em várias interrupções na operação do sistema. Apesar de terem sido tomadas as precauções usuais, como circuitos de proteção de linha, aterramento adequado do sistema e instalação de para-raios, estes esforços não foram totalmente eficientes e devem ser melhorados.

Palavras-chave: Sensores, monitoramento remoto, telemetria, modelamento, meio ambiente, solo, pesticidas.

ABSTRACT

This work describes the development of an automatic data acquisition system for environmental variables that includes the transmission of the acquired data in real time or later time to the computational facilities of a laboratory. These data are to be supplied for a modeling of pesticide transport in soil program that is executed in a RISC/UNIX workstation. The system was devised and implemented considering a multipoint serial bus architecture and reads up to 240 sensors. The data transmission is performed through a two-link telemetry chain, radio (3 km) and telephone line (130 km). A personal computer named Remote Storage Unit (RSU) was used to join these links. The data acquisition is supervised by the RSU. In order to execute this task a graphics user interface based program (Windows) was created. The program presupposes the distribution of the soil sensors in up to four plots. This program performs the functions of: a) controlling the data acquisition system such as sample intervals and sensors range; b) verifying the consistency of data; c) allowing the complementation of data with manual entries related to artificial rains and pesticide applications; d) locally storing the data in mass memory; e) sending these data to the laboratories, when requested; f) real time monitoring of readings; and g) indicating any system failure. Besides the data transmission the telephone line link can also be used to operate the RSU remotely.

The system is operating in the field (Estação Experimental de Pindorama, IAC) for more than two years. Climatological variables, soil temperature and soil matric potential are being measured at 10 minutes sample interval. During this test period the system operation was interrupted several times due to secondary effects of lightning. Despite of the usual taken cares as line-protection circuits, adequate system grounding and the installation of lightning rods these efforts were not efficient and must be improved.

Key-words: Sensors, remote monitoring, telemetry, modeling, environmental variables, soil, pesticides

INTRODUÇÃO

Apresentação do problema

O Brasil ocupou, em 1989, a quinta posição mundial entre os países que mais empregaram pesticidas na agricultura, atrás de Rússia, EUA, França e Japão. Segundo a ANDEF-Associação Nacional de Defesa Vegetal, somente nos anos de 1988 e 1989 foi comercializado um total de 300.729 toneladas de herbicidas, fungicidas e inseticidas. Se por um lado esse intenso uso de defensivos implica o acréscimo da produção de alimentos e a possível melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, por outro a presença de compostos ativos nos solos gera preocupações, devido ao risco potencial de contaminação do próprio solo e também dos recursos hídricos.

O crescente movimento pela melhoria das condições ambientais e pelo controle dos poluentes fez desse problema um assunto de grande importância para a pesquisa científica brasileira. Desde 1991 uma equipe interdisciplinar e multiinstitucional, envolvendo a USP, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a EMBRAPA, desenvolve o projeto temático “Transporte, Previsão do Destino e Balanço de Pesticidas no Solo” (Crestana et al, 1990), financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo, FAPESP.

Nesse projeto estão sendo utilizadas metodologias convencionais e não-convencionais para o estudo do transporte e do destino de pesticidas no solo. Uma das metodologias não-convencionais que está sendo testada e validada para o clima e solos estudados é o modelo *Leaching Estimation and Chemistry Model - Pesticide* (LEACHMP), desenvolvido na Universidade de Cornell (Wagenet & Hutson, 1987), que simula os processos de armazenamento, transporte e transformação dos pesticidas no solo.

O modelo LEACHMP contempla as principais ações físicas e químicas que armazenam, transportam e transformam as substâncias químicas agrícolas. Sua execução requer uma capacidade de processamento relativamente alta, usualmente encontrada somente em nível de laboratório. Entretanto, muitos parâmetros de entrada associados a propriedades do solo e ambientais devem ser obtidos em campo. Algumas dessas propriedades apresentam uma grande variabilidade temporal e espacial. Para tais propriedades, numerosos pontos de medida devem ser monitorados na periodicidade

apropriada à escala de tempo associada com o movimento da água no campo, ou seja, da ordem de minutos. Monitorar essas variáveis manualmente, considerando-se essas condições, é uma tarefa inviabilizada por vários fatores, como:

- Limitações na quantidade de dados coletados;
- Grande suscetibilidade a erros;
- Perturbações indesejáveis da área experimental e
- Despesas consideráveis com a equipe de coleta.

A fim de estabelecer um processo eficiente, econômico e seguro de se obter essas medidas, no projeto temático em questão foi planejado o emprego de um sistema de monitoramento automático de dados edafo-ambientais.

Apesar de alguns sistemas desse tipo serem oferecidos pelo mercado nacional e internacional (Sociedade Consignatária Hobeco Ltda, Agrosystems Ind. e Com. Ltda, Campbell Scientific Inc. e Ominidata Intern. Inc., entre outras), optou-se por adquirir conhecimento na área, através do desenvolvimento de um novo sistema. Parte do trabalho já havia sido iniciado. Trata-se da estação climatológica desenvolvida na EMBRAPA-CNPDIA (Cruvinel, 1986 e Cruvinel et al, 1993). Porém, a adoção de uma arquitetura serial multiponto para o sistema de aquisição implicou modificações e adaptações no projeto original dessa estação.

Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é atender a demanda de dados edafo-ambientais do modelo LEACHMP. Para tal, os seguintes tópicos foram contemplados:

- Monitoramento do maior número possível de sensores;
- Perturbações mínimas da área experimental;
- Máxima confiabilidade no sistema de monitoramento;
- Intervalo de medidas da ordem de minutos;
- Transmissão de dados em tempo posterior para o laboratório e
- O gerenciamento de uma base de dados edafo-ambientais no laboratório.

Adicionalmente, procurou-se contemplar também o monitoramento de dados em tempo real, a reprogramação remota dos parâmetros de aquisição e a entrada de dados manuais relativos a aplicações de pesticidas e de chuvas artificiais na área experimental.

Apresentação do trabalho

Apesar da ênfase na instrumentação, este trabalho pode ser considerado interdisciplinar. Portanto, através da linguagem utilizada, da inclusão de um glossário e dos apêndices, procurou-se tornar o texto acessível a profissionais de várias áreas. Aqueles que estão acostumados com a terminologia dos sistemas de aquisição de dados para aplicações industriais, laboratoriais e outras, encontrarão um jargão um pouco diferente do que estão habituados, com termos próprios da área agrícola.

O capítulo 1 apresenta o programa de modelamento LEACHMP e fornece alguns detalhes dos cálculos envolvidos no transporte de pesticidas no solo, que demonstram sua complexidade e a conseqüente necessidade de uma capacidade computacional relativamente alta. Também são mostrados todos os parâmetros de entrada e entre eles os que foram selecionados para serem monitorados automaticamente.

No capítulo 2 tem-se uma exploração dos assuntos telemetria e aquisição de dados, com ênfase nas áreas agrícola e ambiental.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento completo do sistema. Procurou-se fornecer detalhes das localizações e distâncias envolvidas, bem como da distribuição dos sensores na área experimental, para em seguida mostrar a arquitetura do sistema implementado. Outros assuntos abordados são: detalhes de construção dos sensores, a criação do protocolo de comunicação, o desenvolvimento do programa de controle, o estabelecimento dos enlaces de comunicação e o gerenciamento da base de dados no CNPDIA.

O capítulo 4 descreve as características finais de cada componente do sistema, mostra a dinâmica de operação do sistema e relata alguns resultados de campo.

Segue-se, então, o capítulo 5, onde estão as conclusões finais, comentários gerais e os trabalhos que se pretende desenvolver futuramente.

Símbolos e Convenções

a) Na redação deste trabalho, alguns termos foram mantidos em inglês e enfatizados em itálico por apresentarem um significado mais expressivo na língua original;

b) Números seguidos pela letra H estão na base hexadecimal;

c) Sinais com nível lógico baixo são representados por “0” e nível lógico alto por “1”;

d) Sinais lógicos ativos em nível baixo são antecidos pelo símbolo /;

1. O PROGRAMA DE MODELAMENTO LEACHMP

1.1 INTRODUÇÃO

Em meados da década de oitenta, a constatação da contaminação de águas subterrâneas e superficiais por substâncias químicas utilizadas na agricultura e indústrias despertou a preocupação, principalmente, dos países desenvolvidos. Além de diversas ações terem sido tomadas diretamente nas práticas agrícolas e no tratamento dos resíduos industriais, houve também a mobilização da comunidade científica, no sentido de compreender os processos de contaminação.

Entre os trabalhos científicos que sobrevieram estão os modelos de previsão do transporte de substâncias orgânicas no solo baseados no conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos. Esses trabalhos, pioneiros na área, trouxeram outra constatação: não existia ainda total compreensão dos processos de interação e movimento de substâncias no meio poroso do solo. Portanto, os modelos desenvolvidos precisavam ser validados experimentalmente, de acordo com as condições específicas do solo, climáticas e também da substância em estudo, a fim de que pudessem ser utilizados de forma segura para prever um impacto ambiental.

É o caso do modelo LEACHMP, que no projeto no qual este trabalho está inserido está sendo adaptado e validado para realizar estimativas do destino de pesticidas no solo, para condições específicas de solos brasileiros e para pesticidas largamente utilizados no Brasil.

O LEACHMP pode ser considerado um modelo bastante geral e complexo. Ilustrando essa complexidade, neste capítulo serão mostrados alguns detalhes dos processos de transformação e transporte que dominam o destino de substâncias químicas orgânicas no solo e que o modelo considera.

1.2 REGIÃO DE INTERESSE

Processos físicos, químicos e ações biológicas podem fazer com que os pesticidas sejam armazenados, transportados ou transformados nas várias partes do ambiente. Porém, o modelo LEACHMP foi desenvolvido especificamente para simulações na camada superficial do solo (primeiros dois metros do perfil vertical). Essa camada merece especial atenção, por se tratar da primeira e mais importante barreira defensiva contra a contaminação das águas, tanto subterrâneas como superficiais. Ela é o ambiente mais favorável para a atenuação ou

eliminação de contaminantes (Avelar et al, 1988). Os processos de transporte e as transformações que ocorrem nesta camada, para diferentes tipos de solo e diversas condições de precipitação, de compactação, de umidade, de manejo, de pH e de matéria orgânica, podem afetar acentuadamente o destino do pesticida.

1.3 CLASSIFICAÇÃO

A maioria dos modelos publicados usa representações de processos e princípios envolvidos, de formas similares. No entanto, eles diferem quanto às suas complexidades e tipo de aplicação. Wagenet & Hutson (1986) desenvolveram um esquema de classificação que divide os modelos em 3 grupos, baseado no tipo de aplicação: modelos de manejo, de simulação e *screening*.

O modelo de manejo é um conjunto qualitativo ou quantitativo de indicações para aplicações práticas, ou seja, simples correlações estabelecidas entre transporte e práticas de manejo. Por exemplo, um dado modelo pode estabelecer que um pesticida se deslocará uma dada distância num solo arenoso e uma distância diferente para uma dada prática agrícola ou quantidade de água aplicada.

O modelo de simulação, como é o caso do LEACHMP, representa o transporte e transformações com leis quantitativas dos processos envolvidos e é utilizado para fazer projeções do comportamento de um particular composto químico numa dada condição de solo. Esse modelo é largamente utilizado atualmente e geralmente possui uma grande quantidade de parâmetros, de modo que, para sua utilização, é necessária uma substancial experimentação para calibração. Para isso, são recomendados recursos computacionais de médio porte.

Nos modelos *screening*, um grande número de compostos químicos são avaliados, do ponto de vista do transporte e transformação numa mesma condição de solo, e seus resultados comparados para produzir uma descrição relativa do seu destino no solo. Desse modo, os compostos são divididos em grupos menores, com características similares, e assim são estabelecidas tendências para compostos que seguem um padrão de transporte e transformação.

1.4 EQUACIONAMENTO

O LEACHMP é um modelo determinístico que fornece a concentração e a localização do pesticida, em função do tempo, para o perfil vertical do solo em estudo. Nele, são

identificados submodelos que estimam: (a) fluxo de água; (b) transporte de pesticidas; (c) degradação de pesticidas; (d) absorção de água pelas plantas e (e) evapotranspiração potencial.

A seguir, será descrito o equacionamento de cada um desses processos com o intuito de se mostrar a complexidade do modelo. Algumas leis e equações citadas são provenientes da hidrodinâmica e se encontram no Apêndice A.

1.4.1 Fluxo de água

A equação do fluxo de água no solo para movimento vertical é obtida combinando-se a equação de Darcy e a equação da continuidade para a água se movendo em um material poroso em uma dimensão, resultando em:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \right] - U(z, t)$$

Eq. 1

onde θ é a umidade do solo à base de volume, H é o potencial hidráulico [mátrico(h) + gravitacional(z)] da água no solo, $K(\theta)$ a condutividade hidráulica do solo (m/s) e $U(z, t)$ representa a perda de água em função do tempo e da profundidade, devido à absorção de água pelas raízes das plantas.

A solução da Eq. 1 é obtida através do método numérico de diferenças finitas (Wagenet & Hutson, 1987) e utilizando um modelo para variação de K com θ ou h , proposto por Campbell (1974):

$$K(\theta) = K_0 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{2b+2+p}$$

Eq. 2

onde K_0 é a condutividade hidráulica para umidade de saturação (θ_0), b e p são constantes relativas à interação dos poros e devem ser determinadas experimentalmente. Em Hutson (1983), encontra-se um método para estimar essas constantes.

1.4.2 Transporte de pesticidas

O submodelo de transporte de pesticidas considera três processos: i) difusão da substância química dissolvida na fase líquida, em resposta a um gradiente de concentração; ii) difusão da fase vapor, em resposta a um gradiente de concentração gasosa e iii) convecção

(fluxo de massa), como resultado do arraste pela água. Considerando-se o fluxo de água em equilíbrio dinâmico, tais processos podem ser expressos por:

$$J_s = J_{DL} + J_{CL} + J_{DV}$$

Eq. 3

onde J_s é o fluxo total da substância (mg/m².dia), J_{DL} é o fluxo por difusão da substância dissolvida na fase líquida, J_{CL} é o fluxo por convecção na fase líquida e J_{DV} é o fluxo por difusão na fase de vapor. A difusão é, em geral, descrita pela lei de Fick.

No caso da difusão na fase líquida em um meio poroso, tem-se:

$$J_{DL} = -D_p(\theta) \frac{dc_L}{dz}$$

Eq. 4

onde $D_p(\theta)$ é o coeficiente de difusão efetiva (Kemper & Van Schaik, 1966) e c_L é a concentração na fase líquida.

Para o caso da difusão na fase gasosa, obtém-se:

$$J_{DV} = -D_{ov}(\theta) \frac{dc_v}{dz}$$

Eq. 5

onde D_{ov} é o coeficiente de difusão da fase de vapor no ar (mm²/ dia), que pode ser calculado experimentalmente (Jury et al, 1983).

O fluxo por convecção na fase líquida é descrito como:

$$J_{CL} = -\theta D_M(q) \frac{dc_L}{dz} + qc_L$$

Eq. 6

onde q é o fluxo macroscópico e $D_M(q)$ é o coeficiente de dispersão mecânica, que descreve a geometria dos poros como resultado de variações locais na média da velocidade de fluxo.

Substituindo as equações Eq. 4, Eq. 5 e Eq. 6 na Eq. 3, obtém-se:

$$J_s = -D_p(\theta) \frac{dc_L}{dz} - \theta D_M(q) \frac{dc_L}{dz} + qc_L - D_{ov} \frac{dc_v}{dz}$$

Eq. 7

Finalmente, combinando-se os dois primeiros termos da Eq. 7, obtém-se uma equação para o cálculo do fluxo total de uma substância química no solo:

$$J_s = -\theta D(\theta, q) \frac{dc_L}{dz} + qc_L - D_{ov} \frac{dc_v}{dz}$$

Eq. 8

onde $D(\theta, q)$ é o coeficiente de difusão aparente (mm^2/dia), que pode ser medido experimentalmente através do modelo de Bresler (1973).

Como foi previamente mencionado, a Eq. 8 considera o equilíbrio dinâmico do fluxo de água. Porém, a maioria das situações de transporte de substâncias químicas ocorre sob condições de fluxo transiente. Em tais condições, o conteúdo de água θ e o fluxo q variam com a profundidade e o tempo, resultando em concentrações totais c_T , também dependentes de profundidade e tempo. Nessas condições, utiliza-se a relação da continuidade da massa sobre o espaço e tempo:

$$\frac{\partial c_T}{\partial t} = \frac{\partial J_s}{\partial z} \pm \phi$$

Eq. 9

onde o termo ϕ representa as fontes de criação e degradação das substâncias.

Para se chegar à equação geral do transporte para pesticidas no solo, ainda precisam ser consideradas as relações de transferência de massa entre as fases que tais compostos possam assumir. Uma substância química orgânica no solo pode ser encontrada dissolvida na água, na fase de vapor, adsorvida na matéria orgânica ou na superfície mineral e na fase líquida não-aquosa (NAPL). Sua concentração total c_T pode ser expressa em unidades de massa/volume, pela seguinte expressão:

$$c_T = ac_v + \theta c_L + \rho c_s + \eta c_N$$

Eq. 10

onde c_v é a concentração do componente na fase de vapor (massa na fase gasosa/volume de ar), c_L é a concentração dissolvida na fase líquida, c_s é a concentração na fase adsorvida, c_N é a concentração na fase líquida não-aquosa, a é a porosidade livre de água (poros ocupados com gás), θ é a umidade volumétrica, ρ é a densidade global e η é o volume de NAPL/volume do solo.

A partição entre as fases gasosa e dissolvida para um componente orgânico é geralmente descrita através da relação de equilíbrio, conhecida como lei de Henry:

$$P_v = k_H X$$

Eq. 11

onde P_v é a pressão de vapor, X é a fração molar do componente e k_H é a constante de Henry. A equação Eq. 11 pode ser expressa, adimensionalmente, como:

$$C_v = K_H C_L$$

Eq. 12

onde K_H é a constante de Henry adimensional.

Na maioria dos modelos que descrevem as fases líquida (dissolvida) e vapor é utilizada a lei de Henry. Assim, deve-se assumir que as fases estão em equilíbrio. Desse modo, a constante de Henry pode ser calculada da seguinte forma:

$$K_H = C_v^* / C_L^*$$

Eq. 13

onde o símbolo * se refere aos estados saturados das fases.

Como a densidade do pesticida na fase de vapor e sua solubilidade são dependentes da temperatura, K_H é função da temperatura. No entanto, em situações de temperaturas constantes (isotermas), as concentrações das soluções nas duas fases são assumidas como proporcionais e uma delas pode ser eliminada da equação de transporte usando a equação Eq. 12.

A partição entre frações dissolvida e adsorvida é caracterizada, experimentalmente, através de uma relação de adsorção chamada Isoterma de Adsorção Linear, que é dada por:

$$C_s = K_d \cdot C_L$$

Eq. 14

onde K_d é o coeficiente de distribuição.

A isoterma de adsorção linear produz resultados satisfatórios no modelo para baixas concentrações de compostos não-iônicos (Karickhoff et al, 1979).

Uma forma mais geral da isoterma de adsorção, que descreve a adsorção de muitos compostos não-iônicos sobre uma grande variação de concentrações, é a isoterma de adsorção de Freundlich:

$$C_s = K_F \cdot C_L^{1/N}$$

Eq. 15

onde K_F é o coeficiente de adsorção de Freundlich e o coeficiente $1/N$ é uma constante, geralmente menor que 1. A Tabela 1-I (Hamaker & Thompson, 1972) apresenta os valores médios desse coeficiente para alguns pesticidas, testados em diferentes solos.

**Tabela 1-I Coeficientes de adsorção não-linear
(Hamaker & Thompson, 1972)**

Simazina	0,82	4	6
Atrazina	0,71	11	19
Prometon	0,81	2	4
Prometryn	0,86	1	4
Monuron	0,77	7	10
Parathion	1,03	2	4

* Coeficiente de variação

Quando a fração NAPL se encontra em contato com água, num meio poroso, ocorrerá dissolução da NAPL na fase líquida. A taxa de dissolução é uma função complexa das características da interface água-NAPL, e modelamentos do transporte e transformação da NAPL foram muito pouco desenvolvidos até o presente, devido, principalmente, a dificuldades de medidas.

Finalmente, a equação geral de transporte de uma substância química no solo é obtida combinando-se a equação da continuidade Eq. 9, a equação para o cálculo do fluxo total Eq. 8 e as equações para troca de massa entre fases Eq. 10, Eq. 12, Eq. 13 e Eq. 14, resultando em:

$$\frac{\partial c}{\partial t} (\rho K_d + \theta + aK_H^*) = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ [\theta D(\theta, q) + aK_H^*] \frac{\partial c}{\partial z} - qc \right\} \pm \phi$$

Eq. 16

onde todas as concentrações c são concentrações das soluções e ϕ indica os termos de decaimento cinético de primeira ordem.

Como a densidade de vapor e a solubilidade são dependentes da temperatura, K_H é função da temperatura. No entanto, em situações de temperaturas constantes (isotermas), as concentrações das soluções nas duas fases são assumidas como proporcionais, e uma delas pode ser eliminada da equação de transporte usando a equação Eq. 12.

1.4.3 Degradação de pesticidas

Pesticidas são geralmente degradados por processos químicos e microbiológicos. Algumas vezes, é interessante seguir também o deslocamento dos produtos de degradação. Nesses casos, padrões de degradações podem ser propostos. O modelo LEACHMP possibilita a utilização de dois padrões distintos de degradações:

i) LEACHMP3

onde c é a concentração de cada componente (pesticida pai ou produtos de degradação), $K_i(s^{-1})$ representam degradações por oxidação e $K'_i(s^{-1})$ representam degradações por hidrólise. Expressas como cinéticas de primeira ordem, tem-se para este modelo:

$$\frac{dc_1}{dt} = -(K_1 + K_1')c_1$$

Eq. 17

$$\frac{dc_2}{dt} = -(K_2 + K_2')c_2 + K_1c_1$$

Eq. 18

$$\frac{dc_3}{dt} = -(K_3 + K_3')c_3 + K_2c_2$$

Eq. 19

onde cada termo do lado direito das Eq. 17, Eq. 18 e Eq. 19 são os termos ϕ da equação Eq. 16 escritos para cada um dos compostos químicos.

ii) LEACHMP2

ou seja, são seguidos dois pesticidas simultaneamente e seus produtos de degradação.

1.4.4 Absorção de água pelas plantas

Os modelos para absorção de água pelas raízes das plantas podem ser classificados como microscópicos e macroscópicos. O LEACHMP utiliza um modelo macroscópico. Neste tipo de modelo o fluxo transiente vertical de água é considerado estável e uniforme em uma fatia Δz do solo e o sistema radicular é considerado como pontos de dreno de água dispersos e que permeiam essa fatia de maneira uniforme. Para o equacionamento deste modelo, é assumido que a absorção $U(z,t)$ é função da atividade da raiz, que inclui: a diferença de potencial de água entre a planta e o solo, a distância entre as raízes e a condutividade do sistema raiz-solo. A equação utilizada pelo LEACHMP é a equação definida por Nimah e Hanks (1973):

$$U(z,t) = H_{raiz} + [RRES(Z)] - H(z,t) - S(z,t)RDF(z) \frac{K_w}{\Delta x \Delta z}$$

Eq. 20

onde H_{raiz} é o potencial de água efetivo na raiz em $z=0$, $RRES(Z)$ é a resistência da raiz ao fluxo, $H(z,t)$ é o potencial mátrico de água no solo, $S(z,t)$ é o potencial osmótico no solo,

$RDF(z)$ é a proporção de raízes ativas na fatia Δz , K_w é a condutividade hidráulica do solo e Δx é a distância entre as raízes, na posição onde $h(z,t)$ e $s(z,t)$ são medidos.

1.4.5 Evapotranspiração potencial

A evaporação potencial de um solo é a máxima quantidade de água que ele pode perder sob determinadas condições de radiação solar, umidade do ar e vento. Segundo Reichardt (1985), há várias propostas teórico-empíricas para o cálculo da evaporação potencial. A evapotranspiração potencial é um processo ainda mais complexo, pois envolve o sistema solo-planta. O modelo LEACHMP considera somente cálculos sobre a fração total da evapotranspiração potencial, F_{evap} , em um período de interesse $\Delta t = t_1 - t_2$, dada por:

$$F_{evap} = \frac{1}{2} [\cos 2\pi(t_1 - 0,3) - \cos 2\pi(t_2 - 0,3)]$$

Eq. 21

Assume-se que a evapotranspiração ocorre somente durante um período de 12 horas, que se inicia no instante 0,3 do dia (07:12h).

A Eq. 21 é a integral da equação da densidade de fluxo de evapotranspiração E_t , que se assume variar senoidalmente:

$$E_t = E_{t,max} \sin[2\pi(t - 0,3)]$$

Eq. 22

1.5 O PROGRAMA

A seguir, serão apresentadas as subrotinas, os parâmetros de entrada e os dados de saída do programa LEACHMP. Para o interesse deste trabalho, é tudo o que se precisa conhecer.

1.5.1 Subrotinas

O programa LEACHMP foi desenvolvido na Universidade de Cornell, EUA, e cedido pelos autores para ser utilizado neste trabalho. Ele foi escrito em linguagem FORTRAN e é composto das seguintes subrotinas:

1) WATDAT: Calcula a relação entre potencial e umidade e a condutividade da água no solo e imprime os resultados;

- 2) GROWTH: Simula o crescimento da cultura e o crescimento e distribuição das raízes, usando equações empíricas;
- 3) POTET: Calcula a evaporação potencial diária e transpiração, com dados de evaporação líquida e de cobertura da cultura;
- 4) TSTEP: Calcula o intervalo de tempo, partindo das interações no modelo de diferenças finitas;
- 5) ETRANS: Calcula a transpiração potencial para o intervalo de interação estabelecido, assumindo variação senoidal durante o dia;
- 6) WUPTAK: Calcula a quantidade de água absorvida pelas plantas para uma dada distribuição de raízes, resistência e potencial da água no solo;
- 7) WATFLO: Solução por diferenças finitas da equação de fluxo de água no solo e escolha da condição de contorno inferior (na profundidade);
- 8) TEMP: Simulação do fluxo de calor por diferenças finitas;
- 9) RRATE: Ajusta as taxas de transformações dos pesticidas através da dependência com a temperatura;
- 10) PSINK: Calcula perdas e ganhos de cada espécie analisada, por transformação e/ou por absorção pelas plantas e
- 11) SOLUTE: Solução por diferenças finitas da equação de transporte de soluto, usando os dados de fluxo de água gerados na subrotina WATFLO.

1.5.2 Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada para a execução do modelo LEACHMP são fornecidos em um arquivo no formato ASCII, contendo diversas tabelas que devem ser preenchidas ou modificadas pelo usuário através de um editor de textos qualquer. No Apêndice B, encontra-se um exemplo desse arquivo. Tais parâmetros podem ser divididos como se segue:

a) Gerais:

- Data do início e término do experimento;
- Número de pesticidas aplicados;
- Número de aplicações de água;
- Número de aplicações dos pesticidas;
- Número de culturas na área estudada;
- Número de cultivos por ano;

- Condutividade hidráulica: calculada ou medida?
se medida: umidade ou potencial?
- Data e quantidade de cada pesticida aplicado;
- Data, intervalo de duração e intensidade de chuva ou irrigação;
- Quantidades (semanais) de água evaporada;
- Profundidade do perfil do solo estudado;
- Altura do lençol freático;
- Perfil homogêneo ou heterogêneo?
se heterogêneo, comprimento de cada segmento;
- Plantas presentes? (sim. não);
- Ponto de murcha permanente (PMP);
- Potencial mínimo e máximo da água na raiz;
- Termo de resistência da raiz;
- Raízes: constante(1), crescendo(2)
. se (1), comprimento da raiz
. se (2), subrotina GROWTH;
- Datas de emergência, maturidade, densidade de plantio e cobertura vegetal e
- Escolha do modelo de degradação: LEACHMP3 ou LEACHMP2.

b) Propriedades Físicas e Químicas:

- Constantes (a,b) do modelo de condutividade hidráulica de Campbell e condutividade hidráulica saturada (K_s);
- Fator de degradação ou meia vida biológica de cada substância (K_i e K_i'), das equações Eq. 17, Eq. 18 e Eq. 19;
- Coeficiente de difusão aparente (mm^2/dia), da Eq. 7, calculado através da medida da dispersividade (mm) e do coeficiente de difusão da substância na fase gasosa (mm^2/dia) pelo modelo sugerido por Bresler (1973);
- Coeficiente de partição ou distribuição (isoterma de adsorção) da Eq. 14;
- Solubilidade do pesticida em água, Eq. 13 e
- Densidade de vapor do pesticida, Eq. 13.

c) Dados de Temperatura:

- Temperatura média e amplitude de variação da superfície do solo;
- Condutividade térmica da areia, argila, matéria orgânica, água e ar e
- Fatores de geometria para a areia, argila e matéria orgânica.

d) Condições iniciais:

- Concentração inicial das substâncias químicas no perfil;
- Distribuição granulométrica no perfil;
- Quantidade de matéria orgânica no perfil;
- Potencial da água no solo ou umidade no perfil;
- Densidade média das partículas;
- Densidade de raízes no perfil;
- Temperatura no perfil e
- Quantidade de resíduos na água de chuva ou irrigação.

Como se observa, os parâmetros apresentados podem ser fixos (ou de variação pouco significativa para o tempo total de experimento, que é da ordem de dezenas de dias) ou variáveis. Eles também podem ser medidos no campo ou determinados em laboratório.

Obviamente, os parâmetros de interesse para leitura automática são as variáveis de campo que apresentem mudanças expressivas em intervalos da ordem da escala de tempo do movimento de solutos no solo, ou seja, de minutos ou horas. Estão nessa categoria: as variáveis climatológicas, o potencial mátrico de água e as temperaturas superficiais e do perfil do solo em estudo.

São exatamente essas as variáveis monitoradas automaticamente neste trabalho. O sistema também permite incluir manualmente dados sobre as aplicações dos pesticidas e de chuvas simuladas ou irrigação.

1.5.3 Dados de saída

Como dados de saída, o modelo LEACHMP fornece tabelas de condutividade e a relação entre potencial e umidade da água no solo, além de tabelas com um balanço de massa periódico, onde são considerados termos de drenagem, chuva, evapotranspiração, volatilização, absorção pelas plantas e termos de degradação e transformação.

Com relação ao destino dos pesticidas, são fornecidas tabelas periódicas das concentrações das substâncias no perfil do solo.

Além dessas tabelas, são fornecidos dados gerais, como a variação da temperatura no perfil, crescimento de raízes, transpiração, potencial na raiz, cobertura da cultura e quantidade de pesticida absorvida pelas plantas.

Tais resultados são gerados em arquivos no formato ASCII, conforme exemplos encontrados também no Apêndice B.

2. AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS E TELEMETRIA NA AGRICULTURA

2.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de aquisição automática de dados evoluíram consideravelmente nas últimas duas décadas, principalmente, devido aos avanços tecnológicos da eletrônica digital e ao advento dos microprocessadores. A tecnologia atual possibilita a construção de sistemas microcontrolados bastante eficientes e a baixos custos. Inúmeras são as áreas que se beneficiam com esses sistemas, tais como: as indústrias, a medicina, as pesquisas espaciais, a oceanografia e a agricultura, entre outras.

Na área da agricultura, os trabalhos que se utilizam do monitoramento automático de sensores no campo têm contribuído não-somente para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e para a preservação do meio ambiente. Em Howell et al (1984), estações climatológicas automatizadas forneciam dados para o controle de irrigação. O controle de pestes (Hubbard et al, 1983) e a previsão de geadas (Curry et al, 1981) são outros exemplos de aplicações onde as estações climatológicas automatizadas estavam presentes.

Além dos dados climatológicos, parâmetros do solo, como umidade, salinidade, pH e temperatura, bem como parâmetros das plantas, como crescimento, porcentagem de cobertura, taxa de fotossíntese e transpiração, são alguns exemplos de dados adquiridos automaticamente para diversas finalidades. Em Grismer (1992), propôs-se um modelo conceitual a uma rede de sensores integrados para o sistema solo-planta-atmosfera. Esse modelo foi criado para atender a grande demanda de dados necessários ao desenvolvimento de sistemas especialistas e modelos integrativos que auxiliam o gerenciamento da produção agrícola. Em Cockerham & Ortega (1989), uma rede de onze estações de campo foram instaladas para monitorar o potencial mátrico de água no solo, temperatura, condições do vento e o nível de reservatórios de água, a fim de controlar um sistema de irrigação e também fazer a previsão de geadas em uma estação experimental. Nesse mesmo trabalho foi proposta a instalação de sensores de segurança (detecção de portas, porteiros e janelas abertas), contadores de veículos e sensores para movimentação de insetos como integrantes da base de dados da estação experimental.

Nesses e outros trabalhos específicos da área agrícola ou não, diversos aspectos técnico-científicos foram observados, analisados e questionados. Como resultado, elaborou-se a Figura 2.1 que ilustra um sistema de aquisição de dados e controle genérico para aplicações na agricultura, onde estão exibidos os aspectos julgados mais relevantes para o desenvolvimento deste trabalho e que serão discutidos em detalhes, a seguir.

Figura 2.1 - Sistema genérico de aquisição automática de dados e controle para aplicações na agricultura.

2.2 SENSORES

O tipo, a quantidade e a localização dos sensores podem variar muito, de acordo com o propósito do sistema. Há aplicações que se restringem à utilização de dados climatológicos. Nesses casos, todos os sensores são agrupados em um único local. Nas estações climatológicas portáteis, as distâncias dos sensores ao microcontrolador são da ordem de centímetros. Usualmente, são sete os sensores monitorados: direção e velocidade do vento, temperatura e umidade do ar, precipitação, evaporação e radiação solar. Normalmente, apenas uma estação de campo é utilizada e a distância dessa estação às facilidades de um laboratório ou escritório para a instalação do microcomputador pode atingir alguns quilômetros. Outras aplicações necessitam do monitoramento de uma verdadeira rede de sensores, como é o caso do controle da irrigação por tensiometria (ver Apêndice C, sobre tensiômetros). Há sistemas comerciais que limitam o número de sensores em 10.000. Porém, em Cockerham & Ortega (1989), mencionou-se um limite prático entre 200 e 300 sensores, considerando-se a capacidade de processamento e armazenamento dos microcomputadores. A variabilidade espacial e temporal dos parâmetros agrícolas é o principal aspecto apontado em Grismer (1987) para defender um número elevado de sensores, porém não menciona números.

Quanto à localização, os sensores normalmente se encontram espalhados em uma área, que pode variar de dezenas até milhões de metros quadrados. Dependendo da área, várias estações de campo são estabelecidas para atenderem grupos de sensores. As distâncias entre as estações vão desde algumas dezenas de metros a alguns quilômetros. Quanto ao tipo, os sensores também apresentam grande variedade. A Tabela 2-I mostra alguns sensores utilizados em sistemas de aquisição de dados e controle na área agrícola e suas principais características. Essa tabela foi baseada, principalmente, em catálogos de produtos comerciais e em Tanner (1990).

Tabela 2-I Alguns sensores utilizados em sistemas de aquisição de dados e controle na área agrícola.

Variável	Unidade típica	Faixa de medida esperada	Sensores mais comuns	Faixa de acurácia e/ou valor típico	Comentários
Temperatura do ar	°C	-90 a +60 [1]	Termistores, termopares, semicondutores	$\pm 0,02$ a $\pm 0,5$ °C $\pm 0,25$ °C	A acurácia depende mais de fatores externos[2] do que do próprio sensor e da eletrônica envolvida
Umidade relativa	% UR	0 a 100	Adsorção de vapor sobre filmes de polímeros ou sobre espelhos com medidas de variação de capacitância e índice de reflexão, respectivamente [3]	± 1 a ± 5 % UR ± 2 % UR na faixa de 10 a 90% UR	É a variável mais difícil de ser medida com precisão e acurácia a longo termo. Os sensores requerem maior frequência de manutenção
Radiação solar	W/m ²	0 a 1400 [4]	Piranômetros de termopilhas ou fotocélulas de silício [5]	± 1 % a ± 5 % sobre a sensibilidade ± 3 %	Uma cúpula de quartzo protege o sensor de danos devido ao clima, filtra o espectro de ondas longas e padroniza o fluxo convectivo de calor na superfície do sensor diminuindo o efeito do vento
Velocidade do vento	m/s	0,2 a 60	Anemômetro de conchas rotativas, anemômetro de hélice	$\pm 0,1$ a ± 2 m/s $\pm 0,5$ m/s	Uma característica importante dos anemômetros é o limiar de propulsão, que varia entre 0,1 a 1 m/s [6]
Direção do vento	° (graus)	0 a 360	Cata-vento	$\pm 1^\circ$ a $11,25^\circ$ $\pm 5^\circ$	O limiar do cata-vento é definido como a velocidade do vento, que o coloca a menos de 5° da direção real, após um deslocamento inicial de 10°
Precipitação	mm	0 a 120 mm/hr	Pluviômetro do tipo balsa ou por peso	[7]	Há outros tipos de pluviômetros, porém menos comuns
Evaporação	mm	0 a 100 mm	Medida da variação do nível de água em um tanque de 1220 mm de diâmetro, com a superfície exposta	0,02 mm	A acurácia apresentada é a de um micrômetro, instrumento usualmente empregado para medir as variações do nível
Potencial mátrico de água no solo	kPa ou mmHg	0 a 80 kPa	Tensiômetro de cápsula porosa (Apêndice C), bloco de gesso [8]	$\pm 0,4$ kPa	A acurácia dos tensiômetros é limitada pela porosidade conseguida na confecção da cápsula porosa
Temperatura do solo	°C	-10 a 50 °C	Termistores, termopares, semicondutores	0,25 °C	A temperatura do solo não chega a atingir os mesmos extremos que a temperatura do ar

[1] - Esses limites estão baseados nos valores mínimos e máximos, historicamente registrados de -89°C , em Vostok, Antártica e 58°C , em El Azizia, Líbia (Riordan, 1985, citado por Baker, 1992).

[2] - A radiação solar, a condução térmica dos terminais de ligação, a constante de tempo do sensor, a velocidade do vento, são todos fatores que influenciam na divergência que existe entre a temperatura do sensor e a real temperatura do ar (Fritschen & Gay, 1979). Devido a esses fatores o sensor de temperatura do ar é sempre instalado em abrigos meteorológicos, a fim de reduzir esses efeitos. Erros menores que 1°C foram obtidos por McKay e McTaggart-Cowan (1977), utilizando uma blindagem com a forma de pratos empilhados, muito comum atualmente.

[3] - Há uma grande variedade de sensores de umidade relativa disponíveis comercialmente. Vinte tipos diferentes foram testados sobre condições de campo em Skaar et al (1989). Os resultados mostram desvios médios de até 15,3% UR e desvios padrão de até 5,5% UR para 90.000 medidas realizadas em temperaturas diferentes, variando de -15°C a 25°C .

[4] - Não foram encontradas especificações de faixa de medida para os piranômetros. Os valores apontados correspondem à ausência de radiação e à constante solar, definidas no glossário.

[5] - Os piranômetros medem a radiação de ondas curtas, segundo um ângulo sólido 2π .

[6] - O limiar de propulsão é definido como a menor velocidade na qual o anemômetro começa e continua a girar e produz um sinal mensurável, quando montado na sua posição normal. Essas e outras especificações das características dinâmicas dos sensores de vento (direção e velocidade) são discutidas por Mazzarella (1972). A American Society for Testing and Material estabeleceu testes em túnel de vento para anemômetros e medidores de direção, que são recomendados pela Environmental Protection Agency (EPA, 1989).

[7] - O erro de medida da precipitação total nos pluviômetros do tipo balsa aumenta com a intensidade da chuva. Durante o tempo de movimentação da balsa, uma parte da precipitação coletada não é computada. Quanto mais intensa a chuva, maior é sua porção perdida nessa transição. Esse erro pode ser diminuído se o volume da balsa for aumentado; porém, isso implica menor resolução da medida e aumento da área de coleta. O Dr. Alan Flint do U.S. Geological Survey, Mercury, NV, obteve fatores de correção de primeira ordem do volume de pluviômetros do tipo balsa, como função da intensidade de chuva. Ele também determinou que o diâmetro de 30.5 cm do coletor e o volume 0.2 mm da balsa oferecem o melhor compromisso entre a acurácia e a precisão.

[8] - Uma das desvantagens do bloco de gesso é a dependência da leitura com a salinidade do solo. Devem ser introduzidas correções nas leituras para esse fator.

2.3 ENLACES

Seja qual for o caso, sensores agrupados ou distribuídos, o monitoramento de sensores na área agrícola se caracteriza como um problema de telemetria. Como tal, as primeiras soluções para a transmissão de dados foram as convencionais, quais sejam, via cabos ou linhas telefônicas, como em Howell et al (1984), Grismer (1987) e Thomson & Threadgill (1987) e via rádio, como em Duke et al (1983) e Cromer & McLendon (1984). Uma terceira alternativa, mais recente e muito utilizada, é a transmissão por infravermelho, que exige uma linha de visibilidade entre o par transmissor e receptor (Pogue, 1992; Cockerham & Ortega, 1989 e Ahmed & Al-Amoud, 1993). Há também a possibilidade da combinação desses três métodos, cada um complementando o outro em níveis de enlaces diferentes.

2.3.1 Meio físico

Apesar do reduzido número das citações acima, elas representam o panorama atual de opções para o meio de comunicação de modo geral e na área agrícola. Tais opções podem ser divididas em:

- Sinais elétricos, analógicos ou digitais, através de cabos de cobre;

- Transmissões de rádio pelo ar ou espaço livre e

- Transmissão de luz visível ou infravermelha, através do ar ou fibras óticas.

2.3.1.1 Cabos

A transmissão via cabo é bastante versátil. Porém para que seja confiável, muitos cuidados devem ser tomados na instalação e manutenção dos condutores, principalmente em campo. Devem ser providenciadas proteções contra danos físicos em potencial (como tráfego de tratores e animais), contra as induções eletromagnéticas causadas por relâmpagos e contra outras interferências de ordem elétrica (como redes de alta tensão). O custo dos próprios condutores, adicionado ao custo dessas proteções, torna a

transmissão via cabo uma das opções mais onerosas dentre as citadas, caso o enlace seja maior que algumas dezenas de metros. O aproveitamento de instalações existentes, como linhas telefônicas e até mesmo a transmissão através da rede de distribuição de energia elétrica, torna esta opção viável para grandes distâncias.

2.3.1.2 Ondas de rádio

Convencional

Considera-se radiotelemetria convencional de superfície aquela que envolve pares de transceptores na faixa de frequência que vai desde 27 Mhz até alguns Ghz. Ela pode ser uma opção de custo moderado para médias distâncias (5 a 100 Km). Segundo Burton (1987), a confiabilidade da radiotelemetria é inferior às outras técnicas, devido à vulnerabilidade da antena e à susceptibilidade a radiointerferências. Em pequenos países, ela tem sido evitada, e quando utilizada, recomendam-se enlaces de curta distância, em torno de 5 Km. Os sistemas de longo alcance têm a desvantagem de dificultarem a alimentação via bateria, pois requerem maior consumo de energia e, conseqüentemente, maiores custos de manutenção. Enlaces de curto alcance podem ser complementados com a rede de telefonia. O uso da radiotelemetria tem também a desvantagem de requerer licença das autoridades competentes.

Radiotelemetria de baixa potência

O alto grau de integração conseguido atualmente, associado às montagens em superfície, possibilitou a construção de unidades modulares de radiotelemetria de baixa potência (da ordem de microwatts) para enlaces em torno de 20 Km (LOW power radio links, 1993). Tal alcance é atribuído ao aperfeiçoamento do receptor (“Sensitive double conversion receiver”). Esse avanço tecnológico, associado à mudanças na legislação, no sentido de permitir o uso deste sistema sem a necessidade de licença, pode tornar a radiotelemetria novamente uma opção viável na área agrícola.

Telefonia celular

A telefonia celular é uma das tecnologias emergentes mais promissoras para a transmissão de dados de médio a longo alcance (Devoney, 1994). A princípio, a comunicação digital via telefonia celular pode ser semelhante à conexão de dois *modems* via linha terrestre, ou seja, o sinal digital é codificado em tons de áudio, que correspondem aos valores binários “0” e “1”. Na prática, porém, há o problema da

susceptibilidade a radiointerferências inerentes da comunicação via rádio e o conseqüente aumento na taxa de erros. Com isso, as taxas de transferência são baixas (da ordem de 1200 bps) e não podem ser melhoradas com as mesmas técnicas de correção de erros e de comutação de velocidade empregadas para linhas terrestres. Algumas empresas têm procurado criar um protocolo próprio para resolver esse problema e taxas de transferência entre 7200 a 14400 bps já foram conseguidas. A questão é que, como soluções isoladas, tais protocolos não são compatíveis entre si e poucos o são com os protocolos já existentes para as linhas terrestres. A tecnologia celular digital no lugar da analógica apresenta tentativas de soluções universais, como é o caso da Celular Digital Packet Data (CDPD) proposta por um consórcio formado por oito empresas. O CDPD transmite dados em pacotes de 128 *bytes* a 19200 bps, durante períodos de inatividade da rede celular digital, que ocorrem em média 30% do tempo. O CDPD permite recursos automáticos de correção de erros e, conseqüentemente, as taxas de transferência efetivas são mais altas que as conseguidas com os *modems* analógicos. Ele também pode ser configurado para se comunicar com qualquer rede ou *modem* de linha terrestre. Sua desvantagem está no fato de a rede celular digital ser limitada nos EUA e ainda inexistente no Brasil.

Satélite

A transmissão via satélite é uma opção para os enlaces de longa distância. Porém, devido ao seu elevado custo em relação às alternativas de superfície e suas limitações técnicas, esta opção é pouco utilizada na área agrícola. O GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) e o Argos Data Collection System são os satélites comumente empregados. Tipicamente, a corrente drenada durante uma transmissão atinge de 2 a 3 A. A taxa de transmissão é limitada em 110 bauds, sendo 2 *bytes* de dados para um de controle. A programação usualmente concedida para as transmissões é de 1 minuto a cada 4 horas. A instalação de uma base Very Small Aperture Terminal (VSAT), incluindo o transceptor e a antena parabólica, tem um custo de aproximadamente US\$ 15.000,00. Unidades que transmitam a 9600 bps têm custo de instalação maior do que US\$ 50.000,00 e custos de tarifação em torno de US\$ 10,00 por minuto. O emprego de enlaces via satélite é bastante difundido na área da oceanografia (Frye & Owens, 1991), onde as alternativas de superfície são problemáticas.

2.3.1.3 Meios óticos

Infravermelho

O emprego da comunicação por infravermelho tem sido amplamente difundido na área agrícola (Feuer, 1986). O seu custo é o mais baixo entre as opções aqui apresentadas. A radiotelemetria, por exemplo, apresenta custos iniciais e de manutenção que variam entre 40 a 70% a mais do que sistemas por infravermelho, dependendo do número de estações de campo (Latimer & Reddell, 1990). O alcance da comunicação por infravermelho está em torno de 1 Km, porém ele pode ser ampliado através da instalação de estações repetidoras. Por exigir a visibilidade entre o par transmissor/receptor, os obstáculos naturais, como chuvas e nevoeiros, podem causar falhas na comunicação. Todavia, ela não está sujeita a radiointerferências e não requer licença de uso.

Laser

Uma solução mais ousada e que apresenta diversos aspectos práticos não-resolvidos é o emprego de sistemas de comunicação baseados em *laser* propagando-se no ar (Allison & Land, 1989). O seu alcance é bastante restrito, em torno de 300 m, e os custos de instalação e manutenção são elevados. As taxas de transmissão requeridas na área agrícola são bastante reduzidas e qualquer solução a *laser*, incluindo fibras óticas, justifica-se apenas pela imunidade a interferências e a raios. Os custos devem ser ponderados.

2.3.2 Topologias

Os enlaces 1 e 2 da Figura 2.1, entre a estação-base e o computador para tratamento e armazenamento dos dados e controle, e entre este e uma base de dados na Central de Armazenamento, usualmente são enlaces ponto a ponto e empregam linhas seriais no padrão RS-232 via cabo, rádio-*modem* ou linha telefônica.

No caso do enlace 3, observou-se que é geralmente multiponto e que a topologia adotada normalmente depende do meio de comunicação. De acordo com a classificação encontrada na literatura (Giozza et al, 1986), esse enlace pode ser estabelecido através de três tipos de topologia: em estrela, em cadeia (ou anel) e em linha.

2.3.2.1 Topologia em estrela

A topologia em estrela é indicada para a radiotelemetria. Nesse caso, a estação-base se comunica com cada estação de campo individualmente (Figura 2.2). Para

cada estação de campo existe um par de frequências, uma de transmissão e outra de recepção. A falha de uma estação de campo não compromete a comunicação com as demais.

Figura 2.2 - Topologia em estrela onde a estação-base se comunica com cada estação de campo individualmente.

2.3.2.2 Topologia em cadeia

A topologia em cadeia é aconselhada para a comunicação por infravermelho. Como mostra a Figura 2.3, nessa topologia a estação-base faz parte de uma cadeia fechada juntamente com as estações de campo. A estação-base, por um lado, transmite comandos para a primeira estação de campo, e por outro recebe dados da última estação de campo dessa cadeia. Os comandos possuem um identificador. Ao receber um comando, uma estação de campo verifica o identificador. Se este não corresponder ao seu código, a estação de campo repassa o comando para a estação seguinte. O processo de identificação se repete até que o comando encontre o seu destino. Cada estação de campo repassa os dados gerados até que encontrem a estação-base. A topologia em cadeia é mais econômica, porém se uma estação de campo deixar de operar, o enlace é rompido com todas as estações.

Figura 2.3 - Topologia em cadeia ou anel onde a estação-base e as estações de campo formam uma cadeia. Os comandos são repassados de uma estação para outra até ecoarem na estação-base (linha cheia). Somente a estação de campo identificada através de um código responde ao comando (linha pontilhada).

2.3.2.3 Topologia em linha

A topologia em linha é mostrada na Figura 2.4. Ela é própria de barramentos do tipo serial multiponto. Todas as estações são ligadas a um barramento único. A estação-base lança um comando, que é recebido por todas as estações de campo, simultaneamente. Assim como na topologia em cadeia, o comando é acompanhado de um identificador. Somente uma das estações de campo, aquela cujo código corresponder ao identificador, responde ao comando. Na topologia em linha, a falha de uma estação de campo não afeta a operação das demais estações. Outra vantagem da topologia em linha é permitir comandos universais, os quais são executados simultaneamente por todas as estações de campo. A radiotelemetria também pode ser implementada com topologia em linha. Nesse caso, um único par de frequências de transmissão/recepção é utilizado por todas as estações. A estação-base transmite na frequência de comando, que é recebida por todas as estações de campo ao mesmo tempo. De acordo com o identificador, somente uma estação de campo responde na frequência de resposta.

Figura 2.4 - Topologia em linha na qual todas as estações são ligadas a um barramento. Os comandos são recebidos simultaneamente por todas as estações de campo. Assim como na topologia em anel, um identificador determina qual estação de campo deve responder ao comando da estação-base, porém a falha de uma estação não compromete a comunicação das demais.

2.4 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PARÂMETROS NO CAMPO

Dados associados ao solo, plantas e condições atmosféricas sempre apresentam grande variabilidade no espaço e no tempo como explicado em Reichardt (1985). O grau de variabilidade depende de diversos fatores, como a topografia, a localização geográfica e inclusive a própria variável. Por exemplo, a radiação solar é espacialmente mais uniforme do que a precipitação. Recursos numéricos podem ser empregados para a estimativa de alguns parâmetros. O ideal, porém, é que os sistemas de aquisição de dados para a área da agricultura monitorem o maior número possível de sensores e na periodicidade apropriada ao acompanhamento da dinâmica dos processos em estudo. Na rede de sensores para o monitoramento automático de água no solo, proposta no trabalho já mencionado de Grismer (1992), foram instaladas quinze estações de campo, cada uma monitorando até cinco sensores de salinidade e de temperatura do solo. Em algumas estações, adicionalmente foram monitorados até oito sensores de umidade do solo. Não foi mencionada a periodicidade das leituras, porém pelo circuito apresentado é possível

afirmar que o intervalo entre as varreduras dos sensores é da ordem de minutos. Tal periodicidade é adequada à escala de tempo do movimento de água no campo.

No caso de estações climatológicas, recomenda-se o registro horário de dados obtidos pela média de parâmetros medidos a intervalos menores, da ordem de minutos ou até segundos, dependendo do parâmetro (Tanner, 1990). Essa recomendação foi feita em função de modelos sensíveis a escalas de tempo menores que um dia.

2.5 CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS ELETRÔNICOS NO CAMPO

A confiabilidade dos sistemas de aquisição automática de dados na área da agricultura é relativamente baixa. Tipicamente, eles requerem instalações em ambientes bastante agressivos e de difícil acesso. O emprego das técnicas de aquisição remota (telemetria) necessárias contribui para essa baixa confiabilidade.

De modo geral, tais sistemas estão sujeitos principalmente a problemas mecânicos, temperaturas extremas, umidades elevadas e interferências eletromagnéticas.

2.5.1 Problemas mecânicos

Um problema mecânico típico é, por exemplo, o rompimento de cabos, devido à queda de árvores ou ao esmagamento por máquinas agrícolas, no caso de instalações subterrâneas. Alguns cuidados no processo de instalação dos cabos e a manutenção preventiva podem reduzir sensivelmente os riscos de rompimento. Há ainda a possibilidade do alojamento de pequenos animais, insetos e folhas secas no interior dos equipamentos e/ou sensores, o que pode interferir no processo de medida. O emprego de telas e dispositivos para espantar os pequenos animais é comum na construção de instrumentos de campo. Aliados à verificação periódica dos equipamentos, eles compõem as principais medidas de precaução nesse caso.

2.5.2 Temperaturas extremas

Em temperaturas acima de 70° C e abaixo de 0° C, os circuitos eletrônicos para aplicações comerciais podem deixar de operar corretamente. Porém, não-somente as temperaturas extremas, mas também as grandes variações de temperatura em curtos períodos, são freqüentes no campo. Tais variações podem causar o mau funcionamento e a diminuição da vida útil dos circuitos eletrônicos. No trabalho de Grismer (1992), os circuitos foram acondicionados em caixas de *picnic* contendo pacotes de *blue ice* (bolsas

com um gel de alta capacidade térmica), a fim de manter a temperatura interna de seus compartimentos mais estável.

2.5.3 Umidades elevadas

As umidades elevadas e a exposição direta a chuvas, em muitos casos inevitável, têm seus efeitos eliminados por compartimentos selados e o uso de dessecantes, como sílica gel, no interior dos gabinetes (Tanner, 1990).

2.5.4 Descargas atmosféricas

As mais severas hostilidades no campo são as descargas elétricas naturais. Mais de 75% das falhas dos sistemas eletrônicos microprocessados para campo são causadas por induções eletromagnéticas (Electrical Overstress, EOS), originadas na sua maioria por relâmpagos (Urbieta, 1986). A probabilidade da incidência direta é baixa, porém os efeitos secundários, como as correntes induzidas nos cabos de comunicação, alimentação e sinal dos sensores, são freqüentes. Os níveis de energia envolvidos dependem da intensidade do raio, do comprimento do cabo e da distância entre eles. Os danos causados dependem do sistema atingido. Há níveis de energia que seriam tolerados por um sistema de alimentação CA, porém destruiriam os circuitos de entrada de um sistema de comunicação ou sinal. Assim, as proteções são distintas para cada caso. Os dispositivos de proteção mais freqüentemente utilizados se baseiam em supressores de transientes basicamente de três tipos: os varistores, os centelhadores à gás e os semicondutores. A Tabela 2-II mostra valores típicos das principais características de cada um desses dispositivos.

Tabela 2-II Principais dispositivos supressores de transientes utilizados em circuitos de proteção de linhas e alguns valores típicos de suas características.

	Tensão de disparo (V)	Corrente suportada (A)	Tempo de resposta (μ S)
Varistores	60 - 800	100-500	10^{-3}
Centelhadores à gás	150-1500	5000-20000	5-10
Semicondutores	7-200	5-10	10^{-3}

Os varistores são comumente empregados na proteção de linhas de alimentação AC. Os centelhadores, por apresentarem baixa capacitância parasita, são empregados em cabos de antenas e de comunicação. Os semicondutores também são utilizados em cabos

de comunicação além de cabos de sinal, porém, por não suportarem correntes altas, não atuam sozinhos e sim em um circuito multiestágio, como o da Figura 2.5.

Figura 2.5 - Circuito supressor de transientes multiestágio.

O primeiro estágio utiliza um supressor à gás, que é capaz de suportar correntes altas, mas seu tempo de resposta é lento. Com a atuação prévia do semiconductor, a impedância em série eleva a tensão no centelhador e ele começa a conduzir antes do tempo em que o faria normalmente, e também antes que o transiente atinja níveis de energia intoleráveis para o semiconductor.

Seja qual for o dispositivo de proteção, a idéia é desviar os transientes para um aterramento e manter os componentes do sistema no mesmo potencial em relação à terra. Se os componentes do sistema estiverem agrupados, como em uma estação climatológica, a recomendação é a interligação do mastro, do coletor de dados e da blindagem dos cabos dos sensores em um ponto comum onde o aterramento seja eficaz (Tanner, 1990). Se os componentes do sistema se encontram distribuídos, torna-se difícil generalizar as recomendações, pois elas dependem da complexidade da distribuição dos equipamentos. No caso de cabos de comunicação ponto a ponto de longa distância, a proteção é baseada em supressores de transientes em dois níveis. Uma proteção primária deve ser instalada no ponto de entrada do cabo no prédio e uma proteção secundária deve ficar próxima ao equipamento. Se o equipamento estiver a menos de um metro do ponto de entrada, a proteção pode ser única (Clark, 1989).

Figura 2.6 - Aterramento recomendado para barramento serial multiponto. A ligação pontilhada não é recomendada e, caso seja necessária, deve ser feita com cabo de, no mínimo, 3mm² de secção.

No caso de um barramento serial multiponto, recomenda-se o uso de supressores de transientes em cada ponto de comunicação. A interligação da linha de terra de sinal deve ser baseada no esquema da Figura 2.6. A linha de terra é conectada ao terra do circuito de controle da estação-base e, neste único ponto, ao aterramento desta estação. Nas estações de campo, a linha de terra deve ser ligada apenas ao terra do circuito de controle. Caso seja necessária a ligação da linha de terra ao aterramento das estações de campo, um cabo de no mínimo 3 mm² (12 AWG) deve interligar a estação de campo à estação-base (NR Systems, Inc. & Campbell Scientific, Inc., 1993). Dessa forma, os dois circuitos são mantidos no mesmo potencial, caso um deles receba um transiente.

2.6 ALIMENTAÇÃO

São raras as localizações de campo que dispõem de rede elétrica comercial confiável. As interrupções no fornecimento de energia no campo são mais frequentes e mais prolongadas do que na cidade. Adicionalmente, a rede elétrica é também uma das principais vias pelas quais os efeitos secundários dos relâmpagos danificam os equipamentos eletrônicos. Portanto, no caso de se optar pela utilização da rede elétrica comercial, deve-se empregar um sistema que minimize tais efeitos e possa suprir por períodos de algumas horas a energia interrompida. Os circuitos de proteção mais comuns nesses casos são compostos pelos varistores, como já visto anteriormente. Para suprir as interrupções no fornecimento de energia elétrica existem os equipamentos *no-break*, que podem operar com uma única bateria ou um banco de baterias chumbo-ácido, dependendo do consumo do sistema e do tempo de provisão estimado.

Atualmente, não é difícil o projeto de sistemas eletrônicos com consumo relativamente baixo. Por exemplo, um microcontrolador construído com tecnologia

CMOS consome tipicamente alguns miliampères (2 mA p/ o PIC16C56 @ 5V, 4Mhz), em modo de operação normal. Há, porém, modos de operação *standby*, que diminuem esse consumo para valores da ordem de microampères ($<3\mu\text{A}$ p/ o PIC16C56). Estes níveis de consumo propiciam o emprego de baterias para toda alimentação necessária a um sistema de aquisição. Com isso, ganha-se maior imunidade a transientes e, adicionalmente, maior portabilidade dos sistemas. A recarga das baterias geralmente é realizada através de painéis solares.

Uma restrição ao uso de baterias está na exposição a temperaturas extremas. As baterias de chumbo-ácido perdem a carga rapidamente, em temperaturas inferiores a 0 °C. Elas podem ser substituídas por baterias de níquel-cádmio, que operam bem em temperaturas baixas, até cerca de -30 °C.

2.7 MANUTENÇÃO

A manutenção de qualquer tipo de instrumentação é fator fundamental para a obtenção de dados confiáveis. No campo, esse procedimento é ainda mais crítico. Em Howell et al (1984), encontra-se uma lista de manutenções de rotina para estações climatológicas, que inclui desde simples verificações diárias até calibrações e substituições anuais. O piranômetro é um exemplo de sensor que deveria ser verificado diariamente devido à possibilidade de obstrução de luz na sua cúpula e conseqüentes leituras incorretas. Os pluviômetros também são freqüentemente visitados por insetos, que eventualmente morrem dentro do instrumento obstruindo e alterando o fluxo de água nas partes mecânicas do dispositivo. As baterias de chumbo-ácido, do tipo não-seladas, devem ser verificadas semanalmente e as seladas requerem substituição a intervalos da ordem de alguns meses. Os dessecantes devem ser verificados mensalmente. A calibração anual de todos os sensores é recomendada, em especial a dos piranômetros e anemômetros. No caso dos anemômetros com buchas nos mancais, as mesmas devem ser substituídas a cada dois anos. Nos sensores de umidade, é recomendada a substituição do elemento sensor a cada seis meses.

Os tensiômetros merecem especial atenção neste tópico, devido ao constante serviço de manutenção que envolve seu uso. Os tensiômetros têm que ser preenchidos com água entre três a sete dias de intervalo. O uso de sensores conhecidos como 'Watermark', baseados no princípio da variação da resistência com a umidade, é uma

alternativa que dispensa manutenções tão freqüentes (Thomson & Threadgill, 1987). A desvantagem desse tipo de sensor é sua dependência com a salinidade do solo.

Este panorama sobre os procedimentos de manutenção, principalmente os mais freqüentes, mostra que eles estão em desacordo com um sistema que se propõe a automatizar leituras para minimizar a presença humana na área experimental. Uma das alternativas é fazer com que tais procedimentos, quando possível, façam parte de uma verificação remota. O nível de tensão das baterias é um exemplo de sinal que pode ser constantemente monitorado remotamente. A própria leitura dos sensores pode ser um indicativo de defeito, como seria o caso de um sensor de temperatura indicando valores fora da faixa de leitura esperada. O rompimento da tensão de água na cápsula porosa dos tensiômetros também pode ser monitorado e gerar uma indicação da necessidade de completar o nível de água desses sensores.

3. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

3.1 INTRODUÇÃO

Como foi visto no Capítulo anterior, as distâncias envolvidas entre sensores e entre localidades, bem como a infra-estrutura inicialmente disponível, são fatores de grande relevância para o estabelecimento de um sistema de monitoramento remoto de variáveis no campo. Igualmente importante são as características de resolução e tipo de sinal fornecido pelos sensores e também o planejamento da distribuição e instalação dos mesmos na área experimental.

Também é essencial que sejam identificados subsistemas e que se estabeleçam as funções específicas de cada um deles, bem como a forma de integração dos mesmos.

Neste Capítulo esses aspectos serão expostos, discutidos e definidos, chegando-se a uma proposta de arquitetura e subsequente descrição detalhada de sua implementação.

3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES

A descrição apresentada a seguir pode ser melhor acompanhada através da Figura 3.1. Os cálculos do modelo LEACHMP devem ser executados no CNPDIA, em São Carlos-SP (47°05'W, 22°01'S e elevação média 850m). Os experimentos de campo estão sendo realizados a 130 km de São Carlos, na fazenda da Estação Experimental do IAC, em Pindorama-SP (48°55'W, 21°13'S e elevação média 562 m).

Em São Carlos, no CNPDIA, encontra-se instalada uma rede local, composta de uma estação de trabalho UNIX/RISC e microcomputadores. Para comunicações ponto a ponto, essa rede pode ser acessada via linha telefônica discada, além de estar ligada à *internet* via linha privada.

Na sede da fazenda, a infra-estrutura disponível também inclui o acesso a linha telefônica discada, além de ambiente adequado à instalação de um microcomputador e pessoal qualificado para a operação do sistema.

Figura 3.1 - Localidades, distâncias e infra-estrutura envolvidas no sistema.

A área experimental se situa a cerca de três quilômetros a sudoeste da sede da fazenda. Trata-se de um terreno plano com 2000 m², onde foram estabelecidos grupos de quatro parcelas de 11 por 3 m para cada experimento. A distância entre as parcelas é, em média, dois metros. A uma distância aproximada de 100 m da área experimental há a edificação de uma caixa d'água com cerca de 20 m de altura, onde há acesso a rede elétrica comercial. Entre a área experimental e a sede da fazenda encontra-se a rodovia Washington Luiz.

3.3 DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES

Neste item serão determinadas as localizações e a quantidade de cada sensor, em função das instalações descritas acima.

3.3.1 Sensores climatológicos

A área de alcance dentro da qual as medidas climatológicas são representativas depende da regularidade da topografia, da presença de obstáculos e da própria variável. Por exemplo, a radiação solar é mais uniforme do que a precipitação. A superfície da área experimental em questão pode ser considerada uniforme, além de não possuir obstáculos e ser relativamente pequena para que sejam detectadas variações significativas, até mesmo de precipitação. Essas considerações levaram ao estabelecimento de um único

conjunto de sensores para fornecer os dados climatológicos. Para tal, a estação climatológica desenvolvida no CNPDIA foi instalada no centro da área experimental (ficando entre os grupos de parcelas), proporcionando as seguintes leituras:

1. Velocidade do vento a 2 m de elevação;
2. Direção do vento a 2 m de elevação;
3. Temperatura do ar a 1,5 m de elevação;
4. Umidade relativa a 1,5 m de elevação;
5. Precipitação;
6. Evaporação e
7. Radiação solar global.

3.3.2 Sensores edáficos

No caso das variáveis do solo, os sensores devem, necessariamente, ser instalados dentro das parcelas. O procedimento usual no tipo de experimento em questão é a instalação de conjuntos de três sensores por parâmetro, cada sensor em uma determinada profundidade. Com essa conduta, procura-se obter leituras nas camadas de solo classificadas em pedologia como horizontes A e B e na interface entre eles. Com relação à quantidade, deve haver uma ponderação. Se por um lado o número de sensores deve ser o maior possível, por outro se deve evitar perturbações da área experimental. No caso, a dimensão das parcelas é relativamente pequena; portanto, decidiu-se instalar somente dois conjuntos de três sensores por parcela, um conjunto para cada parâmetro (temperatura e potencial mátrico da água no solo). Como cada experimento é realizado em grupos de quatro parcelas, a quantidade dos sensores para solo ficou a seguinte:

- 4 sensores de temperatura no solo na profundidade de 15 cm
- 4 sensores de temperatura no solo na profundidade de 30 cm
- 4 sensores de temperatura no solo na profundidade de 60 cm
- 4 sensores de potencial mátrico na profundidade de 15 cm
- 4 sensores de potencial mátrico na profundidade de 30 cm
- 4 sensores de potencial mátrico na profundidade de 60 cm

As profundidades foram escolhidas em função de experimentos anteriores, realizados para determinar as profundidades dos horizontes A e B.

A distribuição sugerida implica distâncias entre sensores que variam de 0,2 m (entre sensores do mesmo conjunto) até cerca de 4 m (entre as parcelas e entre estas e os sensores climatológicos).

3.4 DESCRIÇÃO DOS SENSORES

Uma vez estabelecidas a quantidade e a localização dos sensores, devem ser conhecidos, principalmente, o tipo de sinal fornecido e a resolução de cada um deles. Essas informações determinarão as características do circuito de leitura. No caso dos sinais analógicos, serão determinadas a resolução e a faixa dinâmica do conversor analógico/digital, e no caso dos sinais digitais, será determinado o número de portas necessárias e a forma de leitura. Nessa oportunidade, serão descritos os detalhes de construção e funcionamento dos sensores.

Figura 3.2 - Sensor de velocidade do vento. Trata-se de um anemômetro do tipo conchas rotativas, acoplado a um disco perfurado que intercepta um feixe de luz infravermelho. O sinal elétrico fornecido são pulsos cuja frequência corresponde à velocidade do vento.

3.4.1 Velocidade do vento

O sensor de velocidade do vento é um anemômetro do tipo *conchas rotativas* (Figura 3.2). Um disco perfurado, montado no eixo que sustenta as conchas, interrompe o feixe de luz de um par transmissor/receptor de infravermelho, transformando em

impulsos elétricos o movimento de rotação das conchas. A frequência desses impulsos é diretamente proporcional à velocidade do vento. O sensor utilizado fornece 30 pulsos por revolução no formato TTL e sua resolução é 0,1 m/s. Esse tipo de sensor apresenta grande sensibilidade e baixo limiar de propulsão, além de ser pequeno e leve, o que facilita sua instalação.

3.4.2 Direção do vento

Como o sensor de velocidade, o sensor de direção também possui um disco acoplado ao eixo que sustenta o direcionador, porém o disco é demarcado radialmente, com cinco faixas codificadas com regiões transparentes e opacas. Dependendo da direção do vento, essas faixas interceptam ou não feixes de luz de cinco pares transmissores/receptores de infravermelho (Figura 3.3). Os sinais elétricos de saída fornecem um valor digital de cinco *bits* em nível TTL, que indica diretamente a direção do vento. A codificação das faixas é feita de tal forma que, na mudança de valores, somente um *bit* se altere (código *gray*). Isso evita a possível geração de leituras erradas quando os feixes de luz atravessam a transição das codificações demarcadas no disco. A resolução desse sensor é 11.25°.

Figura 3.3 - Sensor para direção do vento. Um disco codificado com código *gray* e cinco pares transmissores/receptores de luz infravermelha fornecem a direção diretamente na forma binária.

3.4.3 Temperatura do ar

Para a temperatura do ar foi utilizado um sensor baseado em resistor de platina (PT-100). Um circuito condicionador de sinal fornece um sinal analógico de 0 a 200 mV, que corresponde à faixa de temperatura de 0 a 80° C e sua resolução é 0,1° C.

3.4.4 Umidade do ar

O sensor de umidade do ar é do tipo capacitivo. Ele também já possui um circuito condicionador de sinal e sua saída é analógica de 0 a 200 mV, correspondendo à faixa de 0 a 100% de umidade relativa. Sua resolução é 3 % UR.

3.4.5 Precipitação

A medida da precipitação é feita por um pluviômetro do tipo balança (Figura 3.4). Trata-se de um pequeno recipiente alongado, subdividido em dois compartimentos e sustentado por um eixo horizontal abaixo do seu centro de gravidade. O conjunto está sempre tombado para um dos lados e um dos compartimentos fica elevado, pronto para ser enchido. Um funil capta e dirige a água coletada para o compartimento elevado.

Figura 3.4 - Medidor de precipitação, trata-se de um pluviômetro tipo balança cujo sinal elétrico de saída é um pulso TTL para cada 0,1 mm chuva.

Quando o compartimento elevado se enche, a balança tomba para o outro lado, elevando o compartimento vazio e derramando a água do compartimento cheio. Esse movimento se repete a cada vez que o compartimento que está elevado se enche. Um

ponteiro acoplado ao eixo intercepta o feixe de luz de um par transmissor/receptor de luz infravermelha, produzindo um pulso em nível TTL para cada movimento da báscula. O volume dos compartimentos, e portanto cada pulso detectado, corresponde a 0,1 mm de chuva. Um contador de pulsos mede a precipitação acumulada, até ser zerado para nova contagem.

3.4.6 Evaporação

Foi utilizado um medidor de volume baseado em um transdutor resistivo, mergulhado em um tanque classe A. O transdutor foi montado em ponte de Wheatstone e alimentado por tensão alternada, a fim de minimizar os efeitos de eletrólise. Nesse caso, também há um circuito condicionador de sinal, fornecendo um sinal analógico de 0 a 1999 mV que corresponde à faixa de 0 a 199,9 mm, com resolução de 0,1 mm.

3.4.7 Radiação solar

Um piranômetro do tipo estrela (Figura 3.5)  usado para medir a radiação solar global direta e difusa no plano horizontal (Escobedo et al, 1988). O sensor é uma termopilha diferencial preta-branca, na forma de disco, com 22 mm de diâmetro. Uma cpula de quartzo protege o disco sensor. Ele fornece uma tensão contínua proporcional à intensidade de radiação. Essa tensão deve ser dividida pela constante de calibração $1,32 \times 10^{-6} \text{ V.m}^2/\text{W}$, estabelecida na confecção do sensor, para que se obtenha a radiação solar global em W/m^2 . A linearidade desse instrumento  1,5 %.

Figura 3.5 - Medidor de radiação solar, trata-se de um piranômetro tipo estrela, cujo sinal de saída é um nível de tensão proporcional  radiação solar global direta e difusa.

3.4.8 Temperatura do solo

Para as medidas de temperatura no solo adotaram-se transdutores integrados, de fabricação da National Semiconductors, que dispensam calibração e são insensíveis às variações da tensão de alimentação. Os transdutores foram montados em uma haste cilíndrica de aço inoxidável, a fim de facilitar sua inserção no solo. Na extremidade da haste onde está o sensor se acrescentou uma ponteira de latão, isolada termicamente da própria haste com um espaçador de náilon. O latão, por ser bom condutor de calor, melhora o contato térmico do sensor com o solo e o náilon minimiza a possível influência do calor transmitido pela haste na medida. O sinal de saída fornecido pelo sensor é analógico e vai de 0 a 1000 mV, correspondendo à faixa de 0 a 100° C, com resolução de 0,5 ° C.

3.4.9 Potencial mátrico da água no solo

O potencial mátrico da água no solo é medido indiretamente, por um transdutor de pressão acoplado a um tensiômetro de cápsula porosa. O transdutor adquirido funciona com células de carga assentadas em uma membrana de aço inoxidável. Ele já incorpora um circuito condicionador de sinal, que compensa possíveis efeitos da temperatura no sinal de saída. Seu invólucro tem formato cilíndrico e também é de aço inoxidável. O acoplamento hidráulico é do tipo rosca interna, no padrão NPT de 3/8" fêmea. O sinal de saída também é analógico na faixa de 1 a 6 V, que corresponde a -775,725 a +775,725 mmHg, com resolução de 3 mmHg.

3.5 ARQUITETURA IMPLEMENTADA

Conhecidas as localidades, as distâncias e os sensores e baseando-se no que foi exposto no Capítulo 2, implementou-se a arquitetura da Figura 3.6. A rede local no CNPDIA se comunica com a sede da fazenda via linha telefônica discada, utilizando *modems* analógicos convencionais. Nesse enlace, a transmissão de dados é esporádica, ocorrendo normalmente uma vez por semana e, portanto, é plenamente atendida dessa forma. Na sede, um microcomputador compatível com a marca IBM-PC fecha esse primeiro enlace. O segundo enlace, entre o microcomputador da sede e a estação-base na área experimental, foi implementado com rádio-modem. A existência da rodovia Washington Luiz, como obstáculo de superfície entre a sede da fazenda e a área experimental, foi um fator decisivo para a opção pelo enlace via rádio. Ao contrário do enlace telefônico, neste segundo enlace a comunicação de dados será constante. Na área experimental, a estação-base faz a ponte entre o rádio-*modem* e as estações de campo, que

estão ligadas em um barramento serial multiponto, na topologia em linha, implementado com o padrão de comunicação digital RS-485. A estação-base é essencialmente um conversor do padrão RS-232, do lado do *modem*, para o padrão RS-485, do lado do barramento serial multiponto. Com relação à adoção do padrão RS-485, foram feitas as seguintes considerações:

1. Há a possibilidade de leitura de um número teoricamente ilimitado de sensores, se forem usados repetidores no barramento;
2. As pequenas distâncias envolvidas entre os sensores são adequadas ao padrão (especificado para até 1200 m) e não tornam oneroso o uso de cabos;
3. A taxa de transferência de 100 kbps especificada para o padrão é suficiente para atender ao intervalo de leitura da ordem de minutos;
4. O emprego de um único cabo implica economia, facilidade de instalação e utilização em um sistema para campo e
5. A possibilidade da detecção e correção de erros oferecida pela comunicação digital implica maior confiabilidade das medidas.

A pequena distância, a disponibilidade de rede elétrica comercial e a altura adequada para instalação de uma antena levaram ao aproveitamento da edificação da caixa d'água como parte integrante do sistema. Nela foi preparada uma sala, que além de servir como abrigo à estação de campo, ao rádio-*modem* e a um *no-break*, também tornou-se um lugar adequado para montagens e manutenções locais. O *no-break* fornece alimentação para toda a instrumentação da área experimental.

3.6 SUBSISTEMAS

Nesta arquitetura identificaram-se três subsistemas, os quais receberam denominações para serem facilmente identificados daqui em diante.

São eles:

- Os sensores, a instrumentação e as instalações pertinentes à área experimental, denominados de *Posto de Coleta de Dados*;
- O conjunto de equipamentos e instalações na sede da fazenda, designados de *Unidade Remota de Armazenamento* e
- As facilidades computacionais do CNPDIA, que passam a ser chamadas de *Central de Armazenamento e Processamento*.

Figura 3.6 - Arquitetura implementada.

3.6.1 O Posto de Coleta de Dados

As funções do Posto de Coleta de Dados se resumem na aquisição dos dados e sua transmissão para a Unidade Remota de Armazenamento.

3.6.1.1 Aquisição dos dados (Transmissor Digital Inteligente, TDI)

Como consequência da adoção do barramento RS-485, os sinais dos sensores devem ser convertidos para a forma digital o mais próximo possível de cada um deles, a fim de serem mantidas as vantagens desse meio de comunicação. Para tal, foi desenvolvido um circuito simples, compacto, robusto e de baixo consumo, baseado na família PIC16CXX de microcontroladores com arquitetura RISC, fabricação da Microchip Technology, Inc. . O diagrama em blocos desse circuito, denominado Transmissor Digital Inteligente (TDI), pode ser visto na Figura 3.7. Observe-se que cada TDI faz a leitura de um único sensor, ou seja, para cada sensor deve haver um TDI a ele associado. O custo de cada TDI está estimado em US\$30.

Figura 3.7 - Diagrama em blocos do circuito Transmissor Digital Inteligente (TDI).

Dentre os microcontroladores da família PIC, o que melhor atendeu às necessidades de tamanho de memória, quantidade adequada de portas de entrada e saída e dimensões foi o modelo 16C56. Associadas a várias outras características interessantes, algumas comuns a toda a família e outras exclusivas desse modelo, destacam-se as seguintes:

- 1 k x 12 bits de memória de programa interna (ROM ou EPROM);
- 25 x 8 bits de RAM interna;
- 12 pinos, programáveis individualmente como entrada ou saída;
- 1 contador interno de 8 bits, com pré-divisor (*prescaler*) programável;
- *Power on reset*;
- *Watch dog timer* (WDT);
- Baixo consumo (2 mA com oscilador de 4 Mhz) e

- Temperatura de operação: 0 a 70° C.

O conversor analógico/digital é o circuito integrado CA3162, fabricação da RCA. Suas principais características são:

- Alimentação única de 5 VCC;
- Faixa de entrada de -99 mV a 999 mV;
- Resolução de 1 mV (0,1% sobre o fundo de escala);
- Conversão por rampa dupla com referência e temporização internas;
- Taxa de conversão de 96 Hz (10,4 mS) e
- Saída em BCD (3 dígitos multiplexados).

Como transceptor para o padrão RS-485, foi adotado o circuito integrado DS3695, fabricado pela National Semiconductors, Inc. especificamente para essa finalidade. Algumas características desse CI são:

- Até 32 dispositivos em um único barramento (com o uso de repetidores, esse número pode ser aumentado indefinidamente);
- Transmissão em modo diferencial (maior imunidade a ruídos, de modo comum);
- Tolerância a contenção e falhas do barramento e
- Comprimento da linha de até 1200 m, na velocidade máxima de 100 kbps.

Vistas as características gerais dos TDIs, serão discutidos detalhes do desenvolvimento do *hardware* e *software* desses dispositivos.

3.6.1.1.1 Descrição do hardware

A Figura 3.8 apresenta o esquema elétrico dos TDIs. A alimentação é distribuída na tensão de 24 VCC através do cabo de comunicação, porém em vias separadas das vias de dados. Na entrada do TDI esta tensão é regulada para 5 volts, que é o único nível de alimentação necessário aos circuitos internos. No caso de algum tipo de sensor requerer outros níveis de tensão, foi reservado espaço para um conversor CC/CC no *lay-out* da placa de circuito impresso.

O microcontrolador opera com cristal na frequência de 4 Mhz. Do total de seus 12 pinos de entrada e saída, 4 são ligados ao transceptor, sendo um para transmissão de dados, outro para recepção e dois para habilitar individualmente a transmissão ou a recepção. Os 8 pinos restantes estão ligados ao conversor A/D. Um controla o início e o fim da conversão, 4 são entradas para leitura dos dígitos em BCD e três identificam o dígito lido. No caso dos sensores de direção do vento, velocidade do vento e pluviômetro, por fornecerem sinais já na forma digital, os seus TDIs foram montados sem o conversor A/D e as portas redistribuídas conforme a necessidade de cada caso. O pluviômetro utilizou a entrada do contador interno do PIC (pino RTCC), que é uma entrada independente das portas.

Figura 3.8 Esquema elétrico do TDI (Transmissor Digital Inteligente)

A placa de circuito impresso dos TDIs tem 8 x 5 cm. Para os sensores edáficos, ela foi montada em caixa de alumínio fundido com dois compartimentos. No interno, ficam a placa e o acoplamento do transdutor e no externo, o borne de conexão ao barramento de comunicação. A idéia dessa divisão em compartimentos foi proporcionar uma montagem hermética e oferecer isolamento eletromagnético entre os cabos de entrada e o circuito. No caso dos sensores climatológicos, as placas foram montadas dentro do gabinete da estação. A Figura 3.9 mostra uma vista explodida da montagem do TDI de temperatura no solo.

Figura 3.9 - Vista explodida do TDI para temperatura no solo.

3.6.1.1.2 Descrição do software

O programa de controle dos TDIs foi totalmente escrito em linguagem montadora (*assembly*). O compilador utilizado foi fornecido pela própria Microchip, o qual inclui suporte para expansão de macros, um recurso que foi bastante utilizado.

Um fluxograma simplificado do programa é mostrado na Figura 3.10. O *loop* principal verifica constantemente a recepção de um comando válido e providencia sua execução. São três os comandos possíveis:

- Reset do TDI;
- Realizar uma aquisição e
- Transmitir dados.

As rotinas que executam os comandos acima, bem como as de iniciação, são dependentes do sensor. Ao contrário, as rotinas que cuidam da comunicação de dados, da implementação do protocolo de comunicação (que será discutido oportunamente) e da conversão de formatos são independentes. Como o compilador não possui recursos para a criação de bibliotecas, trabalhou-se em dois tipos de arquivos: a) um arquivo de inclusão (*include file*) para as rotinas independentes e b) um arquivo individual para cada tipo de sensor, que ao ser compilado deve incluir o arquivo independente. No Apêndice D, encontram-se as listagens do arquivo independente, chamado *tdi.inc*, e do arquivo dependente, *tditemp.asm*, para o sensor de temperatura no solo.

Figura 3.10 - Fluxograma simplificado do programa de controle dos TDIs

O microcontrolador não dispõe de qualquer circuito para passar dados para a forma serial, como *shift registers* ou UARTs. Portanto, a transmissão e recepção serial foram implementadas via *software*, baseadas em chamadas de *delays*. As rotinas que executam esta tarefa fazem parte das rotinas independentes relacionadas abaixo:

- ⇒ **receive:** Recebe um caracter pelo barramento serial
- ⇒ **transmit:** Transmite um caracter pelo barramento serial
- ⇒ **recebe_quadro:** Monta um pacote de acordo com o protocolo
- ⇒ **confere_quadro:** Verifica o *checksum* e endereço destino do pacote recebido
- ⇒ **decodifica_comando:** Decodifica e providencia a execução do comando
- ⇒ **bin_to_hexa_ascii:** Converte o *nible* (4 bits) inferior de um *byte* para hexadecimal, representado-o em ASCII
- ⇒ **hexa_ascii_to_bin:** Converte um dado hexadecimal representado em ASCII para um número binário
- ⇒ **binbcd:** Converte um número binário em BCD de três dígitos
- ⇒ **main:** Verifica a chegada de um caracter e dispara os devidos processos subseqüentes

Além das rotinas já mencionadas, entre as rotinas dependentes está incluída a execução de qualquer processo que possa ser executado em *background*, e que não exceda 136 instruções de máquina para não interferir na temporização das rotinas de serialização. Como parte desse processo, está a execução periódica das instruções de configuração das portas de entrada e saída, o que em conjunto com o WDT faz parte da recuperação de falhas dos TDIs. Os ruídos de linha que eventualmente atinjam os TDIs podem alterar o conteúdo dos registradores internos do microcontrolador. O WDT é eficaz na restauração da seqüência da programação, mas ainda é possível que sejam alterados somente os registradores associados ao controle de entrada e saída. Nesse caso, a reprogramação periódica da configuração desses registradores garante a operação correta das portas e dos periféricos a elas associados.

As rotinas dependentes são as seguintes:

- ⇒ **init:** Realiza a configuração das portas de entrada/saída e do WDT

- ⇒ **user**: Executa qualquer rotina de background que não exceda 136 instruções de máquina (incluindo a reprogramação periódica da configuração das portas de entrada e saída), por exemplo, piscar um LED (diodo emissor de luz) como indicação de funcionamento normal.
- ⇒ **user_T**: Transmissão da última leitura realizada
- ⇒ **user_G**: Execução de instruções específicas de cada TDI relativas a aquisição
- ⇒ **user_R**: Execução de instruções específicas de cada TDI relativas ao *reset* (Ex: zerar contador do pluviômetro)
- ⇒ **adc**: Rotina de leitura da variável. (No caso dos sensores analógicos, é a rotina de conversão analógico/digital e no caso dos sensores digitais, é a leitura dos registros ou portas a eles associados).

Os 25 *bytes* de memória RAM foram alocados pelas variáveis do programa. Para o protocolo foram necessários 14 *bytes*, para a comunicação de dados 4 *bytes*, para o armazenamento da leitura do sensor 4 *bytes*, para uso geral 2 *bytes* e para o estado do TDI reservou-se 1 *byte*. Nesta variável de estado cada *bit* indica uma das seguintes situações:

RESET: O TDI acaba de ser ligado ou recebeu um comando de *reset*

HARD: Ocorreu uma falha de *hardware* (como sinal do sensor fora da faixa de entrada do conversor)

CHECK: O *checksum* do último comando recebido não conferiu

UNIV: O último comando recebido é universal

TXTED: A última leitura já foi transmitida

(Os 3 bits restantes não foram utilizados).

Estas indicações são necessárias para controle interno do fluxo do programa do TDI e também para controle externo do sistema, quando refletidas nos devidos campos do protocolo de comunicação.

3.6.1.2 Transmissão dos dados para a Unidade Remota

Como já mencionado, é através da estação-base que ocorre a transmissão dos dados para a Unidade Remota. Sua função é controlar duas portas de comunicação serial, uma no padrão RS-232 e outra no padrão RS-485. Na porta RS-232 está conectado o rádio-modem do enlace com a Unidade Remota. Na porta RS-485 estão conectados os

TDIs. Os comandos são transmitidos pela Unidade Remota, recebidos pelo rádio-modem no padrão RS-232 e convertidos pela estação-base ao padrão RS-485. As respostas que os TDIs colocam no barramento fazem o caminho inverso, ou seja, são recebidas na porta RS-485, convertidas para o padrão RS-232 e seguem para a Unidade Remota via rádio-modem.

A estação-base também foi construída com um microcontrolador da família PIC. No seu programa estão incluídas rotinas de manutenção do enlace de rádio. Essas rotinas permitem a transmissão periódica ou o eco de pacotes do protocolo específicos para testes.

3.6.2 A Unidade Remota de Armazenamento

A princípio, a estação-base poderia se comunicar diretamente com o CNPDIA. Foram três os principais motivos que levaram à instalação de um nó intermediário, a Unidade Remota de Armazenamento, na sede da fazenda. Primeiramente, era a localidade mais próxima com acesso imediato a linha telefônica; em segundo lugar, considerou-se a presença constante no local de pessoal treinado em informática para verificações mais freqüentes da operação do sistema e em terceiro lugar a disponibilidade desse microcomputador na sede da fazenda poderia ter outras utilidades para o projeto.

As funções estabelecidas para a Unidade Remota de Armazenamento são:

1. Controlar, via rádio-modem, a aquisição de dados no Posto de Coleta;
2. Verificar a consistência dos dados;
3. Permitir a complementação de dados com entradas manuais;
4. Armazenar localmente os dados adquiridos em memória de massa e
5. Transmitir os dados para a Central de Processamento, quando solicitado.

O diagrama da Figura 3.11 mostra a estrutura de *software* montada para a execução dessas funções.

3.6.2.1 Programa de controle

Para executar as quatro primeiras funções foi desenvolvido um programa em linguagem C para o ambiente gráfico *Windows*, com a utilização do pacote integrado de desenvolvimento *Borland C++ versão 3.1*. A tela principal do programa é mostrada na Figura 3.12. Nele foi utilizada a técnica de *Multiple Document Interface* (MDI), com a

abertura de 6 janelas filhas. Quatro delas estão associadas às parcelas em uso na área experimental, uma está associada à estação climatológica e a sexta janela mostra mensagens para o operador.

Figura 3.11 - Estrutura de *software* na Unidade Remota de Armazenamento e os principais arquivos envolvidos.

Cada sensor instalado na área experimental está representado por um símbolo gráfico (ícone), dentro da janela correspondente. Junto a cada ícone são mostrados a descrição do sensor, sua leitura em tempo real e o código de identificação do respectivo TDI no barramento. O acionamento dos ícones abre a janela de diálogo mostrada na Figura 3.13, que permite reconfigurar o código e a descrição do sensor, a faixa de leitura válida e se ele está ou não em operação.

Figura 3.12 - Tela principal do programa de controle do sistema, que é executado na Unidade Remota de Armazenamento.

Figura 3.13 - Janela de diálogo para configuração de alguns parâmetros da aquisição relativos aos sensores.

Outras cinco janelas de diálogo são ativadas através de menus. São elas:

- I. Configuração dos parâmetros gerais da aquisição, quais sejam:
 - A. Código da área (código para o grupo de parcelas do experimento atual)
 - B. Intervalo de leituras (para efeito de acompanhamento na tela)
 - C. Intervalo de armazenamento (para efeito de armazenamento em disco)
- II. Configuração da interface de comunicação (permite reconfigurar os parâmetros da linha serial à qual está ligada o rádio-modem):

- A. Número da interface (com1,com2 etc.)
 - B. *Baud rate* (1200 a 19200 bps)
 - C. Paridade (par, ímpar ou sem-paridade)
 - D. Número de *stop bits* (1, 1.5 ou 2)
 - E. Tamanho dos *buffers* de transmissão e recepção
 - F. Número de tentativas de recuperação de falhas na transação de pacotes de comunicação do protocolo.
- III. Descrição do experimento como um todo e das atividades específicas em cada parcela.
- IV. Entrada de dados manuais sobre a aplicação de pesticidas:
- A. Data da aplicação
 - B. Número da parcela
 - C. Tipo de pesticida aplicado
 - D. Concentração da solução
 - E. Quantidade aplicada
- V. Entrada de dados manuais sobre aplicação de chuvas artificiais:
- A. Data da aplicação
 - B. Número da parcela
 - C. Duração da chuva
 - D. Intensidade da chuva.

O arquivo de dados gerado (Apêndice D) consiste de tabelas diárias, organizadas por parcelas, mais a estação climatológica. Ele é atualizado diariamente à meia noite e fechado no último dia de cada mês, quando então um novo arquivo é automaticamente criado. A atualização diária se dá através da concatenação de arquivos parciais, referentes a cada parcela, gravados no intervalo de armazenamento programado. O nome do arquivo de dados tem o formato:

arxxmmaa.ur

onde *xx* é o código da área experimental, *mm* o mês e *aa* o ano. Um arquivo referente à área 1 no mês de março de 1995 será gravado como *ar010395.ur*.

Além do arquivo de dados, há mais três arquivos gerados pelo programa:

- ⇒ **config.ur:** contém todas as informações sobre a configuração do sistema e é gravado no formato ASCII, no encerramento do programa. Dessa forma, ele pode ser alterado externamente, por um editor de textos, antes da próxima execução
- ⇒ **log.ur:** contém as mesmas mensagens geradas para o operador na janela de mensagens
- ⇒ **frames.ur:** neste arquivo são registrados todos os pacotes transmitidos e recebidos pelo protocolo de comunicação. Uma opção de menu permite ativar ou desativar a gravação deste arquivo.

No programa foram utilizadas as técnicas de programação conhecidas como: alocação dinâmica de memória, recursividade e código reentrante.

3.6.2.2 Programa de comunicação

O programa de controle foi desenvolvido para o ambiente Windows, não-somente pela facilidade de operação oferecida, mas também por ele ser multitarefa. Sendo assim, é possível rodar o programa de controle e outras aplicações simultaneamente. Por isso, o programa de controle não inclui a transmissão de dados para a Central de Armazenamento. Essa tarefa é realizada por um programa de comunicação remota dedicado a essa tarefa. Por se tratar de uma aplicação de uso geral, são oferecidos vários programas desse tipo no mercado. Para este projeto foi adquirido o programa PCanywhere para o Windows.

Os serviços de comunicação oferecidos pelo PCanywhere incluem seis protocolos de transferência de arquivos: Xmodem, Ymodem, Zmodem, Kermit, ASCII e proprietário. O protocolo proprietário é sempre utilizado entre seções do PCanywhere, no caso, entre a Unidade Remota e a Central de Processamento. Os demais protocolos atendem à transferência de arquivos entre a Unidade Remota e sistemas diversos. À exceção do ASCII, todos os outros protocolos utilizam métodos de detecção e correção de erros e o protocolo proprietário pode ser configurado para realizar a compressão dos arquivos por *software* durante a transferência.

3.6.3 A Central de Armazenamento e Processamento

A Central de Armazenamento e Processamento tem como funções solicitar a transferência dos dados à Unidade Remota e armazenar esses dados de forma definitiva em uma base de dados edafo-ambientais. Dessa forma, os dados ficam disponíveis ao programa de modelamento LEACHMP e também para o acesso “on-line” da comunidade científica. Adicionalmente, foi possível fazer com que a Central de Armazenamento exerça o controle e monitoramento remoto da Unidade Remota. O diagrama da Figura 3.14 mostra a estrutura de *software* montada para a execução dessas funções.

Figura 3.14 - Estrutura de *software* na Central de Armazenamento e os principais arquivos envolvidos.

3.6.3.1 Transferência dos dados

Na Central de Armazenamento os dados são solicitados à Unidade Remota através do PCanywhere. Eles são recebidos e armazenados ainda no formato *ASCII*. Apesar do PCanywhere ser executado em um microcomputador PC, um programa de conectividade permite que essa transferência se faça diretamente para o disco da estação de trabalho, através do serviço NFS, sobre o protocolo TCP/IP. Esse serviço permite que um diretório da estação seja visto pelo microcomputador PC como uma de suas unidades lógicas.

3.6.3.2 Base de dados edafo-ambientais

Para o armazenamento definitivo dos dados e posterior acesso aos mesmos, foi desenvolvido na estação de trabalho um programa para o gerenciamento de uma base de dados edafo-ambientais. Tal programa foi escrito em linguagem C e é executado no ambiente *X-Window*. Ele utiliza rotinas do pacote de domínio público CBASE (Apêndice F). Os arquivos de dados são convertidos do formato ASCII para o formato interno dos registros da base e incorporados a ela por um comando de menu. Os arquivos da base possuem a extensão DAT e normalmente são anuais. O programa permite o acesso aos registros em forma de tabelas, bem como na forma gráfica. A Figura 3.15 mostra algumas janelas do programa. Uma das opções de menu é a geração do arquivo de dados de entrada para o programa LEACHMP.

3.6.3.3 Controle remoto

O PCanywhere, além de ser um programa de comunicação, é também um programa de controle remoto. O serviço de controle remoto permite que o microcomputador da Unidade Remota se torne um hospedeiro (*host*) para um outro PC (*guest*) que a ele se conecte via *modem*. Ao se tornar um hospedeiro, o microcomputador da Unidade Remota pode ser totalmente operado pelo microcomputador da Central de Armazenamento, como se o operador estivesse sentado à sua frente. Com isso, além da transferência de arquivos, é possível o monitoramento das leituras, a reconfiguração dos parâmetros da aquisição e a entrada dos dados manuais de maneira remota.

Figura 3.15 - Telas do programa desenvolvido para gerenciamento da base de dados edafo-ambientais gerados pelo sistema. O programa é executado na estação de trabalho em ambiente UNIX System V, com interface gráfica X-Window.

3.7 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

O padrão RS-485 foi desenvolvido pela Electronics Industry Association (EIA) em 1983 para atender as necessidades de comunicação multiponto. A EIA especificou somente suas características elétricas, não definindo nenhum protocolo de comunicação de baixo nível para ele. Por isso, desenvolveu-se neste projeto um protocolo próprio, baseado em nível de comandos, no protocolo HART. O protocolo HART tem sido empregado em sistemas de transmissão de dados em plantas industriais.

3.7.1 Considerações gerais

A fim de facilitar o projeto, a compreensão, a implantação e a manutenção das redes, as suas arquiteturas são comumente estruturadas como uma sobreposição de camadas, que implicam uma hierarquia na definição dos protocolos. Uma das estruturas mais divulgadas é a Open Systems Interconnection (OSI), proposta pela International Standards Organization (ISO).

Além da estratificação, outro conceito importante é a simetria do protocolo. As relações entre as entidades comunicantes, em qualquer nível de hierarquia, podem ser simétricas ou assimétricas. Um exemplo de relação simétrica é aquela que ocorre entre dois mestres e de uma relação assimétrica é a que se verifica entre mestre e escravo.

3.7.2 Implementação do protocolo

O modelo de estrutura OSI permite simplificações. No caso particular de sistemas de aquisição e controle baseados em sensores microcontrolados, tem-se observado que não são implantadas todas as camadas desse modelo. Em tais sistemas observa-se também a assimetria do protocolo. Um motivo são as limitações impostas pela capacidade de processamento dos microcontroladores. Além disso, a assimetria é mais adequada para sistemas de controle por centralizar a responsabilidade pela detecção e recuperação de falhas primárias.

O protocolo desenvolvido está baseado nessas observações. Ele utiliza um modelo OSI simplificado, com relações assimétricas do tipo mestre e escravo, que operam no modo de comunicação *poll/response*, ou seja, os escravos somente transmitem uma mensagem como resposta a um comando do mestre. Foram implementadas as camadas:

- Meio físico;
- Enlace e

- Aplicação.

Na camada *meio físico* foram utilizados meios mistos, o padrão de interface serial RS-232, via rádio-modem e o padrão de barramento serial multiponto RS-485, via cabo.

Para a camada *enlace* foi especificado o formato dos pacotes de comunicação e os procedimentos para a detecção e recuperação de falhas na comunicação. A estrutura dos pacotes está representada na Figura 3.16.

Figura 3.16 - Formato dos pacotes de comunicação definidos no protocolo criado.

O primeiro caracter identifica o início do pacote: '?', se for um comando do mestre para o TDI e '@', caso se trate de uma resposta do TDI. Os campos de endereço permitem a identificação do dispositivo destinatário e originário. Para acomodar dados de diferentes tamanhos, um contador de *bytes* define o tamanho do campo de dados. Esse tamanho pode variar de 0 a 255 *bytes*. Os campos "eco do comando" e "status" permitem que o mestre verifique a correta operação do TDI. O campo *checksum* faz parte do sistema de detecção e recuperação de falhas. O caracter '#' define o fim do pacote, tanto para os comandos quanto para as respostas. Adotou-se a utilização de somente caracteres *ASCII* entre 20H e 7FH para a montagem dos pacotes. O emprego desses caracteres, conhecidos como "*printables*", facilita a manutenção e o desenvolvimento do sistema, pois os pacotes podem ser diretamente monitorados através de terminais de vídeo.

Na camada *aplicação* foi criado um conjunto de comandos para controlar a operação e obter dados de um TDI. O mestre garante a operação correta do sistema através da verificação do estado das operações realizadas pelas primitivas *Send* e *Receive* dessa camada:

status = **Send** (origem, destino, comando, dados)

status = **Receive** (origem, destino, comando, *dados)

Essas primitivas são responsáveis pelo envio e recebimento dos pacotes de comunicação, bem como pela verificação da integridade dos dados e pelas retransmissões que porventura venham a ser necessárias. Elas sempre retornam um *status* da comunicação ou do TDI, que se resumem no seguinte:

- A** - Sensor sem problemas e mensagem recebida corretamente;
- B** - Erro de *checksum* na recepção da mensagem pelo TDI;
- C** - Falha de *hardware* com o sensor;
- R** - TDI colocado em condições iniciais com perda dos dados (*reset*);
- D** - Falha na transmissão por parte do *master* e
- E** - Resposta de comando não-recebida após um período de *time-out*;

Os comandos e as possíveis respostas estão especificados abaixo.

Comandos:

R - Reset do TDI.

Resposta: **A** com *status*.

G - Realizar uma aquisição com *n* leituras. O número de leituras é enviado no campo de dados do pacote. Se *n* é zero, é realizada uma leitura.

Resposta: **A** com *status*.

T - Transmitir os dados resultantes do comando aquisição.

Resposta: **D** com *status* e os dados.

Respostas:

A - *Acknowledge*.

D - dado1 dado2 ... dadon - *n* dados enviados pelo TDI.

A Tabela 3-I mostra as associações dos endereços adotadas no protocolo.

Tabela 3-I - Associações dos endereços adotadas no protocolo.

00	Endereço do Master
01 - F0	Endereço dos Slaves
F1 - FC	Reservados
FD	Endereço Universal (<i>for broadcasting commands</i>)
FE	Endereço para um monitor de linha
FF	Endereço para um master secundário

Um TDI executa os comandos se o endereço destino conferir com o seu endereço ou se o endereço destino for universal. O endereço universal é utilizado para disparar a aquisição simultânea em todos os TDIs ou para iniciação (*reset*) geral do sistema. Nesses casos, não ocorrem respostas aos comandos para que não haja conflito no barramento. O endereço 'FE' foi reservado para um monitor de linha, que utilizaria comandos específicos de manutenção. O endereço 'FF' se destina a um *master* secundário, que assumiria o controle do sistema quando o *master* primário, no caso a Unidade Remota, deixasse de funcionar.

3.8 OS RÁDIOS-MODEM

Dois transceptores de rádio para telefonia rural, de fabricação da AUTEL S.A. Telecomunicações, foram configurados para operar como rádios-modem. Apesar de terem sido encontrados alguns aparelhos fabricados especificamente como rádios-modem no mercado internacional, esses transceptores estavam disponíveis na Estação Experimental de Pindorama e optou-se por aproveitá-los.

Os transceptores são do tipo monocal no padrão CCITT (Consultive Committee on International Telegraph and Telephone) e, portanto, permitem a comunicação direta entre dois *modems* para a transmissão de dados. A potência de transmissão é de 10 Watts e os aparelhos estão habilitados para a faixa de UHF, nas frequências de 411,625 e 428,075 Mhz.

Os *modems* desse enlace foram construídos com o circuito integrado AM7911. Esse circuito trabalha com a técnica de *Frequency Shift Keying* (FSK) na taxa de transferência máxima de 1200 bps e inclui todos os blocos básicos requeridos por um sistema de comunicação, exceto o do acoplamento com a linha telefônica. Para isso foi construída uma híbrida com componentes ativos.

A Figura 3.17 mostra os diagramas em bloco dos rádios-modem no lado do Posto de Coleta e no lado da Unidade Remota, os quais apresentam diferenças devido ao tipo de interface presente em cada lado, RS-485 e RS-232, respectivamente. Como o padrão RS-485 não prevê sinais de *handshake* para controle do *modem*, no lado do Posto de Coleta foi introduzido um microcontrolador, também da linha PIC, para exercer essa função. No lado da Unidade Remota, o próprio microcomputador PC, através da interface RS-232, controla os sinais de *handshake*.

4. CARACTERÍSTICAS E RESULTADOS OBTIDOS

4.1 INTRODUÇÃO

Os estudos realizados sobre os sistemas de aquisição de dados e telemetria na agricultura e a análise das condições das localidades envolvidas e da infra-estrutura inicialmente disponível levaram ao desenvolvimento e à implantação do sistema descrito no capítulo anterior.

Neste capítulo serão apresentados os aspectos relacionados à consolidação desse sistema. Primeiramente são relacionadas as características técnicas detalhadas de cada um dos seus componentes. Em seguida, tem-se uma descrição da dinâmica de funcionamento do sistema. Finalmente, é mostrada uma compilação dos resultados obtidos. Tais resultados referem-se à: a) uma seleção de dados adquiridos com o sistema; b) testes da confiabilidade da transmissão dos dados; c) autonomia do sistema e d) um exemplo de simulação com o modelo LEACHMP. Este trabalho não objetiva validar os dados adquiridos e sim a operabilidade do sistema. Porém, em alguns casos, foi possível verificar a consistência dos dados e até mesmo fazer uma avaliação da exatidão das leituras.

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As características técnicas estão divididas de acordo com os subsistemas identificados no capítulo anterior: o Posto de Coleta de Dados, a Unidade Remota de Armazenamento e a Central de Processamento. Quando necessário, há indicação se o componente foi desenvolvido no projeto ou se trata de desenvolvimento anterior ou ainda se foi adquirido comercialmente.

4.2.1 Posto de Coleta de Dados

As características do Posto de Coleta foram subdivididas em características da alimentação, do barramento, dos TDIs, dos sensores e do enlace de rádio.

4.2.1.1 Alimentação

- Geral: 110 VCA, com *no-break* ligado a bateria selada do tipo chumbo-ácido, adquirido comercialmente. Tempo de operação com bateria estimado em 30 minutos

- Rack da estação climatológica: 110 VCA
- TDIs: 24 VCC provido através de fonte conversora CA/CC.

4.2.1.2 Barramento

- Barramento serial no padrão RS-485, fisicamente instalado com cabo de blindagem trançada coletiva de quatro vias (bitola 22 AWG), duas para a comunicação e duas para a alimentação
- Protocolo de comunicação desenvolvido para operar no modo *pool-response*, com verificação de erros através de *checksum*
- Número máximo de pontos de leitura: 240¹
- Padrão de comunicação: 1200 bps, 8 *bits* por dado, sem paridade e 1 *stop bit*.

4.2.1.3 TDIs

- Circuito desenvolvido com base no microcontrolador PIC 16C56, fabricado pela Microchip Technology Inc.
- Tensão de entrada: 18 a 24 VCC
- Tensão de operação interna: 5 VCC²
- Consumo máximo: 45 mA³
- Resolução do conversor A/D: 0,1%
- Faixa dinâmica do conversor A/D: - 99 a + 999 mV
- Impedância de entrada do conversor A/D: 10 K Ω
- Técnica de conversão: rampa dupla
- Velocidade de conversão: 10,4 mS
- Calibração do conversor A/D: 1 *trimpot* de zero e outro de fundo de escala
- Proteção contra sobretensão na entrada do conversor A/D: $\pm 2,7$ Volts
- 1 contador/temporizador programável de 8 bits, com pré-divisor de 1 a 256
- 8 portas programáveis individualmente como entrada ou saída⁴

¹ Apesar do padrão RS-485 suportar até 32 pontos, esse número pode ser substancialmente ampliado, com o uso de repetidores na linha. O protocolo de comunicação é que estabelece o limite de 240 endereços.

² Foi previsto espaço na placa de circuito impresso para a instalação de um conversor CC/CC no caso de vir a ser utilizado algum sensor que necessite níveis de tensão diferentes de 5 volts.

³ Esse limite não considera o consumo do conversor CC/CC.

⁴ As portas de entrada e saída só estão disponíveis se não for utilizado o conversor A/D, como é o caso dos sensores digitais pluviômetro, anemômetro e de direção do vento.

- Proteção contra transientes de linha misto (centelhador à gás + varistores)
- Temperatura de operação: 0 a 75° C ⁵.

4.2.1.4 Sensores

Com relação aos sensores, no Capítulo 3 foram mencionadas somente as características consideradas relevantes para o desenvolvimento do sistema. A seguir, serão fornecidos vários detalhes que complementam as informações anteriores.

Temperatura no solo:

- Tipo: Circuito integrado LM35A, com saída linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius e pré-calibrado na fabricação. Fabricante: National Semiconductors
- Montagem: Em haste de aço inoxidável, conforme descrito no Capítulo 3
- Encapsulamento: TO-92 (igual a um transistor de baixa potência)
- Alimentação: 4 a 20 VCC
- Saída: 10 mV / °C, independente da tensão de alimentação
- Resolução: 0,5° C
- Faixa de operação: 0 a 100° C ⁶
- Corrente de consumo: 60 µA
- Tempo de leitura ⁷: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

Potencial mátrico da água no solo:

- Tipo: tensiômetro com cápsula porosa, ao qual foi adaptado o transdutor de pressão de fabricação da SenSyn
- Alimentação do transdutor: + 12 a + 30 VCC
- Encapsulamento do transdutor: cilindro de aço inoxidável, com 3,18 mm de diâmetro e 4,36 mm de comprimento

⁵ Não foram realizados testes para se determinar a máxima temperatura de operação dos TDIs e de outros componentes do sistema. As faixas de temperatura indicadas são as especificadas pelo fabricante dos componentes utilizados, considerando-se o pior caso.

⁶ Para simplificar o circuito do TDI, o sensor foi configurado para medir temperaturas de 0 a 100° C. Dessa forma, o sensor é ligado diretamente ao conversor A/D. O sensor pode ser configurado para ler temperaturas negativas, porém seria necessário o acréscimo de um amplificador operacional no circuito do TDI.

⁷ O tempo de leitura é o transcorrido entre o momento de execução do comando de leitura e o momento em que a medida está disponível para leitura.

- Acoplamento hidráulico: NPT 3/8" fêmea
- Saída: 1 a 6 VCC, correspondendo à faixa de $\pm 775,725$ mmHg
- resolução: 3 mm Hg
- Potência de consumo: 100 mW (8,3 mA em 12 Volts)
- Faixa de operação da cápsula porosa: 0 a 620 mmHg (0,8 atm)
- Tempo de leitura: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

Temperatura do ar

- Tipo: resistor de platina, PT-100. Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa fazem parte de um conjunto adquirido comercialmente da Engro, Ind. & Com. Ltda.. O conjunto inclui um circuito condicionador de sinal.
- Montagem: suporte de material plástico, na forma de bastão cilíndrico, com 200 mm de comprimento e 21 mm de diâmetro. O sensor de umidade relativa é montado no mesmo suporte
- Alimentação: ± 12 VCC
- Saída: 0 a 10 VCC (fornecida pelo circuito condicionador de sinal)
- Resolução: $0,1^{\circ}$ C
- Faixa de operação: 0 a 80° C
- Corrente de consumo: 43 mA
- Tempo de leitura: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

Umidade Relativa

- Tipo: capacitivo
- Montagem: no mesmo suporte do sensor de temperatura do ar
- Alimentação: ± 12 VCC
- Saída: 0 a 10 VCC (fornecida pelo circuito condicionador de sinal)
- Resolução: 3% UR
- Faixa de operação: 0 a 100% UR
- Corrente de consumo: 43 mA
- Tempo de leitura: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

Velocidade do vento

- Tipo: conchas rotativas, resultado de desenvolvimento anterior no CNPDIA
- Montagem: em alumínio e plástico, conforme Figura 3.2 (capítulo anterior)
- Alimentação: 5 VCC
- Saída: 30 pulsos por revolução em nível TTL
- Resolução: 0,1 m/s
- Faixa de operação: 0 a 25 m/s⁸⁹
- Corrente de consumo: 44 mA
- Limiar de propulsão: 0,3 m/s
- Linearidade: 1,5 %
- Tempo de leitura: 2,2 S.

Direção do vento

- Tipo: flecha, resultado de desenvolvimento anterior no CNPDIA
- Montagem: em alumínio e plástico, conforme Figura 3.3
- Alimentação: 5 VCC
- Saída: código *gray* de 5 bits nível TTL
- Resolução: 11,25°
- Faixa de operação: 0 a 360°
- Corrente de consumo: 146 mA
- Limiar de propulsão: 0,3 m/s
- Tempo de leitura: imediato.

Precipitação

- Tipo: báscula, resultado de desenvolvimento anterior no CNPDIA
- Montagem: em alumínio, conforme Figura 3.4
- Alimentação: 5 VCC

⁸ A faixa de operação, o limiar de propulsão e a linearidade do anemômetro foram determinados em túnel de vento na EESC-USP, Departamento de Engenharia Mecânica.

⁹ Velocidades do vento abaixo do limiar de propulsão são registradas como 0 m/s.

- Saída: pulsos em nível TTL
- Resolução: 0,1 mm
- Faixa de operação: 0 a 199.9 mm
- Corrente de consumo: 26 mA
- Tempo de leitura: imediato¹⁰.

Evaporação

- Tipo: resistência relacionada com o nível de água em um tanque classe A, resultado de desenvolvimento anterior no CNPDIA
- Alimentação: 12 VCA
- Saída: 0 a 5 VCC
- Resolução: 0,1 mm
- Faixa de operação: 0 a 999 mm
- Corrente de consumo: 60 mA
- Tempo de leitura: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

Radiação solar

- Tipo: termopilha diferencial preta-branca, tipo disco, com 22 mm de diâmetro, resultado de desenvolvimento anterior, seguido de intercâmbio entre a UNESP-Botucatu e a EMBRAPA-CNPDI
- Montagem: em alumínio, com cúpula de quartzo, conforme Figura 3.5
- Alimentação: não requer
- Saída: 0 a 1,848 mV¹¹
- Linearidade: 1,5 %
- Faixa de operação: 0 a 1400 W/m²
- Constante de calibração: $1,32 \times 10^{-6} \text{ V.m}^2/\text{W}$ (para temperaturas de 25 a 45° C)
- Tempo de leitura¹²: 10,4 mS (tempo da conversão A/D).

¹⁰ No caso do pluviômetro, o tempo de leitura é imediato, porém o valor lido é a quantidade de chuva acumulada desde o último comando de *reset* do contador.

¹¹ Para o cálculo desse valor multiplicou-se a constante solar de 1400 W/m² pela constante de calibração do piranômetro, $1,32 \times 10^{-6} \text{ V.m}^2/\text{W}$.

¹² O tempo de leitura supõe que o sinal fornecido pela termopilha esteja estável. O tempo de resposta do piranômetro é 1,2 segundos.

4.2.1.5 Enlace (rádio-modem)

- Rádio adquirido comercialmente (AUTEL S.A. Telecomunicações) e *modem* desenvolvido e adaptado durante o projeto
- Alimentação: 110 VCA
- Frequências de operação (UHF): 411,625 e 428,075 Mhz
- Potência de transmissão: 10 Watts
- Ruído total do receptor: -69 dBm
- Antena: *yagui* de 8 elementos, impedância 50 Ω , ganho de 13 dB
- Consumos mínimo e máximo (transmissor ativado): 2 e 35 Watts
- Modulação da portadora: FM (Frequência Modulada)
- Modulação do sinal digital: FSK (*Frequency Shift Keying*)
- Velocidade de transmissão de dados: 1200 bps
- Temperatura de operação: -10 a + 55° C.

4.2.2 Unidade Remota de Armazenamento

As características da Unidade Remota de Armazenamento estão subdivididas em de *hardware* e de *software*.

4.2.2.1 Hardware

- Microcomputador: PC 386 SX 33 Mhz, 4 Mbytes de RAM, 80 Mbytes de disco rígido, 2 portas seriais, 1 porta paralela e monitor padrão VGA em cores
- *Modem*: analógico externo para linha discada, velocidade de comunicação de até 14400 bps no padrão V42
- Rádio-modem: características idênticas ao do Posto de Coleta de Dados.

4.2.2.2 Software

Os programas da Unidade Remota são executados no ambiente Windows 3.1, sob o sistema operacional DOS, versão 5.0. São apenas dois: o de controle e o de comunicação.

4.2.2.2.1 Programa de controle

- Desenvolvimento próprio, implementado como aplicativo Windows MDI (*Multiple Document Interface*), com 6 janelas: 4 para as parcelas, uma para dados climatológicos e uma de mensagens para o operador
- Máximo de 9 sensores por parcela
- Monitoramento dos sensores em tempo real
- Ajuste dos parâmetros da aquisição:
 - Intervalo de armazenamento (mínimo 10 min/máximo ilimitado, diferenciado para leituras com chuva e sem chuva)
 - Endereço e descrição do sensor
 - Faixa de leitura válida
- Entradas manuais sobre aplicações de pesticidas (data, parcela, tipo, concentração e quantidade aplicada)
- Entradas manuais sobre aplicações de chuvas artificiais (data, parcela, duração e intensidade)
- Serviços de teste e manutenção:
 - Transmissão e recepção de pacotes padrão para testes do enlace de rádio
 - Geração de arquivo com os pacotes trocados pelo protocolo de comunicação, a partir do momento em que esse recurso for ativado e até ser desativado (*log file*)
- Arquivo de dados gerado em formato ASCII, na forma de tabela.

4.2.2.2.2 Programa de comunicação

- PCanywhere para Windows versão 1.0, adquirido comercialmente
- Serviços: comunicação e controle remoto
- Protocolos de transferência de arquivos: Xmodem, Ymodem, Zmodem, kermi, ASCII e proprietário.

4.2.3 Central de Armazenamento e Processamento

A Central de Armazenamento e Processamento é composta por uma rede local *ethernet*, instalada fisicamente com cabo coaxial de 50 Ohms. Utilizando o protocolo de comunicação TCP/IP, a rede conta com os seguintes serviços: FTP, NFS, LPR, SLIP, Telnet e X-term (cliente nos micros e servidor em estação RISC/UNIX). A seguir,

encontram-se as características de *hardware* e *software* das máquinas envolvidas no sistema.

4.2.3.1 Hardware

Na Central de Armazenamento foram disponibilizadas duas máquinas para este sistema: uma estação de trabalho RISC/UNIX e um microcomputador.

4.2.3.1.1 Estação de trabalho RISC/UNIX

- Silicon Graphics, modelo IRIS INDIGO
- CPU R4000 a 50 Mhz
- 24 Mbytes de RAM
- 2 Gbytes de disco rígido
- 1 unidade de fita DAT de 1.2 Gbytes
- 1 unidade de fita *streamer* de 150 Mbytes.

4.2.3.1.2 Microcomputador

- PC 486 DX 33 Mhz
- 8 Mbytes de RAM
- 420 Mbytes de disco rígido
- 2 portas seriais / 1 paralela
- monitor padrão VGA colorido.

4.2.3.2 Software

O sistema operacional da estação de trabalho é o UNIX System V e o ambiente gráfico é compatível com o padrão X-window. Nela são executados o programa de gerenciamento da base de dados edafo-ambientais e o programa de modelamento LEACHMP. No microcomputador PC, os programas são executados no ambiente Windows 3.1, sob o sistema operacional DOS, versão 5.0. São dois os programas envolvidos com este trabalho: o de comunicação de dados PCanywhere e um programa de conectividade que oferece os serviços TCP/IP já mencionados.

4.2.3.2.1 Programa de gerenciamento da base de dados edafo-ambientais

- Desenvolvimento próprio, em linguagem C, implementado com o pacote de gerenciamento de base de dados *cbase* e utilizando ambiente gráfico no padrão X-Window
- Importa os dados gerados pelo programa de controle no formato ASCII e os converte para o formato interno da base
- Pode exibir os dados em forma de tabela ou de gráficos
- Gera arquivo de entrada de dados para o modelo LEACHMP.

4.2.3.2.2 Programa de modelamento LEACHMP

- Modelo desenvolvido por Wagenet & Hutson na Universidade de Cornell, EUA, e implementado em linguagem FORTRAN
- A partir de inúmeros dados edafo-ambientais, fornece em forma de tabelas vários resultados relacionados à previsão do destino de pesticidas no solo (vide capítulo 1).

4.2.3.2.3 Programa de comunicação

- O mesmo programa PCanywhere da Unidade Remota de Armazenamento.

4.2.3.2.4 Programa de conectividade para PCs

- TCP/Connect II for Windows, versão 4.0, adquirido comercialmente
- Protocolo: TCP/IP
- Serviços: FTP, NFS, LPR, SLIP, Telnet e correio eletrônico.

4.3 DINÂMICA DE FUNCIONAMENTO

Na Figura 4.1 está um diagrama funcional completo do sistema, onde são fornecidas as informações básicas de seus componentes e das operações envolvidas na dinâmica de seu funcionamento.

Ao ser ligado, o microcomputador da Unidade Remota automaticamente entra no ambiente Windows e executa o programa de comunicação e o de controle. O programa de comunicação prepara o *modem* para atender ligações telefônicas e fica pronto para entrar em modo *host*, quando uma ligação se completar. O programa de controle imediatamente

assume sua função, iniciando a aquisição dos dados no intervalo programado. Em cada aquisição, sucede a seguinte seqüência de comandos e respostas:

1. São enviados três pedidos de aquisição universal. Lembrando que os comandos universais não têm resposta, as três repetições são uma forma de superar eventuais falhas na execução desse tipo de comando. Se o primeiro for entendido, os subseqüentes são desprezados pelo TDI; caso contrário, há mais duas possibilidades de entendimento do comando de aquisição, nesse estágio;
2. Os TDIs são interrogados um a um, com o comando que solicita a transmissão dos dados;
3. O TDI interrogado responde com um pacote que contém os dados e que é, ao mesmo tempo, o reconhecimento (*acknowledge*, ACK) do comando de solicitação. No caso de sucesso, o valor lido é atualizado junto ao ícone correspondente;
4. Se o reconhecimento falha, são feitas novas tentativas de aquisição, agora individuais, até o sucesso da operação ou até haver esgotado o número de tentativas estabelecido pelo operador. As falhas geram mensagens para o operador e o valor *xx.x* junto ao ícone do sensor, indicando leitura inválida;
5. No caso do pluviômetro é enviado um comando de iniciação (*reset*), que zera o contador de pulsos daquele sensor e
6. Após a varredura de todos os sensores, os dados adquiridos são armazenados nos arquivos parciais relativos a cada parcela. O passo 1 é retomado a cada intervalo de aquisição.

Todos os dias, a meia noite, os arquivos parciais são concatenados, em forma de tabela, ao arquivo de dados mensal.

A ligação da Central de Armazenamento pode ocorrer a qualquer instante. Nesse caso, o modo *host* é ativado e o programa de controle continua operando normalmente. A tela da Unidade Remota é reproduzida no microcomputador *guest*, permitindo o acompanhamento das leituras em tempo real, além de qualquer operação remota sobre o programa de controle e sobre o ambiente Windows da Unidade Remota. O modo de transferência de arquivos é ativado pelo *guest* e, normalmente, tem-se utilizado o protocolo proprietário do PCanywhere para as transferências. O arquivo de dados vai direto para a estação de trabalho, via NFS, onde é importado para a base de dados edafo-

ambientais. A execução do modelo LEACHMP pode, então, fazer uso dos dados. O acesso “on-line” pode ser feito através do serviço FTP, via *internet*.

Figura 4.1 - Diagrama funcional do sistema mostrando as operações realizadas pelos seus componentes.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS

Para obtenção dos resultados de campo aqui apresentados, estavam instalados 12 sensores de temperatura no solo, 3 tensiômetros¹³ e os sensores climatológicos. Assim como nos experimentos de laboratório, as aquisições foram programadas com o intervalo mínimo de operação do sistema, ou seja, 10 minutos.

Todos os dados foram obtidos através do comando de aquisição universal. Houve períodos em que foi acionado o modo de rastreamento do programa de controle, de forma que todos os pacotes enviados e recebidos fossem gravados.

Os dados climatológicos de leitura manual são provenientes de uma estação climatológica, não-automática, distante 150 m da área experimental.

Por várias vezes o sistema deixou de operar, sendo que a maioria delas foi por danos causados por raios.

¹³ Inicialmente, foram adquiridas somente 3 peças dos transdutores de pressão, devido ao seu elevado custo no mercado nacional. Mais 20 foram importadas diretamente, sendo recebidas recentemente.

4.4.1 Três dias de leitura

A Figura 4.2 mostra alguns dados obtidos com o sistema, no período de 24/03/93 a 26/03/93. Na Figura 4.2a, tem-se a temperatura do solo na parcela 1, nas três profundidades em que foram instalados os sensores (15, 30 e 60 cm). Na Figura 4.2b, tem-se a variação da umidade relativa e da temperatura do ar.

Figura 4.2 - a) temperatura no solo, na parcela 1, nas profundidades de 15, 30 e 60 cm e b) umidade relativa e temperatura do ar. Dados obtidos no período de 24 a 26 de março de 1993, com intervalo entre aquisições de 10 minutos.

Esses gráficos foram comparados com dados semelhantes apresentados na literatura (como em Jury et al, 1991 e Reichardt, 1987) e o comportamento das medidas está de acordo com o resultado esperado.

4.4.2 Dados climatológicos

A Tabela 4-I mostra os dados climatológicos adquiridos durante uma precipitação pluviométrica, no dia 25 de março de 1994. Na mesma tabela se encontram as leituras do tensiômetro a 15 cm de profundidade, na parcela 1. Os dados são apresentados em intervalos de 10 minutos, a não ser pelas duas últimas linhas, que mostram o horário do valor mínimo da leitura do tensiômetro e uma aquisição feita às 12:04 h do dia 26.

Tabela 4-I - Dados climatológicos e de um tensiômetro a 15 cm de profundidade, registrados durante uma noite chuvosa.

Dados Climatológicos (25 e 26 de março de 1994)							Tensiômetro a 15 cm
Hora	Direção do vento (°)	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura do ar (°C)	Radiação solar (KW/m ²)	Umidade do ar (%)	Índice pluviométrico (mm)	Sucção (mmHg)
22:20:00	270.00	00.0	28.3	0.0	70.3	0.0	55.9
22:30:27	225.00	00.9	26.3	0.0	74.2	0.0	55.9
22:40:53	270.00	05.5	24.6	0.0	78.3	0.1	59.0
22:51:20	247.50	01.0	21.3	0.0	92.5	9.2	62.1
23:01:46	315.00	00.5	21.5	0.0	93.5	11.4	62.1
23:12:12	326.25	00.4	22.4	0.0	91.7	0.3	63.6
23:22:38	326.25	00.0	24.1	0.0	89.0	0.8	60.5
23:33:04	146.25	00.7	23.7	0.0	85.9	0.8	55.9
23:43:30	123.75	00.0	23.4	0.0	83.1	0.3	51.2
23:53:56	202.50	00.6	22.7	0.0	82.3	0.4	46.5
00:04:23	225.00	00.2	23.2	0.0	81.7	0.5	43.4
00:14:25	180.00	00.0	23.5	0.0	80.6	0.7	40.3
00:25:17	157.50	00.3	23.8	0.0	79.9	0.8	35.7
00:35:43	258.75	00.0	23.1	0.0	82.1	0.0	32.6
00:46:09	326.25	00.7	23.0	0.0	83.5	0.1	31.0
02:20:05	191.25	00.0	24.4	0.0	77.6	0.0	00.0
12:04:29	191.25	00.0	28.7	0.916	65.4	0.0	00.8

É interessante notar que a intensidade máxima da chuva ocorre às 23:00 h e que a frente de molhamento atinge o tensiômetro depois de vinte minutos, quando a sucção lida começa a cair. Às 02:20 h, o potencial matricial chegou a zero. A leitura da radiação solar global, às 12:04 h, é próxima do valor típico para um mês de março, ao meio-dia, com céu aberto, para aquela localização.

O índice pluviométrico registrado pelo sistema apresentou diferença de 5% com relação ao índice registrado pela estação climatológica convencional.

4.4.3 Temperatura no solo

Foram comparados dados de temperatura no solo, obtidos com os TDIs de temperatura e com os termômetros convencionais do posto de observação. Observou-se que, em parte, as diferenças encontradas estão dentro da resolução dos sensores ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) e, em parte, são maiores que esse valor, chegando a atingir $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considerando-se a distância de 150 m entre os locais das medidas, tais diferenças podem ser atribuídas à variabilidade espacial. Outros fatores podem ser considerados, mas não cabe aqui discutí-los.

4.4.4 Recuperação de falhas na comunicação

A taxa de falhas na leitura dos sensores foi medida através do arquivo de rastreamento. A Figura 4.3 mostra trechos desse arquivo em situações diferentes, sem e com falhas de comunicação, e como ocorre a recuperação prevista no protocolo.

Da forma como o arquivo de rastreamento foi implementado, ele pode atingir vários Mbytes em poucos dias. Assim, ele foi acionado por períodos de, no máximo, 10 dias, uma vez ao mês, durante o primeiro ano de operação plena do sistema. Observando-se os arquivos gerados, notou-se que, na maioria das vezes, as falhas são corrigidas na segunda tentativa para receber os dados. Programando-se o número máximo de 10 tentativas para a recuperação de falhas e considerando-se essas recuperações como acertos, foram obtidos apenas três dados incorretos durante aquele ano.

a) Comunicação sem falhas

```
Quadro enviado: ?00FDG00GA19#  
Comando universal, nao espera ACK.  
  
Quadro enviado: ?00FDG00GA19#  
Comando universal, nao espera ACK.  
  
Quadro enviado: ?00FDG00GA19#  
Comando universal, nao espera ACK.  
  
Quadro enviado: ?0001T00TA0A#  
Comando Transmitir dados, quadro de dados e' o ACK.  
Tentando receber os dados.  
Quadro recebido: @0100D04TA27.0C5#  
  
Foi feita 1 tentativa para receber os dados.
```

b) Comunicação com erro de checksum

```
Quadro enviado: ?0002T00TA0B#  
Comando Transmitir dados, quadro de dados e' o ACK.  
Tentando receber os dados.  
Checksum calculado : 04  
Checksum do frame : C9  
Quadro recebido: @0200D04-A23.7C9#  
  
Quadro enviado: ?0002T00TB0C#  
Comando Transmitir dados, quadro de dados e' o ACK.  
Tentando receber os dados.  
Quadro recebido: @0200D04TA23.7C9#  
  
Foram feitas 2 tentativas para receber os dados.
```

Figura 4.3 - Trechos do arquivo de rastreamento. Em a) não ocorreram falhas na comunicação e em b) ocorreu uma falha, que foi recuperada na primeira tentativa de recuperação prevista no protocolo de comunicação.

4.4.5 Autonomia

Para este sistema, o registro em disco, da aquisição de dados diária de 40 sensores, no formato ASCII, na frequência de leitura de 10 minutos, ocuparia cerca de 140 kbytes. Nessas circunstâncias e considerando-se o espaço atualmente disponível no disco da Unidade Remota, cerca de 20 Mbytes, o sistema teria em torno de 140 dias de autonomia de armazenamento. Um coletor de dados, operando em condições equivalentes, apresenta, normalmente, menos de 10 dias de autonomia, devido à sua limitada capacidade de memória.

4.4.6 Armazenamento e transmissão dos arquivos de dados

A princípio, a gravação dos arquivos de dados no formato ASCII tem como vantagem a compatibilidade na operação de leitura por diversos utilitários, como editores de textos e planilhas de cálculo. A desvantagem estaria no tamanho dos arquivos, que pode ser da ordem de quatro vezes maior que uma gravação em formato interno. Tanto a capacidade de armazenamento quanto o tempo para a transmissão de dados via *modem* são maiores, ao se utilizar o formato ASCII.

Atualmente, devido ao baixo custo, são comuns discos rígidos com capacidade acima de 200 Mbytes, o que daria ao sistema autonomia de 1.400 dias, mantendo-se o formato dos arquivos em ASCII e as outras condições do item 4.4.5. Utilizando-se programas de compressão de dados, como o *pkzip* e o *arj*, foram conseguidas taxas de compressão média de 90% sobre esses arquivos. Nas mesmas condições e com a compressão, a autonomia atinge cerca de 15.500 dias ou 42 anos.

O tempo de transmissão também é diminuído significativamente, ao serem utilizadas técnicas de compressão em tempo real durante a transferência. A Figura 4.4 mostra o tempo de transferência dos arquivos em ASCII, entre a Unidade Remota e a Central de Armazenamento, medidos com e sem a compressão por *software (on the fly)*, proporcionada pelo protocolo proprietário do programa PCAnywhere. Foi utilizada a velocidade de comunicação de 1200 bps, a mínima possível, para se ter idéia desses tempos no pior caso.

Dias de monitoramento	Tamanho do arquivo (kbytes)	Tempo de transf. com compressão	Tempo de transf. sem compressão
1	140	0:01:59	0:19:00
2	280	0:03:56	0:38:00
4	516	0:06:50	1:11:30
8	1030	0:12:18	2:23:00

Figura 4.4 - Tempos de transferência do arquivo de dados entre a Unidade Remota e a Central de Processamento, com e sem a compactação em tempo real por *software*, oferecida pelo protocolo proprietário do PCanywhere.

4.4.7 Resultados com o modelo LEACHMP

As freqüentes avarias do sistema consumiram boa parte do tempo dedicado ao desenvolvimento deste projeto. Na maioria das vezes, elas ocorreram na fase em que se trabalhava no fornecimento dos dados ao programa de modelamento LEACHMP de forma automática. Devido ao cumprimento de prazos, esse trabalho foi suspenso e o resultado descrito a seguir foi obtido com o preenchimento manual do arquivo de entrada, a partir das tabelas exibidas pelo programa de gerenciamento da base de dados edafo-ambientais.

Para a simulação aqui apresentada foi escolhido um período relativamente curto, 16 dias, porém com seis ocorrências esparsas de precipitação pluviométrica. A Figura 4.5 mostra alguns dados adquiridos pelo sistema nesse período.

O arquivo de entrada, bem como os arquivos gerados pela simulação, são apresentados no Apêndice B.

Figura 4.5 Dados adquiridos pelo sistema no período escolhido para a simulação com o programa LEACHMP, de 25/03 a 10/04/94. Em a) período total, 16 dias, e em b) detalhes em torno da última precipitação, acrescentando-se a radiação solar global e a temperatura no solo a 60 cm.

As informações fornecidas para o programa LEACHMP foram fixadas previamente, ou derivadas dos dados adquiridos pelo sistema ou são resultados de trabalhos anteriores. Resumidamente, essas informações são as seguintes:

1. Período: 25/03 a 10/04/94
2. Ocorrência de chuvas: 6
3. Espécies químicas: 1 (atrazina na concentração de 500g/l e uma única aplicação de 250mg/m²)
4. Profundidade estudada: 100 cm em camadas de 10 cm
5. Quantidade de argila, limo e areia: dados consultados em Lepsch (1976)
6. Potencial inicial em kPa por camada: dados fornecidos por tensiômetros manuais
7. Temperatura média por camada em °C: calculada por interpolação, a partir dos dados fornecidos pelo sistema nas profundidades de 15, 30 e 60 cm
8. Dados do herbicida: fornecidos pela *Environmental Protection Agency*, EPA
9. Dados sobre as chuvas: fornecidos pelo sistema
10. Temperatura média e amplitude média da temperatura do local: calculadas a partir dos dados climatológicos fornecidos pelo sistema.

O arquivo de saída *simulats.out* contém informações detalhadas para cada dia da simulação. O arquivo *psim.out* reúne, em uma única tabela, as concentrações da atrazina em cada camada em estudo para todos os dias de simulação. A partir desta tabela foi gerado o gráfico da Figura 4.6. O arquivo *ksim.out* fornece dados sobre a variação do potencial matricial de água no solo, mostrada no gráfico da Figura 4.7. A escala para potencial mátrico apresentada na Figura 4.5, além de estar em mmHg, está invertida com relação à da Figura 4.7.

Concentração do pesticida atrazina obtida por simulação com o modelo LEACHMP, alimentado com dados fornecidos pelo sistema entre 25/03 a 10/04/94

Figura 4.6 - Evolução temporal e espacial do transporte do pesticida atrazina, no período de 16 dias, de 25/03 a 10/04/94, para profundidades de até 100 cm com relação à superfície, obtida por simulação com o modelo LEACHMP, com dados fornecidos pelo sistema.

Potencial matricial de água no solo, simulado pelo programa LEACHMP para o período de 25/03 a 10/04/94

Figura 4.7 - Simulação do potencial matricial de água no solo, no mesmo período e nas mesmas profundidades do experimento da Figura 4.6.

4.4.8 Problemas encontrados e recomendações

Após dois anos de funcionamento no campo, foi possível fazer o levantamento de uma série de problemas e vulnerabilidades do sistema. As avarias mais freqüentes foram consequência de efeitos secundários de raios durante tempestades. Nesses casos, os componentes danificados foram, geralmente, circuitos integrados. Os transceptores do barramento RS-485, os *modems* dos rádios-modem e as portas lógicas dos sensores de direção e velocidade do vento são alguns exemplos. A termopilha do piranômetro também foi substituída uma vez, por ter sido danificada por raios. Ocorreram, ainda, alguns problemas mecânicos com os sensores climatológicos, a maioria deles comum também em sistemas comerciais. As soluções foram simples, bastando a limpeza e lubrificação de rolamentos e mancais.

A seguir, tem-se um resumo dos problemas e vulnerabilidades levantados e as soluções implementadas:

Problemas:

Soluções:

1. Danos causados por induções eletromagnéticas geradas por relâmpagos.	⇒ Substituição dos componentes danificados e aperfeiçoamentos no sistema de proteção.
2. Infiltração de água nas caixas dos TDIs.	⇒ Acondicionamento do circuito em caixas no formato cilíndrico, com tampas rosqueadas e vedação com anéis de borracha.
3. Manutenção dos TDIs dificultada pelo tipo de conexão inicialmente utilizada.	⇒ Uso de conectores mais práticos e adequados para campo.
4. Transceptores RS-485 de baixa qualidade.	⇒ Seleção dos melhores em um lote.
5. Alojamento de insetos no mecanismo do pluviômetro.	⇒ Maior freqüência de manutenção desse sensor.

É necessário enfatizar que os danos causados pelas induções eletromagnéticas geradas pelos relâmpagos durante tempestades é, inquestionavelmente, um grande problema. Neste sistema, esse foi o maior problema enfrentado, devido a dois fatores: a) no Brasil as descargas elétricas naturais são não-somente mais freqüentes, como também apresentam peculiaridades distintas (como maior intensidade) das verificadas em

outras regiões do mundo em que as pesquisas sobre relâmpagos estão mais adiantadas, como Estados Unidos e Japão (Pinto et al, 1993) e b) este sistema é distribuído em uma grande área e, portanto, mais suscetível a esse fenômeno. Está claro, então, que o sistema de proteção empregado deve ser substancialmente melhorado.

Uma alternativa para a solução do problema é utilizar fibras óticas como meio de comunicação. Entretanto, isso ainda tem um custo elevado, considerando-se a demanda de dados e as distâncias envolvidas neste sistema.

5. CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados mostraram que o desempenho do sistema foi plenamente satisfatório para alcançar o principal objetivo proposto: fornecer dados edafo-ambientais, de forma automática, ao modelo LEACHMP. Os tópicos contemplados foram todos atingidos:

- Monitoramento do maior número possível de sensores:
O sistema permite o monitoramento de até 240 sensores. Os experimentos realizados requeriram 31 sensores;
- Perturbações mínimas da área experimental:
A aquisição automática dos dados, eliminando a necessidade de uma equipe de coleta no local, por si só implica menos perturbações da área experimental. A arquitetura implementada, empregando um único cabo para a leitura de vários sensores, evitando a distribuição de vários cabos pelo campo, torna este sistema ainda menos perturbativo;
- Máxima confiabilidade no sistema de monitoramento:
A transmissão digital dos dados, desde o sensor na área experimental até a base de dados no laboratório, aliada às técnicas de correção nos protocolos de comunicação nos três níveis de enlace, oferece a confiabilidade desejada ao sistema;
- Intervalo de medidas da ordem de minutos:
O sistema está dimensionado para realizar leituras no intervalo de 10 minutos. A periodicidade utilizada nas simulações com o modelo LEACHM, na prática, não foi inferior a 1 dia. Os parâmetros diários para a simulação foram obtidos a partir dos registros no intervalo de 10 minutos, como é o caso das temperaturas média, mínima e máxima;
- Transmissão de dados em tempo posterior para o laboratório:
Ativada através do programa de comunicação e
- O gerenciamento de uma base de dados edafo-ambientais no laboratório:
Através do programa de gerenciamento na estação de trabalho.

Os tópicos contemplados em adição à lista anterior também foram satisfeitos. O programa de controle possibilita a entrada de dados manuais relativos a aplicações de pesticidas e de chuvas artificiais, além de permitir a observação de leituras em tempo real. O programa de comunicação, no modo de controle remoto, permite a reprogramação remota dos parâmetros de aquisição.

Além do cumprimento dos objetivos propostos, foram relevantes os conhecimentos adquiridos no sentido de dominar a tecnologia envolvida nos sistemas de aquisição de dados e telemetria para a agricultura. Em um país agrícola e de dimensões continentais como o Brasil, é de fundamental importância que se estabeleça o maior número possível de postos de coleta automática de dados no campo associados a uma ampla rede de telemetria. A experiência com este trabalho permitirá colaborar para a fundamentação de futuros investimentos nessa área.

5.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

Considera-se a implementação do barramento serial multiponto a maior contribuição deste trabalho para as pesquisas na área agrícola. Ele viabiliza a instalação de uma rede de sensores automatizados e, conseqüentemente, facilita o acompanhamento de processos ambientais em uma escala de observação intermediária, entre a pontual, como de um único sensor e a de maior abrangência, como a do sensoriamento remoto via satélite.

Adicionalmente à relevância da implantação do barramento serial multiponto, outros aspectos conclusivos são comentados nos tópicos a seguir.

5.2.1 Abrangência dos conhecimentos adquiridos

A gama de conhecimentos adquiridos ou aprimorados e sua avaliação durante o desenvolvimento do trabalho é, sem dúvida, bastante vasta. Resumidamente, esses conhecimentos se referem a:

- Vários tipos de sensores para campo
- Diferentes métodos de comunicação de dados
- Programação com linguagens de baixo e alto nível
- Programação em dois ambientes gráficos distintos
- Experiência com dois tipos de sistemas operacionais
- Redes de computadores e seus serviços

- Programas de comunicação e controle remoto
- Desenvolvimento de hardware discreto e microcontrolado
- Protocolos de comunicação
- Sistemas de proteção contra raios e transientes
- Programas de modelamento.

5.2.2 Custos

A rigor, o levantamento dos custos de implementação deste sistema deve considerar não-somente o material utilizado, mas também uma série de serviços prestados. Tais serviços se referem à confecção de torres para antenas, instalação de pára-raios, instalações elétricas e alvenaria, entre outros. Como a necessidade desses serviços depende da infra-estrutura inicial, eles não são considerados nas estimativas apresentadas a seguir. Os valores fornecidos representam somente os equipamentos e foram divididos de acordo com os subsistemas identificados no capítulo 3, item 3.6.

As instalações pertinentes à Central de Armazenamento e Processamento, considerando-se a rede local com um PC, a estação de trabalho RISC/UNIX e os programas de conectividade, tiveram um custo estimado em US\$ 35.000,00.

A Unidade Remota de Armazenamento, considerando-se o microcomputador PC, o modem, o rádio-modem, os programas de controle e comunicação e componentes de proteção contra transientes, custou aproximadamente US\$ 5.000,00.

O Posto de Coleta de Dados possui uma parte dos custos fixa e outra variável, de acordo com o número e o tipo de sensores instalados. A parte fixa custou em torno de US\$ 3.000,00 e inclui o circuito mestre do barramento serial multiponto, sistema de alimentação dos sensores (fonte + *no-break*) e os componentes de proteção contra transientes. A parte variável consiste de US\$ 400,00 para cada sensor climatológico, US\$ 180 para cada tensiômetro e US\$ 60 para cada sensor de temperatura do solo. O custo dos sensores climatológicos está baseado na média dos preços encontrados na lista de preços internacionais da Campbell Scientific, Inc..

As instalações da Central de Armazenamento são necessárias exclusivamente para a execução do modelo LEACHMP. Se o interesse no sistema se limitar à aquisição automática dos dados, devem ser considerados somente os custos da Unidade Remota de Armazenamento e do Posto de Coleta de Dados.

5.2.3 Facilidades para o usuário

Cada componente do sistema oferece ao usuário simplicidade de operação e facilidades na instalação e manutenção. No Posto de Coleta de Dados os TDIs são facilmente substituíveis por unidades de reserva. Na Unidade Remota de Armazenamento o controle do sistema se realiza através de um tipo de microcomputador comercial, amplamente difundido no mercado (PC) e o programa de controle possui interface gráfica amigável e é executado em ambiente bastante conhecido (Windows). A adoção do PC implica, também, a facilidade de manutenção desse componente. O emprego do serviço NFS na Central de Armazenamento reduz o número de passos para que os dados alcancem a estação de trabalho.

5.2.4 Aspectos do barramento serial multiponto

A implantação do barramento serial multiponto pode ser considerada mais onerosa que a instalação de um sistema de transmissão analógica com topologia em estrela, sendo os TDIs a maior parte dos custos. Entretanto, a topologia em barramento com a transmissão digital apresenta significantes vantagens para experimentos de campo na pesquisa agropecuária, como as já mencionadas facilidades na instalação e manutenção, confiabilidade nos dados e menor perturbação da área experimental.

5.2.5 Integração de produtos de mercado e desenvolvimentos anteriores

No desenvolvimento do sistema foram integrados componentes de mercado e resultados de desenvolvimentos anteriores. Como exemplo do primeiro caso, tem-se o programa de comunicação PCanywhere. No segundo caso, tem-se a estação climatológica projetada e construída na EMBRAPA-CNPDIA, que se mostrou tecnicamente equiparável ou superior às opções de mercado. A integração desses componentes permitiu maior dedicação onde era necessário.

5.2.6 Possibilidade de ampliação

O número de sensores efetivamente instalados não ultrapassou os 32 permitidos pelo transceptor RS-485 utilizado nos TDIs. Como foi mencionado, o uso de repetidores no barramento permite que esse número seja ampliado. Dependendo do número de sensores pretendido, serão necessárias algumas alterações em diferentes níveis do sistema.

Em nível dos TDIs, uma das questões que poderia ser levantada é com relação ao consumo de corrente. Como exemplo, se forem instalados 100 TDIs, cada um consumindo 45 mA (ver características dos TDIs), o consumo total será de 4,5 A. Pode não parecer muito, mas de imediato a bitola dos cabos e a fonte de alimentação deveriam ser redimensionados. Além disso, se a localidade não dispõe de rede elétrica comercial, a operação com baterias seria inviabilizada. A solução veio do próprio mercado de componentes, que lançou, no primeiro semestre de 1994, uma nova versão de transceptor RS-485, cujo consumo é, no máximo, 350 μ A. Como o transceptor antigo consome 40 mA, o consumo de cada TDI iria para 5,35 mA, e no exemplo acima o consumo total de 100 TDIs seria reduzido para 0,535 A viabilizando, portanto, a ampliação. Adicionalmente, essa nova versão de transceptor suporta até 128 dispositivos no barramento, sem repetidores.

Os fatores limitantes à expansão do número de sensores nessa nova situação seriam o programa de controle e o protocolo de comunicação. O programa de controle está preparado para a leitura de até 45 sensores (5 janelas, 9 sensores por janela) e na definição do protocolo foi previsto um número máximo de 240 sensores. No caso do programa de controle, a solução para a ampliação seria simplesmente a modificação da quantidade de sensores por janela e/ou do próprio número de janelas, seguida da recompilação do programa. Aumentar o limite do protocolo implicaria, também, alterações no programa dos microcontroladores dos TDIs. Nos dois casos, o programa de gerenciamento da base de dados edafo-ambientais na Central de Armazenamento deveria sofrer alterações.

5.2.7 Potencial de utilização do sistema

A leitura manual de variáveis ambientais se faz, usualmente, uma vez ao dia. Nos postos de observação meteorológicos, por exemplo, a cada 24 horas se realiza a leitura instantânea e dos valores máximo e mínimo da temperatura no período, mas não se dispõe do registro contínuo dessa variável. Reunir dados coletados na frequência de leitura de 10 minutos, estabelecida como mínimo e empregada durante os dois anos de operação do sistema, oferece maior potencial de utilização do que observações diárias. Essa característica, aliada à versatilidade de expansão e adaptação de um sistema aberto, oferece grande potencial de utilização para este sistema.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade deste trabalho, está prevista a instalação de mais postos de coleta. Ainda não se tem uma posição definida da quantidade e localização dos mesmos, mas deverão incluir algumas microbacias hidrográficas, como a de Morrinhos, em Goiás e a de Piracicaba, em São Paulo. Pretende-se, com isso, executar um modelo regional alimentado por uma rede de postos de coleta.

Alguns componentes do sistema deverão ser substituídos por equipamentos comerciais; outros deverão ser mantidos e, eventualmente, aperfeiçoados; por fim, novos componentes poderão integrar o sistema. No primeiro caso, enquadra-se o enlace via rádio-modem. Nesse nível de enlace, é de grande interesse experimentar outras opções, como transmissões por infravermelho, rede de telefonia celular e também transmissões via satélite. As localidades ainda não foram visitadas e os fatores distâncias, obstáculos e infra-estrutura disponível definirão o método de comunicação de dados. Entre os componentes a serem mantidos e aperfeiçoados estão os TDIs, o programa de controle na Unidade Remota e o gerenciador da base de dados na Central de Armazenamento e Processamento. Finalmente, como novos componentes, deverão figurar, principalmente, outros tipos de sensores. Em parte, os novos sensores deverão ser desenvolvidos. Há a possibilidade da integração de resultados de trabalhos realizados na EMBRAPA-CNPDI. Em Vaz (1994), apresenta-se o estudo de um sensor para medida direta da concentração de pesticidas em laboratório utilizando polarimetria. Se forem viabilizadas essas medidas no campo, esse sensor seria integrado ao sistema.

A seguir têm-se algumas propostas de aperfeiçoamentos em andamento e almejados.

5.3.1 Novo modelo de caixa para os TDIs

Esse é um trabalho que já se encontra em andamento. A infiltração de água na primeira versão das caixas dos TDIs conduziu ao desenvolvimento de um novo modelo de caixa. O circuito dos TDIs foi acondicionado em caixas no formato cilíndrico (Figura 5.1), com tampas rosqueadas e vedadas com anéis de borracha. Na versão anterior a tampa era parafusada. A conexão do barramento também foi alterada. Até então, havia uma barra de ligações, onde os fios do barramento eram presos por parafusos, depois de desencapados. Adotou-se um conector no padrão DIN, de boa qualidade e vedação razoável, para ser usado em campo. Esses pequenos aperfeiçoamentos devem

proporcionar maior confiabilidade e facilidade de manutenção para os TDIs. Esse novo modelo de caixas deve ser submetido a testes de campo.

Figura 5.1 - TDI para potencial mátrico de água no solo, montado no novo modelo de caixa cilíndrica, e TDI de temperatura no solo, montado na versão anterior de caixa.

5.3.2 Sensor de temperatura múltiplo

A Microchip lançou, no primeiro semestre de 1994, uma versão de microcontrolador compatível com a família PIC16C5X (o modelo utilizado no projeto é o PIC16C56), que contém internamente um conversor analógico/digital de 8 bits de resolução e um multiplexador de 4 entradas. Imediatamente, veio a idéia de se construir um sensor de temperatura do solo múltiplo com esse novo microcontrolador, ou seja, com até quatro sensores montados na mesma haste, sendo lidos pelo mesmo TDI (até então cada TDI transmite a leitura de um único sensor). Esse novo modelo de TDI já foi construído e está em fase de testes no campo.

5.3.3 Processamento local

As limitações de memória do microcontrolador PIC16C56 implicaram restrições às rotinas de leitura dos sensores. Tais rotinas poderiam incluir o processamento local da média de um certo número n de leituras, a fim de melhorar a resolução na etapa de aquisição dos dados, antes de transmiti-los para a Unidade Remota de Armazenamento. Na nova linha de microcontroladores compatíveis com o PIC16C56, como é o caso da

versão utilizada no sensor de temperatura múltiplo, tanto a memória de programa como a memória de dados foi ampliada, tornando possível esse tipo de processamento.

5.3.4 *Análise estatística para correção de dados em tempo real*

A correção de erros de comunicação através do protocolo é uma forma de melhorar a confiabilidade dos dados fornecidos pelo sistema. O *checksum* é de fácil implementação, mas não é a melhor técnica. Com o aumento da capacidade de memória dos PICs, será possível uma versão futura do protocolo, que utilizaria técnicas mais elaboradas de detecção e correção de erros de comunicação. Há, porém, a possibilidade da transmissão correta de leituras alteradas. Os motivos seriam diversos e pode-se citar, como exemplo, a necessidade de manutenção do sensor.

No nível do programa de controle da Unidade Remota, as leituras poderiam ser submetidas a vários testes de validação e erro antes de serem encaminhadas à Central de Armazenamento. Segundo Pessoa et al (1994), os principais métodos praticados para aumentar o grau de confiança nos dados são:

- restrições geofísicas e limites climatológicos e
- análise de séries temporais e análise estatística multivariada para a comparação com observações anteriores e vizinhas, respectivamente.

A detecção de um dado errado pode gerar duas ações: a) em primeiro lugar, a leitura poderia ser repetida e b) persistindo o erro, o dado seria registrado com uma indicação de qualidade a ele associada.

5.3.5 *Módulo de armazenamento redundante*

Houve mais de uma ocasião em que as comunicações entre a Unidade Remota e o Posto de Coleta foram interrompidas. Quando essas interrupções foram de longa duração, ou seja, da ordem de horas ou dias, ocorreu a descontinuidade das leituras. A fim de suprir os dados desses períodos foi previsto, mas não implementado, um módulo de armazenamento redundante junto à estação-base. Esse mestre secundário teria capacidade de armazenamento e processamento inferiores aos da Unidade Remota de Armazenamento, mas poderia assumir o controle do barramento RS-485 temporariamente. Recobradas as comunicações, o módulo repassaria os dados automaticamente à Unidade Remota de Armazenamento que, em seguida, reassumiria o controle.

5.3.6 Atuadores para controle

Apesar do enfoque aqui apresentado ter sido o de aquisição dos dados e telemetria, o sistema possui comunicação bidirecional e, portanto, permite que sejam implementadas funções de atuação através de telecomandos. Como exemplo, tem-se o pluviômetro, que é zerado por um telecomando após sua leitura. Assim, fica aberta a possibilidade de se realizar controle com o sistema. Uma possível aplicação seria o acionamento automático de bombas d'água para controle de irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA GERAL

- ADCON TELEMETRY LTD., Boca Raton, FL, Estados Unidos. **AgroExpert:** climatic station early warning. Boca Raton, 1993.
- ADVANCED MICRO DEVICES, Sunnyvale, CA, Estados Unidos. **Modem technical manual.** Sunnyvale, 1988.
- AGROSYSTEM INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA., São Paulo, SP, Brasil. **Antecipando o futuro no campo:** catálogo de equipamentos para automação rural. São Paulo, 1993.
- AHMED, A.S.; AL-AMOUD, A.I. Infrared telemetry for data acquisition and telecontrol in automatic irrigation scheduling. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.8, n.1, p.73-85, Feb. 1993.
- ALLISON, J.M.; LAND, J.E. Laser-based communication system. **Transactions of the ASAE**, v.32, n.1, p.298-303, Jan./Feb. 1989.
- ANDREWS, W. A low-power PC/104 computer. **Computer Design**, p.112, July 1993.
- ATTEIA, O.; DUBOIS, J.P. Automatic acquisition of data from tensiometers with mercury manometers. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.689-690, May/June 1993.
- AUTEL S.A. TELECOMUNICAÇÕES, São Paulo, SP, Brasil. **RTR-80 VH-UHF:** transceptor monocal 1W e 10W: manual técnico. São Paulo, 1987.
- AUTOMATA AND EXPERSOFT, San Diego, CA, Estados Unidos. **CM-300:** crop management software. San Diego, 1991.
- AVELAR, W.E.P. et al. Contaminação das águas subterrâneas por pesticidas. In: ENCONTRO DE DOCENTES E PESQUISADORES DA USP SOBRE MEIO AMBIENTE, jan, 1988. **Anais...** São Carlos: USP, 1988. p.163-166.
- BAKER, C. **Surge protection for instrumentation.** Trabalho apresentado na Tempcon '78 Conference, London, England, June 1978.
- BANDYOPADHYAY, S.; BHATTACHARYA, U.K.; NIYOGI, S.; SOM, P.; PATRANABIS, D. Instrumentation for continuous *in situ* monitoring of water quality. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v.38, n.3, p.820-823, June 1989.
- BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL, v.57, n.6, pt.2, July/Aug. 1978.

- BENINCASA, G.; CASALEGNO, L.; GELATO, G.; KOUZMENKO, V.; ODIER, P. Implementation of a control protocol in the instrumentation field. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, v.293, p.338-342, 1990.
- BERLIN, M.A. 960 megahertz radio as a telemetry transmission medium. **Advances in Instrumentation**, v.38, pt.1, p.311-315, 1983.
- BRESLER, E. Simultaneous transport of solutes and water under transient unsaturated flow conditions. **Water Resource Research**, v.9, p.965-968, 1973.
- BURR-BROWN, Tucson, AZ, Estados Unidos. **Burr-Brown power sources handbook**. Tucson, 1991. v.1, p.53-54.
- BURTON, P.R. Telemetry for instrumentation and test systems. **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, v.20, p.1302-1311, 1987.
- CAMPBELL SCIENTIFIC, Logan, UT, Estados Unidos. **Data acquisition systems: catálogos**. Logan, 1994.
- CAMPBELL, G.S. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. **Soil Science**, v.117, n.6, p.311-314, 1974.
- CHILDS, S.W.; HANKS, R.J. Model of soil salinity effects on crop growth. **Soil Science Society of America Journal**, v.39, p.617-622, 1975.
- CHOU, W., ed. **Computer communications**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983. v.1.
- CHOU, W., ed. **Computer communications**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. v.2.
- CIARCIA, S. Why microcontrollers?: part 1. **Byte**, v.13, n.8, p.239-247, Aug. 1988.
- CIARCIA, S. Why microcontrollers?: part 2. **Byte**, v.13, n.9, p.303-312, Sept. 1988.
- CLARK, O.M. **Transient voltage threats and protection of communication interfaces**. St. Joseph: ASAE, 1989. (ASAE Paper, 89-3036).
- COCKERHAM, S.T.; ORTEGA, T.R. Remote data acquisition for agricultural experiment station management. **Applied Agricultural Research**, v.4, n.2, p.144-147, 1989.
- COLE, H.L. Air temperature and differential temperature measurement using IC temperature sensors. **Journal of Applied Meteorology**, p.25-30, 1980.
- COMPUTERIZED AGRICULTURE, Gilboa, Israel. **GAL 100 e GAL II: catálogos de sistemas de irrigação computadorizada**. Gilboa, s.d.

- CRAIGHEAD, D.J.; CRAIGHEAD, J.J. Tracking caribou using satellite telemetry. **National Geographic Research**, v.3, n.4, p.462-479, 1987.
- CRESTANA, S., coord. **Transporte, previsão do destino e balanço de pesticidas no solo**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA e CNPMA/IAC/CENA/IF/ IFQSC, 1990. Projeto temático à FAPESP.
- CRESTANA, S.; GIULIANO, A.D.; CASTRO, O.M.; LOTUFO, R.; MARTINS, A.L.M.; TORRE, A. Simulação do destino de uma substância orgânica em um meio poroso sob condições pluviométricas variadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS-ENEMP, 21, Ouro Preto-MG, out. 1993. **Programação e resumos...** Ouro Preto: UFMG-Escola de Engenharia, 1993. p.N7.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.365-371, 1994.
- CROMER, W.A.; MCLENDON, B.D. **Microprocessor-based radio telemetry system for determination of soil moisture status**. St. Joseph: ASAE, 1984. (ASAE Paper, 84-1593).
- CRUVINEL, P.E., coord. **Estação climatológica computadorizada**. São Carlos: EMBRAPA-UAPDIA, 1986. Relatório de pesquisa à EMBRAPA.
- CRUVINEL, P.E.; HERRMANN JR., P.S.P.; TORRE NETO, A. Estação instrumental para coleta e medida automática de parâmetros climatológicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 16, Caxambú-MG, maio 1993. **Resumos estendidos do Grupo de Instrumentação...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1993. p.72-76.
- CRUVINEL, P.E.; VIEIRA, S.R.; CRESTANA, S.; MINATEL, E.R.; MUCHERONI, M.L.; TORRE NETO, A. A technique based on image processing for measuring in automatic mode raindrop size and distribution. (submetido a publicação).
- CULLUM, R.F.; LEWIS, C.E. Automated environmental data collection for research in remote locations. **Agroborealis**, v.17, n.2, p.19-22, 1985.
- CURRY, R.B.; KLINK, J.C.; HOLMAN, J.R.; SCIARINI, M.J. **Development of an automated weather station network in Ohio**. St. Joseph: ASAE, 1981. (ASAE Paper, 81-4502).
- DAHMKE, M. **Microcomputer operating systems**. Peterborough: Byte Books, 1982.
- DANG, G. Ultra-isolation devices yield better protection from electrical noise. **Computer Technology Review**, v.5, n.2, p.187-194, June 1985.

- DAUGHERTY, K. Try PWM for low-cost A-D conversion. **Electronic Design**, p.51-54, Jan. 25, 1990.
- DEVONEY, C. A nação sem fio. **Windows Computing**, v.1, n.0, p.52-78, jul. 1994.
- DEWITT, S.A. Evaluating telemetry alternatives in water distribution systems. **Advances in Instrumentation**, v.40, pt.1, p.255-264, 1985.
- DICKEY-JOHN CORPORATION, Auburn, IL, Estados Unidos. **The new-generation planter monitors: catálogos**. Auburn, 1993.
- DIGITAL communications. In: THE ARRL handbook for radio amateurs. 69.ed. Newington: The American Radio Relay League, 1992. Chapter 19.
- DUEL, A.W.; ROLAND, W.V. Power line disturbances and their effect on computer design and performance. **Hewlett-Packard Journal**, p.25-32, Aug. 1981.
- DUKE, H.R.; BLUE, M.C.; HEERMANN, D.F. Computer interfacing for centre pivot monitoring, control and irrigation scheduling. **In: Agricultural Electronics - 1983 and Beyond**, p.219-227, 1983.
- ELE INTERNATIONAL, Hertfordshire, Inglaterra. **Agronomics catalogue**. Hertfordshire, 1986.
- ELMA TELECOMUNICAÇÕES S/A, São Paulo, SP, Brasil. **Catálogo de produtos para proteção de linhas de transmissão de dados**. São Paulo, s.d.
- EPA. **Quality assurance handbook for air pollution measurement system, Vol.IV**. Meteorological measurements, EPA-600/4-82/042a (revised 1989). Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC. 27711., 1989.
- ESCOBEDO, J.F.; PASSOS, E.F.; SOUZA, M.F. de. Construção e calibração de radiômetros solares: piranômetro e pireliômetro. **Revista de Física Aplicada e Instrumentação**, v.3, n.2, p.118-133., Jun. 1988.
- FEUER, L. Infrared telemetry for agricultural applications. In: AGRI-MATION2: proceedings of the Agri-mation 2 Conference & Exposition, Chicago, Ill., mar. 1986. Michigan: ASAE, 1986. p.207-213.
- FRITSCHEN, L.J.; GAY, L.W. **Environmental instrumentation**. Spring-Verlog, New York., 216p., 1979.
- FRYE, D.E.; OWENS, W.B. Recent developments in ocean data telemetry at woods hole oceanographic institution. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v.16, n.4, p.350-359, Oct. 1991.
- GARDINI, G. **Dicionário de eletricidade, eletrônica, telecomunicações e energia nuclear: inglês/francês/alemão/italiano/espanhol/português**. São Paulo: Hemus, 1980. v.1.

- GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; TURNER, L.W. A survey of electronic environmental controllers. **Transactions of the ASAE**, v.35, n.3, p.993-998, May/June 1992.
- GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; TURNER, L.W. Mechanical backup systems for electronic environmental controllers. **Applied Engineering in Agriculture**, v.8, n.4, p.491-497, July 1992.
- GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; TURNER, L.W. **Transient overvoltage protection of environmental controllers**. St. Joseph: ASAE, 1991. (ASAE Paper, 91-4035).
- GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; TURNER, L.W.; FEHR, R.L. **Transient surge protection for agricultural facilities**. Lexington: University of Kentucky-College of Agriculture-Cooperative Extension Service, 1991. (University of Kentucky. College of Agriculture. Cooperative Extension Service, AEN-70).
- GATES, R.S.; TURNER, L.W.; OVERHULTS, D.G. Transient overvoltage testing of environmental controllers. **Transactions of the ASAE**, v.35, n.2, p.727-733, Mar./Apr. 1992.
- GIOZZA, W.F. et al. **Redes locais de computadores: tecnologia e aplicações**. Rio de Janeiro: EMBRATEL; São Paulo: McGraw-Hill, 1986. p.28-34.
- GRISMER, M.E. **Automated monitoring of remote soil sensors**. St. Joseph: ASAE, 1987. (ASAE Paper, 87-2095).
- GRISMER, M.E. Field sensor networks and automated monitoring of soil water sensors. **Soil Science**, v.154, n.6, p.482-489, Dec. 1992.
- GRUENBERG, E., ed. **Handbook of telemetry and remote control**. New York: McGraw-Hill, 1967.
- HAGUI, S. **Relatório de iniciação científica a FAPESP**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1995.
- HAMAKER, J.W.; THOMPSON, J.M. Absorption. In: **ORGANIC chemicals in the soil environment**. New York: Marcel Dekker, p.49-144., 1972.
- HAYHOE, H.N.; BALCHIN, D. Automatic retrieval of agrometeorological data using a microcomputer and radio telemetry. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.2, p.129-134, 1987.
- HOLB, H.R. A dew-point hygrometer for field use. **Agricultural Meteorology**, v.24, p.117-130, 1981.
- HOWARD, S.J.; PAHLAVAN, K. Measurement and analysis of the indoor radio channel in the frequency domain. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v.39, n.5, p.751-755, Oct. 1990.

- HOWELL, T.A.; MEEK, D.W.; PHENE, C.J.; DAVIS, K.R.; MCCORMICK, R.L. Automated weather data collection for research on irrigation scheduling. **Transactions of the ASAE**, v.27, n.2, p.386-391, 1984.
- HUBBARD, K.G.; ROSENBERG, N.J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, ASCE n.109, p.213-222, 1983.
- HUTSON, J.L. **Estimation of hydrological properties of South African soils**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1983. Tese doutorado.
- INTELLI, Orlândia, SP, Brasil. **Intelli-storm**: catálogos técnicos. Orlândia, s.d.
- INTERCON SYSTEMS CORPORATION, Herndon, VA, Estados Unidos. **About networking**: a guide to TCP/IP and MacTCP. Herndon, 1993.
- INTERCON SYSTEMS CORPORATION, Herndon, VA, Estados Unidos. **TCP/Connect II for windows**: user guide. Herndon, 1994.
- IRISH, J.D.; MOREY, K.E.; NEEDELL, G.J.; WOOD, J.D. A current meter with intelligent data system, environmental sensors, and data telemetry. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v.16, n.4, p.319-328, Oct. 1991.
- JURY, W.A.; GARDNER, W.R.; GARDNER, W.H. **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1991.
- JURY, W.A.; SPENCER, W.F.; FARMER, W.J. Behavior assessment model for trace organics in soil. I: model description. **Journal of Environmental Quality**, v.12, p.558-564, 1983.
- KARICKHOFF, J. Relationship between the soil sorption constants for pesticides and their physicochemical properties. **Environ. Toxicol. Chem.**, v.8, p.477-484, 1989.
- KEMPER, W.D.; VAN SCHAIK, J.C. Diffusion of salts in clay-water systems. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.30, p.534-540, 1966.
- KERNIGHAM, B.W.; RITCHIE, D.M. **The C programming language**. 2.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988.
- KMP, São José dos Campos, SP, Brasil. **Cabos**: catálogo. São José dos Campos, 1991.
- LAIMGRUBER, A.J. Raios, relâmpagos, faíscas, picos, pulsos: os vorazes transientes: parte 1. **AN-EP**, v.103, n.1, p.24-28, 1992.

- LAIMGRUBER, A.J. Raios, relâmpagos, faíscas, picos, pulsos: os vorazes transientes: parte 2. **AN-EP**, v.103, n.2, p.114-120, 1992.
- LATIMER, E.A.; REDDELL, D.L. Components for an advance rate feedback irrigation system (ARFIS). **Transactions of the ASAE**, v.33, n.4, p.1161-1170, July/Aug. 1990.
- LEPCSH, I.S.; VALADARES, J.M.A.S. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Pindorama-SP. **Bragantia**, v.35, p.13-140, 1976.
- LEVY, S.D.; HURST, P.J.; JU, P.; HUGGINS, J.; COLE, C.R. A single-chip 5-V 2400-b/s modem. **IEEE Journal of Solid-State Circuits**, v.25, n.3, p.632-643, June 1990.
- LEWIS, W.H. Effective computer installations require system noise protection. **Computer Technology Review**, v.4, n.4, p.187-200, Nov. 1984.
- LIMA, R.N. **Sistema de telemetria bidirecional versátil**. Campina Grande: UFPb, 1991. Tese mestrado.
- LINEBACK, J.R. The furious race to develop 2,400-b/s modem chip sets. **Electronics**, v.60, n.1, p.84-86, Jan. 1987.
- LOGICODE TECHNOLOGY, INC., Newbury Park, CA, Estados Unidos. **Quickktel modems and fax/modems: user's manual**. Newbury Park, 1991.
- LOW power radio links. **Electronics World & Wireless World**, n.1683, p.140-144, Feb. 1993.
- LOW-power RS-485 ICs draw only 350yA max. **Maxim Engineering Journal**, v.14, p.21, 1994.
- MANSFIELD, P. Interference and noise in instrumentation systems. **Transducer Technology**, p.9-17, Oct. 1982.
- MARDIGUIAN, M. **How to control electrical noise**. 2.ed. Gainesville: Don White, 1983.
- MAZZARELLA, D.A. An inventory of specifications for wind measuring instruments. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, n.53, p.860-871, 1972.
- MCKAY, D.J.; MCTAGGERT-COWAN, J.D. An intercomparison of radiation shields for auto stations. **World Meteorological Organization** (Geneva, Switzerland), n.480, p.208-213, 1977.
- MCLOUGHLIN, R.C.; REDDING, R.J. Protection of electronics from lightning and other large AC power pulses. **EMC Technology**, v.6, n.6, p.33-38, Sept./Oct. 1987.
- METRPLEX CORPORATION, Frederick, MD, Estados Unidos. **Metraplex PCM telemetry systems: standard management and technical proposal**. Frederick, 1989.

- MICROCHIP, Chandler, AZ, Estados Unidos. **Embedded control handbook**. Chandler, 1992. v.1, Section 2.
- MICROCHIP, Chandler, AZ, Estados Unidos. **Microchip Databook**. Chandler, 1993. v.1, Sections 2 and 3.
- A MODEM chip that needs only 5-V power supply. **Electronics**, v.60, n.1, p.81-83, Jan. 1987.
- MOTT, P.; SAMMIS, T.W.; JACKSON, R. Automatic weather data collection and processing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.7, n.4, p.337-345, 1992.
- MOURA, A.D. É possível resgatar o tempo perdido? **Revista Brasileira de Tecnologia**, v.17, n.1, p.5-14, jan./fev. 1986.
- NAKASHIMA, R. J. **Relatório de estágio supervisionado**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1993.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR, Santa Clara, CA, Estados Unidos. Interface. In: _____. **Semiconductor master selection guide**. Santa Clara, 1989. Section 5.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR, Santa Clara, CA, Estados Unidos. LM35/LM35A, LM35C/LM35CA, LM35D: precision centigrade temperature sensors. In: _____. **Data acquisition linear devices databook**. Santa Clara, 1989. Section 9.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR, Santa Clara, CA, Estados Unidos. TIA/EIA-485. In: _____. **Interface: line drivers and receivers databook**. Santa Clara, 1992. Section 3.
- NIMAH, M.N.; HANKS, R.J. Model for estimation of soil water, plant, and atmospheric interrelations: I. Description and sensibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.37, p.522-527, 1973.
- NORTON, P.; YAO, P. **Peter Norton's windows 3.0 power programming techniques**. New York: Bantam Books, 1990.
- NYE, A. **Xlib programming manual: for version 11 of the X window system**. Sebastopol: O'Reilly, 1991. (The Definitive Guides to the Window System, 1).
- NYE, A.; O'REILLY, T. **X toolkit intrinsics programming manual: OSF/Motif 1.1 edition for X11, release 4**. Sebastopol: O'Reilly, 1992. (The Definitive Guides to the Window System, 4).
- ODENBERG, R. **Survival from A.C. power, lightning and data line transients in an agricultural environment**. St. Joseph: ASAE, 1982. (ASAE Paper, 82-3535).
- OLIVEIRA JR., M.L. **Relatório de estágio supervisionado**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1992.

- OMNIDATA, Logan, UT, Estados Unidos. **Catalog**. Logan, 1990. v.2, edition 1.
- OMNI LINK, v.4, n.2, Apr./June 1991.
- OTT, H.W. **Noise reduction techniques in electronic systems**. 2.ed. New York: J.Wiley, 1988.
- OVARLEZ, J.; CABRITA, H.; CADET, D.; OVARLEZ, H. A balloon-borne sonic anemometer-thermometer. **Journal of Applied Meteorology**, p.65-69, 1980.
- PAVÃO, S. **Relatório de estágio supervisionado**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1993.
- PESSOA, M.L.; MINE, M.R.M.; LEITE, E.A., coord. **Meteorologia e hidrologia: aspectos e considerações no contexto brasileiro**. Curitiba: SIMEPAR, 1994.
- PINTO, I.C.A.; PINTO JR., O.; GIN, R.B.B. Relâmpagos. **Ciência Hoje**, v.16, n.95, p.36-43, dez. 1993.
- POGUE, W.R. **Remote sensing of tensiometric data to schedule irrigation**. St. Joseph: ASAE, 1992. (ASAE Paper, 87-2555).
- PULLMAN, R.T.; JENNESS, C.A.; CHRISTIE, A.J. A high accuracy, low power, reproducible temperature telemetry system. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v.39, n.5, p.773-779, Oct. 1990.
- RCA SOLID STATE, Somerville, NJ, Estados Unidos. A/D converter for 3-digit digital readout system. In: _____. **RCA CMOS integrated circuits**. Somerville, 1983.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. p.19.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- RENDIG, V.V.; TAYLOR, H.M. **Principles of soil-plant relationships**. New York: McGraw-Hill, 1989.
- RIORDAN
- SANGWINE, S.J. **Electronic components and technology**. London: Chapman & Hall, 1991.
- SANTOS, G.D.; SALLES, H.C.A.S. Rádio bicanal digital: evolução tecnológica para atendimento rural. **Revista Telebrás - Edição Tecnologia**, v.16, n.56, p.113-118, out. 1992.
- SARGENT, R.J. Telemetry for a flood prevention scheme. **Water Pollution Control**, v.85, n.2, p.153-159, 1986.

- SCHUELLER, J.K. A review and integrating of spatially-variable control of crop production. **Fertilizer Research**, v.33, p.1-34, Oct. 1992.
- SDI-12: a serial/digital interface for microprocessor based sensors, document version 1.1: a revised description of version 1.0. Logan: NR Systems/Campbel, 1993.
- SENSYM, INC., Sunnyvale, CA, Estados Unidos. Stainless steel isolated sensors. In: _____. **1989 solid-state sensor handbook: pressure sensors and accelerometers**. Sunnyvale, 1989. Section 4.
- SHEINGOLD, D.H., ed. **Transducer interfacing handbook: a guide to analog signal conditioning**. Norwood: Analog Devices, 1980.
- SIQUEIRA, R. **Relatório de estágio supervisionado**. São Carlos: EMBRAPA-NPDIA, 1993.
- SKAAR, J.; HEGG, K.; MOE, T.; SMEDSRUD, K., **WMO international hygrometer intercomparison**. Norway: World Meteorological Organization, Geneve, Switzerland, 1989.
- SMITH, B. Data from the depths. **Byte**, v.18, n.8, p.69-78, July 1993.
- SPECIFICATIONS for lightning protection. In: ASAE, St. Joseph, MI, Estados Unidos. **ASAE standards 1988**. St. Joseph, 1988. p.423-426. (ASAE Engineering Practice: ASAE EP381).
- SPER SCIENTIFIC LTD. **Anemometer 840003 and radiation meter 840007: catálogo**. s.n.t.
- SPOSITO, G.; REGINATO, R.J., ed. **Opportunities in basic soil science research**. Madison: Soil Science Society of America, 1992.
- SYMANTEC CORPORATION, Cupertino, CA, Estados Unidos. **The Norton pcANYWHERE for windows: creating Norton pcANYWHERE scripts**. Cupertino, 1993.
- SYMANTEC CORPORATION, Cupertino, CA, Estados Unidos. **The Norton pcANYWHERE for windows: using Norton pcANYWHERE for windows**. Cupertino, 1993.
- TANNER, B.D. Automated weather stations. **Remote Sensing Reviews**, v.5, n.1, p.73-98, 1990.
- THOMSON, S.J.; THREADGILL, E.D. Microcomputer control for soil moisture-based scheduling center pivot irrigation systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.1, n.3, p.321-328, 1987.

- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, p.574-582, 1980.
- TORRE, A. et al. Monitoramento remoto de variáveis edafo-ambientais para modelamento do transporte de pesticidas no solo. IN: PESSOA, M. L. et al. **Meteorologia e Hidrologia: aspectos e considerações no contexto brasileiro**. Curitiba-PR: FINEP, 1994. P.273-308
- TORRE NETO, A.; CRUVINEL, P.E.; SLAETS, J.F.W.; CRESTANA, S. Remote monitoring of environmental variables for modeling of pesticide transport in soil. (submetido a publicação).
- UNIX made easy. Berkeley: Osborne McGraw-Hill, 1990.
- URBIETA, A. Sensitivity study to EOS/ESD of bipolar integrated circuits. **Proceedings of EOS/ESD Symposium**, EOS-8, p.214, 1986.
- VAZ, C.M.P. **Metodologia eletroanalítica para medida de atrazina em águas e solução de solos**. Piracicaba: USP-ESALQ-CENA, 1994. Tese doutorado.
- WAGENET, R.J.; HUTSON, J.L. **LEACHM - Leaching estimation and chemistry model**: a process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 1.0. New York: Water Resources Institute, 1987. 80p. (WRI Continuum, 2).
- WAGENET, R.J.; HUTSON, J.L. Predicting the fate of nonvolatile pesticides in the unsaturated zone. **Journal of Environmental Quality**, v.15, p.315-322, 1986.
- WILKEN, P.; HONEKAMP, D. **Windows system programming**. Grand Rapids: Abacus, 1991.
- WILLIAMSON, T. **Designing microcontroller systems for electrically noisy environments**. Santa Clara: Intel, 1982. (Intel. Application Note, AP-125).
- ZWORLD NEWS, v.4, n.2, Sept. 1994.

7. APÊNDICES

Apêndice A - Leis da transferência de massa usadas para o estudo do solo.

A seguir serão apresentadas, de maneira bastante simplificada, duas equações em que se baseia o desenvolvimento do programa de modelamento LEACHMP. Maiores detalhes podem ser encontrados em Reichardt (1985).

Lei de Darcy

A movimentação da água no solo ocorre devido a diferenças de potencial hidráulico (H) entre diferentes posições nesse meio. A lei de Darcy possibilita quantificar esse movimento, estabelecendo que a densidade de fluxo de água (q) é proporcional ao gradiente de potencial hidráulico (∇H) dentro do solo:

$$q = -K \nabla H$$

onde K é a condutividade hidráulica do solo.

Em um solo não-saturado, a condutividade é função da umidade (θ) do solo. Considerando-se somente o fluxo vertical em um solo não-saturado, a equação de Darcy toma a seguinte forma:

$$q = K(\theta) \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)$$

Equação da continuidade

Para estudos dinâmicos da água no solo é de fundamental importância que se conheça a variação da umidade (θ) em função da posição e do tempo:

$$\theta = \theta(x, t)$$

A equação da continuidade é uma equação diferencial que estabelece a relação entre θ , x e t , cuja solução para cada caso particular fornece a função desejada acima.

De maneira simplificada, a equação da continuidade diz que a umidade varia com o tempo somente quando há variação de fluxo (q) com a posição. No sistema cartesiano, ela tem a forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$$

Apêndice B - Arquivos de entrada e saída do modelo LEACHMP

O Capítulo 1 mostrou um panorama dos principais processos considerados no programa de modelamento LEACHMP. Nas tabelas apresentadas a seguir, há parâmetros que estão indiretamente relacionados a tais processos. A compreensão de todos os detalhes dessas tabelas não é o principal objetivo deste trabalho. O leitor interessado nesse assunto pode recorrer a Wagenet & Hutson (1987).

Os arquivos aqui apresentados foram utilizados na obtenção dos resultados mostrados no Capítulo 4.

Tabelas de entrada¹

```

simulats < DOS Filename (eight characters).
-----
LEACHMP PESTICIDE DATA FILE.
(A value must be present for each item, although it may not be Bused)
*****
Date type (US:1 UK:2) 1
Starting date 032594 Ending (date or day no.) 16
Largest time interval (day) .0500E+00 Maximum water flux/time st .0100E-00
Read theta(1) or pot'1(2) 2 No. of chemical species 1
No. of water applications 6 No. chemical applications 1
Cycles through data 1 No. of crops 0
-----
PROFILE DETAILS
-----
Profile depth (mm) .1000E+04 Bottom boundary condition 2
Segment thickness (mm) .1000E+03 :1 or 5, water table depth .0000E+04
-----
DIFFUSION/DISPERSION
-----
Molecular diffusion | Do .1200E+03 Dispersivity (mm) .1000E+02
coefficient (mm2/d) | DIFA .1000E-02 Diff coeff in air (mm2/d) .4300E+06
(Bresler's eq.) | DIFB .1000E+02 Barometric enhancement .0000E+00
-----
NUMBER OF OUTPUT FILES 1 Outflow incr. for BTC (mm) 1.0
-- .OUT file -----
Units: 1 ug/kg, 2 mg/m2 ----- .SUM file -----
Node print frequency 1 Summary print interval (d) 1.00
Print options: 1, 2 or 3 1 Three depth segments for the summary
1: Time intervals/print 2 file (0's default to thirds of the
2: days/print 1.0 profile) (mm) : 300
3: No. of prints 2 Surface to [depth 1?] 600
Tables printed: 1,2 or 3 2 Depth 1 to [depth 2?] 1500
2 Depth 2 to [depth 3?]
-----
List here the times at which *.OUT file is desired for print option 3
(The number of times must match the 'No. of prints' above)
Date or Time of day (At least one must be specified
Day no. (to nearest tenth) even if print option is not B3)
-----
122688 .2
010189 .5
-----
*****
SOIL PHYSICAL PROPERTIES
-----
--(Retentivity model 0 uses listed Campbell's retention parameters,
-- otherwise the desired pedotransfer function is used)
-----
Soil Particle size distribution Match K(h) at: Pedotransfer
Layer Clay Silt Rho Organic K Matric function:
no. % % kg/dm3 carbon % nm/d pot'1 Retentivity
model Bno.
-----
1 5.90 1.70 1.41 1.0 2282 -0. 0
2 7.30 1.70 1.7204 1.0 2282 -0. 0
3 11.7 2.20 1.6546 1.0 2282 -0. 0
4 29.2 4.40 1.38 0.5 2282 -0. 0
5 26.7 7.50 1.50 0.5 2282 -0. 0
6 22.9 8.70 1.28 0.5 569 -0. 0
7 22.9 8.70 1.28 0.5 569 -0. 0
8 15.6 11.0 1.41 0.5 569 -0. 0
9 15.6 11.0 1.41 0.5 569 -0. 0
10 15.6 11.0 1.41 0.5 569 -0. 0
-----
Particle density kg/dm3: Clay Sand Organic matter
3.00 2.65 1.10

```

¹ Os dados fornecidos pelo sistema estão em negrito.

```

*****
For a uniform profile: Any non-zero value here will override those in
the table of hydrological characteristics below.
-----
0.0      <Soil bulk density Mg/cu.m
-0.00    <Air -entry value' kPa
0.00     <Exponent in Campbell's water retention equation
0000 -0.0 <Conductivity (mm/day) and corresponding matric potential (kPa)
1        <Dispersivity scaling (relative to value Babove)
*****
Soil | Starting values | Water retention | Root | Dispersivity
layer | Pot'l or Theta | parameters | fraction | scaling (relative
no. | kPa | AEV BCAM | (for const | to reference
| | | kPa | root distr)| above)
-----|-----|-----|-----|-----
1      -218.9  0.0  -.205E+02  2.50  0.100  1  3
2      -100.3  0.0  -.250E+02  3.50  0.100  1  3
3      -100.3  0.0  -.250E+02  3.50  0.050  1  3
4      -38.1   0.0  -.220E+02  4.00  0.000  1  3
5      -38.1   0.0  -.220E+02  4.00  0.000  1  3
6      -38.1   0.0  -.220E+02  4.00  0.000  1  3
7      -38.1   0.0  -.220E+02  4.00  0.000  1  3
8      -2.1    0.0  -.220E+02  4.00  0.000  1  3
9      -2.1    0.0  -.230E+02  4.00  0.000  1  3
10     -2.1    0.0  -.230E+02  4.00  0.000  1  3
*****
CROP DATA
-----
Data for at least one crop must be specified, even if no crop desired.
For fallow soil, set flag below to 0, or germination past the end date.
-----
0      <Plants present: 1 yes, 0 no. This overrides all other crop data.
1      <Roots: Constant (1), using data specified above; growing (2).
-1500  <Wilting point (soil) kPa.
-3000  <Min.root water pot'l(kPa).
1.1    <Maximum ratio of actual to potential transpiration (dry surface).
1.05   <Root resistance weights water uptake by depth. (No weighting: 1.0)
-----
Crop Germination Emergence Maturity Harvest Rel. Crop Pan
no   Root Plant   no   no   root cover factor
77   Date or Day no   depth fraction
-----
1    110692    121992  030192  030892  040892  1.00  0.8  1.00
-----
INITIAL PROFILE DATA
-----
Soil Temperature Chem1 Chem2 Chem3 Chem4
layer C      ---mg/kg dry soil---
-----
1      24.50      0.0      0.0      0.0      000.0
2      25.60      0.0      0.0      0.0      000.0
3      26.54      0.0      0.0      0.0      000.0
4      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
5      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
6      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
7      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
8      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
9      26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
10     26.69      0.0      0.0      0.0      000.0
-----
Concentration (mg/l) below the profile (leave at zero)
0.0      0.0      0.0      0.0
-----
*****
CHEMICAL PROPERTIES
-----
Species Solub Vap.Dens Koc L Equil Phase Plant
No. Name mg/dm3 mg/dm3 l/kg sites trans Uptake
----- 1(yes),0(no)
1 ' ATRAZINE' .700E+04 .160E-04 1.63E+02 1 0.00 00.00 0
*****
* The values of L1,L2-->Ln ('Link' in the Chemical Properties above)
* determine which species form a transformation chain.
* Setting Ln = 0 breaks the pathway, Ln = 1 restores it.
*
* Transformation pathways----->
* | RATE 1 RATE 2 RATE 3 RATE 4
* SE1---/L1/--->SE2---/L2/--->SE3---/L3/--->SE4---/L4/--->...
* | RATE 5 RATE 6 RATE 7 RATE 8 Degradation
* | | | | pathways
* v v v v |
* PRODUCT PRODUCT PRODUCT PRODUCT |
* v
*****

```

ADJUSTMENTS TO TRANSFORMATION AND DEGRADATION RATE CONSTANTS

0 <Rate constants apply to bulk soil (1), or solution phase only (0)
 Temperature and water content effects on rate constants:
 0 <Include temperature subroutine and adjustments? yes(1), no(0)
 3 <Q10: factor by which rate constant changes per 10 C increase
 20 <Base temperature: at which rate constants below apply
 35 <Optimum temperature: Q10 relationship applies from 0 C to here
 50 <Maximum temperature: Rate constants decrease from optimum to here
 .08 <High end of optimum water content range: air-filled porosity
 -300 <Lower end of optimum water content: matric potential kPa
 -1500 <Minimum matric potential for transformations kPa
 0.6 <Relative transformation rate at saturation

TRANSFORMATION RATE CONSTANTS

Layer no	Chemical 1	Chemical 2	Chemical 3	Chemical 4
	<----- day ** -1 ----->			
1	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
2	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
3	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
4	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
5	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
6	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
7	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
8	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
9	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00
10	0.1220E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00

DEGRADATION RATE CONSTANTS

LayerORB no	Chemical 1	Chemical 2	Chemical 3	Chemical 4
	<----- day ** -1 ----->			
1	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
2	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
3	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
4	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
5	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
6	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
7	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
8	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
9	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01
10	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-00	0.0000E-01

CHEMICAL APPLICATIONS

START OF DAY (Date or Day no.)	INCORP'N (SEGMENTS)	CHEM1 mg/sq.m	CHEM2 (1mg/sq.m = .01kg/ha)	CHEM3	CHEM4
1	0	250.00	000.0	000.0	000.00

RAIN/IRRIGATION AND WATER COMPOSITION

(Choosing the steady-state flow option will prevent calls to the water flow subroutine, fix flux at that specified and keep theta constant with time.
 Interrupted steady-state can be specified by an appropriate times and amounts)

0 < Steady-state? yes(1), no(0). Set 0 for transient flow.
 0.4 < Water content for steady-state (theta)

Start time Date or Day no.	Time of day	Amount mm	Surface flux density mm/d	Dissolved in water (can be 0) Chem1	Chem2	Chem3	Chem3.....
				mg/l			
1	0.054	23.3	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
2	0.021	6.3	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
3	0.017	0.9	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
7	0.079	30.9	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
12	0.058	5.3	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
13	0.038	17.6	500.0	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00

POTENTIAL ET (WEEKLY TOTALS, mm), DEPTH TO WATER TABLE (mm) MEAN WEEKLY TEMPERATURES AND MEAN WEEKLY AMPLITUDE (degrees C)

Week no.	ET	Water table	Mean temp	Amplitude
1	56.0	0.	26.25	5.03
2	56.0	0.	25.24	7.53
3	56.0	0.	28.0	4.0
4	56.0	0.	28.0	4.0
5	56.0	0.	29.0	3.0
6	56.0	0.	29.0	3.0

7	56.0	0.	28.0	4.0
8	56.0	0.	28.0	4.0
9	56.0	0.	28.0	4.0
10	56.0	0.	28.0	4.0
11	56.0	0.	29.0	3.0
12	56.0	0.	29.0	3.0
13	56.0	0.	28.0	4.0
14	56.0	0.	28.0	4.0
15	56.0	0.	28.0	4.0
16	56.0	0.	28.0	4.0
17	56.0	0.	29.0	3.0
18	56.0	0.	29.0	3.0

Tabelas de saída

simulats.OUT

SOIL HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS

PREDICTED RETENTIVITY AND CONDUCTIVITY DATA

Depth (mm)	Water content, theta (Conductivity mm/day)										
Satur	-0.3kPa	-1.0kPa	-3 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100kPa	-300kPa	-1000 kPa	a (kPa)	b	Ti Hi (kPa)
50.	0.459	0.459	0.459	0.458	0.452	0.393	0.243	0.157	0.097-20.500	2.500	0.382 -
32.338	0.228E+04	0.228E+04	0.228E+04	0.225E+04	0.194E+04	0.485E+03	0.403E+01	0.498E-01	0.403E-03		
150.	0.341	0.341	0.341	0.341	0.338	0.317	0.229	0.168	0.119-25.000	3.500	0.298 -
39.894	0.228E+04	0.228E+04	0.228E+04	0.226E+04	0.208E+04	0.947E+03	0.197E+02	0.455E+00	0.734E-02		
250.	0.369	0.369	0.369	0.369	0.366	0.343	0.248	0.182	0.129-25.000	3.500	0.323 -
39.894	0.228E+04	0.228E+04	0.228E+04	0.226E+04	0.208E+04	0.947E+03	0.197E+02	0.455E+00	0.734E-02		
350.	0.491	0.491	0.491	0.490	0.486	0.451	0.336	0.255	0.189-22.000	4.000	0.436 -
35.240	0.228E+04	0.228E+04	0.228E+04	0.226E+04	0.203E+04	0.766E+03	0.166E+02	0.468E+00	0.936E-02		
450.	0.445	0.445	0.445	0.444	0.441	0.409	0.305	0.231	0.171-22.000	4.000	0.395 -
35.240	0.228E+04	0.228E+04	0.228E+04	0.226E+04	0.203E+04	0.766E+03	0.166E+02	0.468E+00	0.936E-02		
550.	0.524	0.524	0.524	0.524	0.519	0.482	0.359	0.273	0.202-22.000	4.000	0.466 -
35.240	0.569E+03	0.569E+03	0.568E+03	0.563E+03	0.506E+03	0.191E+03	0.415E+01	0.117E+00	0.233E-02		
650.	0.524	0.524	0.524	0.524	0.519	0.482	0.359	0.273	0.202-22.000	4.000	0.466 -
35.240	0.569E+03	0.569E+03	0.568E+03	0.563E+03	0.506E+03	0.191E+03	0.415E+01	0.117E+00	0.233E-02		
750.	0.471	0.471	0.471	0.471	0.467	0.433	0.323	0.245	0.181-22.000	4.000	0.419 -
35.240	0.569E+03	0.569E+03	0.568E+03	0.563E+03	0.506E+03	0.191E+03	0.415E+01	0.117E+00	0.233E-02		
850.	0.471	0.471	0.471	0.471	0.467	0.437	0.326	0.248	0.184-23.000	4.000	0.419 -
36.842	0.569E+03	0.569E+03	0.568E+03	0.564E+03	0.511E+03	0.210E+03	0.479E+01	0.135E+00	0.270E-02		
950.	0.471	0.471	0.471	0.471	0.467	0.437	0.326	0.248	0.184-23.000	4.000	0.419 -
36.842	0.569E+03	0.569E+03	0.568E+03	0.564E+03	0.511E+03	0.210E+03	0.479E+01	0.135E+00	0.270E-02		

TIME ELAPSED	0.000 DAYS	CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/25/94	Water	ATRAZINE
		mm	mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	379.8	0.0
Undissolved on soil surface	:		250.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	0.0	250.0
Additions: i) in rain or irrig	:	0.0	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	0.0	0.0
ii) by evap/volizn/convsrn	:	0.0	0.0
iii) by transformation	:		0.0
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node	Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth			i-.5	Total	Solution	Gas
mm		kPa	mm	ug/kg	mg/l	ug/l
50.	0.178	-218.90	0.0	0.119E+06	0.944E+09	0.216E+14
150.	0.229	-100.30	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
250.	0.248	-100.30	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
350.	0.428	-38.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
450.	0.388	-38.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
550.	0.457	-38.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
650.	0.457	-38.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
750.	0.471	-2.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
850.	0.471	-2.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
950.	0.471	-2.10	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Drainage flux : 0.0						

Total 379.8 0.00

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of 1st %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 5th %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 15th %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 50th %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 84th %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 95th %ile	0 mm 0.00E+00
Depth and conc of 99th %ile	0 mm 0.00E+00

TIME ELAPSED	1.000 DAYS	CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/25/94	Water	ATRAZINE
		mm	mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	347.4	222.7
Undissolved on soil surface	:		0.0

```

Cum. runoff      :      0.0
Simulated change :    -32.4      222.7
Additions: i) in rain or irrig :    23.3      0.0
              ii) as amendment :      0.0      250.0
Losses: i) in drainage :    55.7      0.0
          ii) by evap/voltn/cnvrns:    0.0      0.1
          iii) by transformation :      0.0      27.3
          iv) by degradation :      0.0      0.0
          v) by plant uptake :      0.0      0.0
Mass error       :      0.0      0.0

```

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded# water application 0.0000E+00

Node	Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth			i-.5	Total	Solution	Gas
mm		kPa	mm	ug/Kg	mg/l	ug/l
50.	0.289	-65.24	23.3	0.737E+03	0.360E+01	0.823E-05
150.	0.260	-64.31	12.2	0.390E+03	0.258E+01	0.589E-05
250.	0.283	-63.39	9.1	0.203E+03	0.119E+01	0.271E-05
350.	0.378	-62.49	5.6	0.972E+02	0.355E+00	0.811E-06
450.	0.344	-61.63	10.6	0.230E+02	0.100E+00	0.229E-06
550.	0.406	-60.88	15.0	0.707E+01	0.223E-01	0.509E-07
650.	0.407	-60.58	20.0	0.148E+01	0.467E-02	0.107E-07
750.	0.366	-60.40	25.0	0.264E+00	0.102E-02	0.232E-08
850.	0.370	-60.27	35.5	0.548E-01	0.208E-03	0.477E-09
950.	0.371	-60.17	45.6	0.108E-01	0.411E-04	0.939E-10

Drainage flux : 55.7

Total 347.4 222.65

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	2 mm	0.10E+03
Depth and conc of	5th %ile	10 mm	0.10E+03
Depth and conc of	16th %ile	34 mm	0.10E+03
Depth and conc of	50th %ile	110 mm	0.67E+02
Depth and conc of	84th %ile	247 mm	0.34E+02
Depth and conc of	95th %ile	351 mm	0.13E+02
Depth and conc of	99th %ile	468 mm	0.34E+01

TIME ELAPSED	2.000 DAYS	CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/26/94	Water	ATRAZINE
		mm	mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	332.8	197.0
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-47.0	197.0
Additions: i) in rain or irrig	:	29.6	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	76.5	0.0
ii) by evap/voltn/cnvrns	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		52.9
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded# water application 0.0000E+00

Node	Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth			i-.5	Total	Solution	Gas
mm		kPa	mm	ug/Kg	mg/l	ug/l
50.	0.272	-75.98	6.3	0.499E+03	0.259E+01	0.592E-05
150.	0.249	-75.05	8.0	0.345E+03	0.239E+01	0.546E-05
250.	0.271	-74.12	9.1	0.231E+03	0.141E+01	0.322E-05
350.	0.363	-73.23	10.4	0.143E+03	0.545E+00	0.124E-05
450.	0.330	-72.36	11.8	0.427E+02	0.194E+00	0.443E-06
550.	0.390	-71.61	13.2	0.167E+02	0.548E-01	0.125E-06
650.	0.391	-71.31	14.8	0.443E+01	0.145E-01	0.332E-07
750.	0.351	-71.13	16.4	0.986E+00	0.396E-02	0.904E-08
850.	0.356	-70.99	17.9	0.257E+00	0.102E-02	0.233E-08
950.	0.356	-70.90	19.4	0.637E-01	0.252E-03	0.577E-09

Drainage flux : 20.9

Total 332.8 197.02

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	2 mm	0.70E+02
Depth and conc of	5th %ile	14 mm	0.70E+02
Depth and conc of	16th %ile	44 mm	0.70E+02
Depth and conc of	50th %ile	147 mm	0.59E+02
Depth and conc of	84th %ile	293 mm	0.38E+02
Depth and conc of	95th %ile	397 mm	0.20E+02
Depth and conc of	99th %ile	543 mm	0.21E+01

TIME ELAPSED	3.000 DAYS	CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/27/94	Water	ATRAZINE
		mm	mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	321.7	174.3
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-58.1	174.3
Additions: i) in rain or irrig	:	30.5	0.0
ii) as amendment	:		250.0

Losses: i) in drainage : 88.6 0.0
 ii) by evap/voltn/cnvrnsn : 0.0 0.1
 iii) by transformation : 75.6 0.0
 iv) by degradation : 0.0 0.0
 v) by plant uptake : 0.0 0.0
 Mass error : 0.0 0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-1.5 mm	ATRAZINE		
			Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l	
50.	0.259	-85.64	0.9	0.407E+03	0.222E+01	0.507E-05
150.	0.240	-84.91	2.2	0.296E+03	0.212E+01	0.485E-05
250.	0.261	-83.99	3.1	0.212E+03	0.134E+01	0.307E-05
350.	0.352	-83.09	4.0	0.145E+03	0.569E+00	0.130E-05
450.	0.320	-82.22	5.1	0.478E+02	0.224E+00	0.512E-06
550.	0.378	-81.47	6.2	0.209E+02	0.709E-01	0.162E-06
650.	0.378	-81.17	7.4	0.625E+01	0.212E-01	0.484E-07
750.	0.340	-80.99	8.7	0.157E+01	0.651E-02	0.149E-07
850.	0.344	-80.85	9.8	0.464E+00	0.190E-02	0.434E-08
950.	0.344	-80.75	10.9	0.131E+00	0.535E-03	0.122E-08

Drainage flux : 12.1

Total 321.7 174.32

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st Wile	3 mm	0.57E+02
Depth and conc of	5th Wile	15 mm	0.57E+02
Depth and conc of	16th Wile	48 mm	0.57E+02
Depth and conc of	50th Wile	158 mm	0.51E+02
Depth and conc of	84th Wile	315 mm	0.20E+02
Depth and conc of	95th Wile	431 mm	0.72E+01
Depth and conc of	99th Wile	576 mm	0.27E+01

TIME ELAPSED 4.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/28/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	313.5	154.2
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-66.3	154.2
Additions: i) in rain or irrig	:	30.5	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	96.8	0.0
ii) by evap/voltn/cnvrnsn	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		95.7
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-1.5 mm	ATRAZINE		
				Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l
50.	0.249	-94.22	0.0	0.347E+03	0.196E+01	0.448E-05
150.	0.234	-93.29	0.9	0.256E+03	0.188E+01	0.430E-05
250.	0.254	-92.37	1.6	0.189E+03	0.123E+01	0.281E-05
350.	0.344	-91.47	2.3	0.137E+03	0.548E+00	0.125E-05
450.	0.312	-90.60	3.1	0.477E+02	0.229E+00	0.524E-06
550.	0.369	-89.85	3.9	0.224E+02	0.778E-01	0.178E-06
650.	0.369	-89.54	4.8	0.721E+01	0.250E-01	0.572E-07
750.	0.332	-89.36	5.7	0.195E+01	0.830E-02	0.190E-07
850.	0.336	-89.22	6.5	0.624E+00	0.262E-02	0.599E-08
950.	0.336	-89.12	7.4	0.191E+00	0.801E-03	0.183E-08

Drainage flux : 6.2

Total 313.5 154.24

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st Wile	3 mm	0.49E+02
Depth and conc of	5th Wile	15 mm	0.49E+02
Depth and conc of	16th Wile	50 mm	0.49E+02
Depth and conc of	50th Wile	164 mm	0.44E+02
Depth and conc of	84th Wile	329 mm	0.19E+02
Depth and conc of	95th Wile	450 mm	0.72E+01
Depth and conc of	99th Wile	592 mm	0.29E+01

TIME ELAPSED 5.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/29/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	307.3	136.5
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-72.5	136.5
Additions: i) in rain or irrig	:	30.5	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	103.0	0.0
ii) by evap/voltn/cnvrnsn	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		113.4
iv) by degradation	:		0.0

v) by plant uptake : 0.0 0.0
 Mass error : 0.0 0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-1.5 mm	ATRAZINE		
			Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l	
50.	0.242	-101.25	0.0	0.298E+03	0.173E+01	0.397E-05
150.	0.229	-100.32	0.7	0.222E+03	0.166E+01	0.381E-05
250.	0.249	-99.40	1.2	0.167E+03	0.111E+01	0.254E-05
350.	0.337	-98.50	1.7	0.126E+03	0.516E+00	0.118E-05
450.	0.306	-97.63	2.3	0.459E+02	0.225E+00	0.514E-06
550.	0.362	-96.88	2.9	0.226E+02	0.801E-01	0.183E-06
650.	0.362	-96.57	3.6	0.767E+01	0.271E-01	0.620E-07
750.	0.326	-96.39	4.3	0.219E+01	0.948E-02	0.217E-07
850.	0.329	-96.25	4.9	0.739E+00	0.316E-02	0.723E-08
950.	0.330	-96.15	5.6	0.239E+00	0.102E-02	0.234E-08

Drainage flux : 6.2

Total 307.3 136.47

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	3 mm	0.42E+02
Depth and conc of	5th %ile	16 mm	0.42E+02
Depth and conc of	16th %ile	51 mm	0.42E+02
Depth and conc of	50th %ile	168 mm	0.36E+02
Depth and conc of	84th %ile	338 mm	0.17E+02
Depth and conc of	95th %ile	463 mm	0.69E+01
Depth and conc of	99th %ile	606 mm	0.98E+00

TIME ELAPSED 6.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/30/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	302.3	120.7
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-77.5	120.7
Additions: i) in rain or irrig	:	30.5	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	107.9	0.0
ii) by evap/volatzn/convisn	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		129.2
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-1.5 mm	ATRAZINE		
				Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l
50.	0.237	-107.37	0.0	0.258E+03	0.153E+01	0.351E-05
150.	0.225	-106.45	0.6	0.193E+03	0.147E+01	0.337E-05
250.	0.245	-105.52	0.9	0.148E+03	0.100E+01	0.229E-05
350.	0.332	-104.62	1.4	0.115E+03	0.478E+00	0.109E-05
450.	0.302	-103.76	1.9	0.433E+02	0.215E+00	0.491E-06
550.	0.356	-103.00	2.3	0.221E+02	0.795E-01	0.162E-06
650.	0.357	-102.69	2.9	0.780E+01	0.280E-01	0.640E-07
750.	0.321	-102.51	3.4	0.232E+01	0.102E-01	0.233E-07
850.	0.324	-102.37	3.9	0.814E+00	0.354E-02	0.809E-08
950.	0.325	-102.27	4.4	0.275E+00	0.120E-02	0.273E-08

Drainage flux : 4.9

Total 302.3 120.74

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	3 mm	0.36E+02
Depth and conc of	5th %ile	16 mm	0.36E+02
Depth and conc of	16th %ile	53 mm	0.36E+02
Depth and conc of	50th %ile	172 mm	0.33E+02
Depth and conc of	84th %ile	346 mm	0.16E+02
Depth and conc of	95th %ile	473 mm	0.65E+01
Depth and conc of	99th %ile	627 mm	0.10E+01

TIME ELAPSED 7.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE	3/31/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2
Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	323.0	106.8
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-56.8	106.8
Additions: i) in rain or irrig	:	61.4	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	116.2	0.0
ii) by evap/volatzn/convisn	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		143.1
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux 1.5 mm	ATRAZINE		Gas
			Total ug/kg	Solution mg/l		ug/l
50.	0.260	-84.57	30.9	0.857E+02	0.464E+00	0.106E-05
150.	0.241	-82.65	28.5	0.120E+03	0.858E+00	0.196E-05
250.	0.262	-82.72	28.9	0.155E+03	0.977E+00	0.223E-05
350.	0.353	-81.82	25.2	0.180E+03	0.705E+00	0.161E-05
450.	0.321	-80.96	23.1	0.869E+02	0.406E+00	0.928E-06
550.	0.379	-80.20	21.1	0.525E+02	0.177E+00	0.405E-06
650.	0.380	-79.90	18.8	0.199E+02	0.672E-01	0.154E-06
750.	0.342	-79.72	16.5	0.569E+01	0.243E-01	0.556E-07
850.	0.346	-79.58	14.4	0.195E+01	0.798E-02	0.182E-07
950.	0.346	-79.48	12.3	0.603E+00	0.246E-02	0.562E-08

Drainage flux : 10.2

Total 323.0 106.83

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	8 mm	0.12E+02
Depth and conc of	5th %ile	44 mm	0.12E+02
Depth and conc of	16th %ile	124 mm	0.21E+02
Depth and conc of	50th %ile	280 mm	0.26E+02
Depth and conc of	84th %ile	449 mm	0.13E+02
Depth and conc of	95th %ile	576 mm	0.67E+01
Depth and conc of	99th %ile	714 mm	0.83E+00

TIME ELAPSED 8.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 1/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 314.4	94.5	
Undissolved on soil surface	: 0.0	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -65.4	94.5	
Additions: i) in rain or irrig	: 61.4	0.0	
ii) as amendment	: 0.0	250.0	
Losses: i) in drainage	: 126.8	0.1	
ii) by evap/volatiln/cnvrnsn	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	: 0.0	155.4	
iv) by degradation	: 0.0	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded? water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux 1.5 mm	ATRAZINE		Gas
				Total ug/kg	Solution mg/l	ug/l
50.	0.250	-93.19	0.0	0.730E+02	0.411E+00	0.939E-06
150.	0.235	-92.26	1.0	0.102E+03	0.745E+00	0.170E-05
250.	0.255	-91.33	1.7	0.132E+03	0.857E+00	0.196E-05
350.	0.345	-90.43	2.4	0.160E+03	0.639E+00	0.146E-05
450.	0.313	-89.57	3.3	0.806E+02	0.386E+00	0.882E-06
550.	0.370	-88.81	4.1	0.517E+02	0.179E+00	0.409E-06
650.	0.370	-88.51	5.0	0.212E+02	0.732E-01	0.167E-06
750.	0.333	-88.33	6.0	0.682E+01	0.289E-01	0.660E-07
850.	0.337	-88.19	6.8	0.248E+01	0.104E-01	0.237E-07
950.	0.337	-88.09	7.7	0.838E+00	0.351E-02	0.802E-08

Drainage flux : 8.6

Total 314.4 94.50

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	9 mm	0.10E+02
Depth and conc of	5th %ile	45 mm	0.10E+02
Depth and conc of	16th %ile	127 mm	0.17E+02
Depth and conc of	50th %ile	289 mm	0.22E+02
Depth and conc of	84th %ile	463 mm	0.12E+02
Depth and conc of	95th %ile	591 mm	0.66E+01
Depth and conc of	99th %ile	750 mm	0.96E+00

TIME ELAPSED 9.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 2/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 308.0	83.6	
Undissolved on soil surface	: 0.0	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -71.8	83.6	
Additions: i) in rain or irrig	: 61.4	0.0	
ii) as amendment	: 0.0	250.0	
Losses: i) in drainage	: 133.2	0.1	
ii) by evap/volatiln/cnvrnsn	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	: 0.0	166.2	
iv) by degradation	: 0.0	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded? water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux 1.5 mm	ATRAZINE		Gas
				Total ug/kg	Solution mg/l	ug/l

50.	0.243	-100.27	0.0	0.627E+02	0.364E+00	0.831E-06
150.	0.230	-99.44	0.7	0.867E+02	0.650E+00	0.148E-05
250.	0.250	-98.51	1.2	0.114E+03	0.753E+00	0.172E-05
350.	0.338	-97.61	1.8	0.141E+03	0.575E+00	0.131E-05
450.	0.307	-96.75	2.4	0.735E+02	0.359E+00	0.820E-06
550.	0.363	-95.99	3.0	0.492E+02	0.174E+00	0.397E-06
650.	0.363	-95.69	3.7	0.212E+02	0.747E-01	0.171E-06
750.	0.326	-95.50	4.5	0.722E+01	0.312E-01	0.713E-07
850.	0.330	-95.37	5.1	0.279E+01	0.119E-01	0.272E-07
950.	0.330	-95.27	5.7	0.101E+01	0.429E-02	0.981E-08

Drainage flux : 6.4

Total 308.0 83.59

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of 1st %ile	9 mm	0.88E+01
Depth and conc of 5th %ile	47 mm	0.88E+01
Depth and conc of 16th %ile	130 mm	0.15E+02
Depth and conc of 50th %ile	295 mm	0.19E+02
Depth and conc of 84th %ile	474 mm	0.11E+02
Depth and conc of 95th %ile	603 mm	0.27E+01
Depth and conc of 99th %ile	770 mm	0.10E+01

TIME ELAPSED 10.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 3/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 302.9	73.9	
Undissolved on soil surface	:	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -76.8	73.9	
Additions: i) in rain or irrig	: 61.4	0.0	
ii) as amendment	:	250.0	
Losses: i) in drainage	: 138.2	0.1	
ii) by evap/volitzn/cnvrsm	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	:	175.9	
iv) by degradation	:	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-.5 mm	ATRAZINE		
				Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l
50.	0.237	-106.60	0.0	0.542E+02	0.322E+00	0.736E-06
150.	0.226	-105.67	0.6	0.746E+02	0.568E+00	0.130E-05
250.	0.245	-104.74	1.0	0.982E+02	0.663E+00	0.151E-05
350.	0.333	-103.84	1.4	0.124E+03	0.515E+00	0.118E-05
450.	0.302	-102.98	1.9	0.664E+02	0.329E+00	0.753E-06
550.	0.357	-102.22	2.4	0.459E+02	0.165E+00	0.376E-06
650.	0.357	-101.91	3.0	0.205E+02	0.735E-01	0.168E-06
750.	0.321	-101.73	3.5	0.729E+01	0.320E-01	0.731E-07
850.	0.325	-101.59	4.0	0.295E+01	0.128E-01	0.293E-07
950.	0.325	-101.49	4.6	0.111E+01	0.483E-02	0.110E-07

Drainage flux : 5.1

Total 302.9 73.94

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of 1st %ile	9 mm	0.76E+01
Depth and conc of 5th %ile	48 mm	0.76E+01
Depth and conc of 16th %ile	132 mm	0.13E+02
Depth and conc of 50th %ile	301 mm	0.17E+02
Depth and conc of 84th %ile	482 mm	0.10E+02
Depth and conc of 95th %ile	629 mm	0.26E+01
Depth and conc of 99th %ile	783 mm	0.10E+01

TIME ELAPSED 11.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 4/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 298.7	65.4	
Undissolved on soil surface	:	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -81.0	65.4	
Additions: i) in rain or irrig	: 61.4	0.0	
ii) as amendment	:	250.0	
Losses: i) in drainage	: 142.4	0.1	
ii) by evap/volitzn/cnvrsm	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	:	184.4	
iv) by degradation	:	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Depth mm	Theta	Potnl kPa	Flux i-.5 mm	ATRAZINE		
				Total ug/kg	Solution mg/l	Gas ug/l
50.	0.233	-112.14	0.0	0.470E+02	0.285E+00	0.651E-06
150.	0.222	-111.21	0.5	0.644E+02	0.498E+00	0.114E-05
250.	0.242	-110.28	0.8	0.852E+02	0.583E+00	0.133E-05

```

350. 0.329 -109.38 1.2 0.110E+03 0.460E+00 0.105E-05
450. 0.296 -108.52 1.6 0.597E+02 0.300E+00 0.686E-06
550. 0.352 -107.76 2.0 0.424E+02 0.154E+00 0.352E-06
650. 0.353 -107.46 2.5 0.195E+02 0.708E-01 0.162E-06
750. 0.317 -107.27 2.9 0.716E+01 0.318E-01 0.727E-07
850. 0.321 -107.13 3.3 0.300E+01 0.132E-01 0.301E-07
950. 0.321 -107.03 3.8 0.118E+01 0.516E-02 0.118E-07
Drainage flux : 4.2

```

Total 298.7 65.40

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

```

Depth and conc of 1st %ile 9 mm 0.66E+01
Depth and conc of 5th %ile 49 mm 0.66E+01
Depth and conc of 16th %ile 134 mm 0.11E+02
Depth and conc of 50th %ile 305 mm 0.15E+02
Depth and conc of 84th %ile 489 mm 0.90E+01
Depth and conc of 95th %ile 633 mm 0.25E+01
Depth and conc of 99th %ile 793 mm 0.10E+01

```

```

TIME ELAPSED 12.000 DAYS CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE
DATE 4/ 5/94 Water mm ATRAZINE mg/m2

Initial total : 379.8 0.0
Currently in profile : 299.9 57.8
Undissolved on soil surface : 0.0
Cum. runoff : 0.0
Simulated change : -79.9 57.8
Additions: i) in rain or irrig : 66.7 0.0
            ii) as amendment : 250.0 0.0
Losses: i) in drainage : 146.6 0.2
         ii) by evap/volatzn/convrsn : 0.0 0.1
         iii) by transformation : 191.9 0.0
         iv) by degradation : 0.0 0.0
         v) by plant uptake : 0.0 0.0
Mass error : 0.0 0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded# water application 0.0000E+00

```

```

Node Theta Potnl Flux ATRAZINE
Depth mm kPa mm Total Solution Gas
ug/kg mg/l ug/l

50. 0.234 -110.59 5.3 0.339E+02 0.204E+00 0.467E-06
150. 0.223 -109.66 5.2 0.512E+02 0.394E+00 0.901E-06
250. 0.243 -108.73 5.1 0.727E+02 0.496E+00 0.113E-05
350. 0.330 -107.84 5.0 0.101E+03 0.421E+00 0.941E-06
450. 0.300 -106.97 4.9 0.575E+02 0.288E+00 0.658E-06
550. 0.354 -106.21 4.8 0.426E+02 0.154E+00 0.352E-06
650. 0.354 -105.91 4.6 0.202E+02 0.730E-01 0.167E-06
750. 0.318 -105.73 4.5 0.756E+01 0.335E-01 0.766E-07
850. 0.322 -105.59 4.4 0.323E+01 0.141E-01 0.323E-07
950. 0.322 -105.49 4.3 0.128E+01 0.562E-02 0.129E-07
Drainage flux : 4.2

```

Total 299.9 57.85

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

```

Depth and conc of 1st %ile 12 mm 0.48E+01
Depth and conc of 5th %ile 60 mm 0.48E+01
Depth and conc of 16th %ile 150 mm 0.88E+01
Depth and conc of 50th %ile 323 mm 0.14E+02
Depth and conc of 84th %ile 508 mm 0.54E+01
Depth and conc of 95th %ile 653 mm 0.26E+01
Depth and conc of 99th %ile 812 mm 0.46E+00

```

```

TIME ELAPSED 13.000 DAYS CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE
DATE 4/ 5/94 Water mm ATRAZINE mg/m2

Initial total : 379.8 0.0
Currently in profile : 311.1 51.1
Undissolved on soil surface : 0.0
Cum. runoff : 0.0
Simulated change : -68.7 51.1
Additions: i) in rain or irrig : 84.3 0.0
            ii) as amendment : 250.0 0.0
Losses: i) in drainage : 153.0 0.2
         ii) by evap/volatzn/convrsn : 0.0 0.1
         iii) by transformation : 198.6 0.0
         iv) by degradation : 0.0 0.0
         v) by plant uptake : 0.0 0.0
Mass error : 0.0 0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded# water application 0.0000E+00

```

```

Node Theta Potnl Flux ATRAZINE
Depth mm kPa mm Total Solution Gas
ug/kg mg/l ug/l

50. 0.247 -96.84 17.6 0.167E+02 0.953E-01 0.218E-06
150. 0.232 -95.91 16.3 0.314E+02 0.233E+00 0.533E-06
250. 0.252 -94.98 15.5 0.554E+02 0.364E+00 0.832E-06
350. 0.341 -94.06 14.5 0.938E+02 0.379E+00 0.867E-06
450. 0.316 -93.22 13.4 0.615E+02 0.298E+00 0.680E-06
550. 0.366 -92.46 12.3 0.508E+02 0.178E+00 0.406E-06
650. 0.366 -92.16 11.1 0.258E+02 0.900E-01 0.206E-06

```

750. 0.330 -91.98 9.8 0.995E+01 0.426E-01 0.973E-07
 850. 0.333 -91.84 8.7 0.429E+01 0.181E-01 0.415E-07
 950. 0.333 -91.74 7.5 0.169E+01 0.716E-02 0.164E-07
 Drainage flux : 6.4

Total 311.1 51.15

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	21 mm	0.23E+01
Depth and conc of	5th %ile	103 mm	0.54E+01
Depth and conc of	16th %ile	204 mm	0.92E+01
Depth and conc of	50th %ile	366 mm	0.13E+02
Depth and conc of	84th %ile	559 mm	0.65E+01
Depth and conc of	95th %ile	690 mm	0.33E+01
Depth and conc of	99th %ile	854 mm	0.61E+00

TIME ELAPSED 14.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 7/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 305.4	45.2	
Undissolved on soil surface	:	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -74.4	45.2	
Additions: i) in rain or irrig	: 84.3	0.0	
ii) as amendment	:	250.0	
Losses: i) in drainage	: 158.7	0.2	
ii) by evap/volatzn/convrso	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	:	204.5	
iv) by degradation	:	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded* water application 0.0000E+00

Node	Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth			i-1.5	Total	Solution	Gas
mm		kPa	mm	ug/kg	mg/l	ug/l
50. 0.240	-103.51	0.0	0.144E+02	0.843E-01	0.193E-06	
150. 0.228	-102.58	0.6	0.268E+02	0.203E+00	0.463E-06	
250. 0.247	-101.66	1.1	0.474E+02	0.317E+00	0.724E-06	
350. 0.335	-100.76	1.6	0.614E+02	0.335E+00	0.765E-06	
450. 0.305	-99.89	2.2	0.545E+02	0.268E+00	0.613E-06	
550. 0.360	-99.14	2.7	0.464E+02	0.165E+00	0.377E-06	
650. 0.360	-98.83	3.3	0.244E+02	0.668E-01	0.198E-06	
750. 0.324	-98.65	4.0	0.985E+01	0.429E-01	0.981E-07	
850. 0.328	-98.51	4.5	0.446E+01	0.192E-01	0.438E-07	
950. 0.328	-98.41	5.1	0.185E+01	0.796E-02	0.162E-07	

Total 305.4 45.22

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of	1st %ile	22 mm	0.20E+01
Depth and conc of	5th %ile	105 mm	0.46E+01
Depth and conc of	16th %ile	207 mm	0.78E+01
Depth and conc of	50th %ile	372 mm	0.11E+02
Depth and conc of	84th %ile	569 mm	0.59E+01
Depth and conc of	95th %ile	701 mm	0.14E+01
Depth and conc of	99th %ile	869 mm	0.63E+00

TIME ELAPSED 15.000 DAYS		CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE	
DATE 4/ 8/94	Water mm	ATRAZINE mg/m2	
Initial total	: 379.8	0.0	
Currently in profile	: 300.6	40.0	
Undissolved on soil surface	:	0.0	
Cum. runoff	: 0.0		
Simulated change	: -79.0	40.0	
Additions: i) in rain or irrig	: 84.3	0.0	
ii) as amendment	:	250.0	
Losses: i) in drainage	: 153.3	0.3	
ii) by evap/volatzn/convrso	: 0.0	0.1	
iii) by transformation	:	209.7	
iv) by degradation	:	0.0	
v) by plant uptake	: 0.0	0.0	
Mass error	: 0.0	0.0	

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded* water application 0.0000E+00

Node	Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth			i-1.5	Total	Solution	Gas
mm		kPa	mm	ug/kg	mg/l	ug/l
50. 0.235	-109.38	0.0	0.124E+02	0.747E-01	0.171E-06	
150. 0.224	-108.45	0.5	0.231E+02	0.177E+00	0.405E-06	
250. 0.243	-107.53	0.9	0.407E+02	0.277E+00	0.632E-06	
350. 0.331	-106.63	1.3	0.708E+02	0.295E+00	0.675E-06	
450. 0.300	-105.76	1.7	0.482E+02	0.241E+00	0.550E-06	
550. 0.355	-105.00	2.2	0.420E+02	0.152E+00	0.346E-06	
650. 0.355	-104.70	2.7	0.228E+02	0.621E-01	0.188E-06	
750. 0.319	-104.51	3.2	0.949E+01	0.419E-01	0.959E-07	
850. 0.323	-104.37	3.7	0.445E+01	0.194E-01	0.444E-07	
950. 0.323	-104.27	4.1	0.192E+01	0.839E-02	0.192E-07	

Drainage flux : 4.6

Total 300.8

39.97

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of 1st %ile	22 mm 0.18E+01
Depth and conc of 5th %ile	106 mm 0.40E+01
Depth and conc of 16th %ile	210 mm 0.67E+01
Depth and conc of 50th %ile	377 mm 0.98E+01
Depth and conc of 84th %ile	576 mm 0.54E+01
Depth and conc of 95th %ile	717 mm 0.13E+01
Depth and conc of 99th %ile	879 mm 0.63E+00

TIME ELAPSED	16.000 DAYS	Water	CUMULATIVE TOTALS AND MASS BALANCE
DATE	4/ 9/94	mm	ATRAZINE mg/m2

Initial total	:	379.8	0.0
Currently in profile	:	296.9	35.3
Undissolved on soil surface	:		0.0
Cum. runoff	:	0.0	
Simulated change	:	-82.9	35.3
Additions: i) in rain or irrig	:	84.3	0.0
ii) as amendment	:		250.0
Losses: i) in drainage	:	167.2	0.3
ii) by evap/volatzn/cnvrns	:	0.0	0.1
iii) by transformation	:		214.3
iv) by degradation	:		0.0
v) by plant uptake	:	0.0	0.0
Mass error	:	0.0	0.0

Volatile loss (mg/m2) of pesticide during ponded water application 0.0000E+00

Node Theta	Potnl	Flux	ATRAZINE		
Depth		1:1.5	Total	Solution	Gas
mm	kPa	mm	ug/kg	mg/l	ug/l
50. 0.230	-114.65	0.0	0.106E+02	0.661E-01	0.151E-06
150. 0.221	-113.72	0.4	0.199E+02	0.155E+00	0.354E-06
250. 0.240	-112.60	0.7	0.351E+02	0.242E+00	0.553E-06
350. 0.327	-111.90	1.1	0.617E+02	0.261E+00	0.596E-06
450. 0.297	-111.03	1.5	0.426E+02	0.215E+00	0.492E-06
550. 0.350	-110.27	1.8	0.378E+02	0.138E+00	0.316E-06
650. 0.351	-109.97	2.3	0.210E+02	0.766E-01	0.175E-06
750. 0.315	-109.78	2.7	0.899E+01	0.492E-01	0.919E-07
850. 0.319	-109.64	3.1	0.434E+01	0.192E-01	0.439E-07
950. 0.319	-109.54	3.5	0.193E+01	0.655E-02	0.195E-07
Drainage flux :			3.9		

Total 296.9

35.34

(Water fluxes are cumulative since the previous printout and, except for the drainage flux, refer to the upper boundary of each depth segment.)

The following distribution is calculated ignoring undissolved chemical on the soil surface and that lost from the profile by leaching, plant uptake and volatilization

Depth and conc of 1st %ile	23 mm 0.15E+01
Depth and conc of 5th %ile	107 mm 0.34E+01
Depth and conc of 16th %ile	212 mm 0.58E+01
Depth and conc of 50th %ile	381 mm 0.85E+01
Depth and conc of 84th %ile	583 mm 0.48E+01
Depth and conc of 95th %ile	730 mm 0.13E+01
Depth and conc of 99th %ile	886 mm 0.61E+00

psim.out

```
" arquivo simulacao Pesticida (solucao mg/l)
#depth 50.000000 150.000000 250.000000 350.000000 450.000000 550.000000 650.000000 750.000000 850.000000 950.000000
0.000000 9.440000e-10 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
0.000000e+00 0.000000e+00
1.000000 3.600000e+00 2.580000e+00 1.190000e+00 3.550000e-01 1.000000e-01 2.230000e-02 4.670000e-03 1.020000e-03
2.080000e-04 4.110000e-05
2.000000 2.590000e+00 2.390000e+00 1.410000e+00 5.450000e-01 1.940000e-01 5.480000e-02 1.450000e-02 3.960000e-03
1.020000e-03 2.520000e-04
3.000000 2.220000e+00 2.120000e+00 1.340000e+00 5.690000e-01 2.240000e-01 7.090000e-02 2.120000e-02 6.510000e-03
1.900000e-03 5.350000e-04
4.000000 1.960000e+00 1.880000e+00 1.230000e+00 5.480000e-01 2.290000e-01 7.780000e-02 2.500000e-02 8.300000e-03
2.620000e-03 8.010000e-04
5.000000 1.730000e+00 1.660000e+00 1.110000e+00 5.160000e-01 2.250000e-01 8.010000e-02 2.710000e-02 9.480000e-03
3.160000e-03 1.020000e-03
6.000000 1.530000e+00 1.470000e+00 1.000000e+00 4.780000e-01 2.150000e-01 7.950000e-02 2.800000e-02 1.020000e-02
3.540000e-03 1.200000e-03
7.000000 1.360000e+00 1.300000e-01 8.580000e-01 9.770000e-01 4.060000e-01 1.770000e-01 6.720000e-02 2.430000e-02
7.980000e-03 2.460000e-03
8.000000 1.110000e+00 7.450000e-01 8.570000e-01 6.390000e-01 3.860000e-01 1.790000e-01 7.320000e-02 2.890000e-02
1.040000e-02 3.510000e-03
9.000000 9.640000e-01 6.500000e-01 7.530000e-01 5.750000e-01 3.590000e-01 1.740000e-01 7.470000e-02 3.120000e-02
1.130000e-02 4.290000e-03
10.000000 8.220000e-01 5.680000e-01 6.630000e-01 5.150000e-01 3.290000e-01 1.650000e-01 7.350000e-02 3.200000e-02
1.280000e-02 4.830000e-03
11.000000 7.050000e-01 4.980000e-01 5.830000e-01 4.600000e-01 3.000000e-01 1.540000e-01 7.080000e-02 3.180000e-02
1.320000e-02 5.160000e-03
12.000000 6.040000e-01 3.940000e-01 4.960000e-01 4.210000e-01 2.880000e-01 1.540000e-01 7.300000e-02 3.350000e-02
1.410000e-02 5.620000e-03
13.000000 5.330000e-01 2.330000e-01 3.640000e-01 3.790000e-01 2.980000e-01 1.780000e-01 9.000000e-02 4.260000e-02
1.810000e-02 7.160000e-03
14.000000 4.430000e-01 2.030000e-01 3.170000e-01 3.350000e-01 2.680000e-01 1.650000e-01 8.680000e-02 4.290000e-02
1.920000e-02 7.960000e-03
15.000000 3.740000e-01 1.770000e-01 2.770000e-01 2.950000e-01 2.410000e-01 1.520000e-01 8.210000e-02 4.190000e-02
1.940000e-02 8.390000e-03
16.000000 3.120000e-01 1.550000e-01 2.420000e-01 2.610000e-01 2.150000e-01 1.380000e-01 7.660000e-02 4.020000e-02
1.920000e-02 8.550000e-03
```

ksim.out

```
" arquivo simulacao tensao hidraulica (kPa)
#depth 50.000000 150.000000 250.000000 350.000000 450.000000 550.000000 650.000000 750.000000 850.000000 950.000000
0.000000 -218.899994 -100.300003 -100.300003 -38.099998 -38.099998 -38.099998 -38.099998 -2.100000 -2.100000 -2.100000
1.000000 -65.239998 -64.309998 -63.389999 -62.490002 -61.630001 -60.880001 -60.580002 -60.400002 -60.270000 -60.169998
2.000000 -75.980003 -75.050003 -74.120003 -73.230003 -72.360001 -71.510001 -71.309998 -71.129997 -70.989998 -70.900002
3.000000 -85.839996 -84.910004 -83.989998 -83.089996 -82.220001 -81.470001 -81.169998 -80.989998 -80.849998 -80.750000
4.000000 -94.220001 -93.290001 -92.370003 -91.470001 -90.599998 -89.849998 -89.540001 -89.360001 -89.220001 -89.120003
5.000000 -101.250000 -100.320000 -99.400002 -98.500000 -97.629997 -96.879997 -96.570000 -96.389999 -96.250000 -96.150002
6.000000 -107.370003 -106.449997 -105.519997 -104.620003 -103.760002 -103.000000 -102.690002 -102.510002 -102.370003 -102.269997
7.000000 -84.570000 -83.650002 -82.720001 -81.820000 -80.959999 -80.199997 -79.900002 -79.720001 -79.580002 -79.480003
8.000000 -93.190002 -92.260002 -91.330002 -90.430000 -89.570000 -88.809998 -88.510002 -88.330002 -88.190002 -88.089996
9.000000 -100.370003 -99.440002 -98.510002 -97.610001 -96.750000 -95.989998 -95.690002 -95.500000 -95.370003 -95.269997
10.000000 -106.599998 -105.669998 -104.739998 -103.839996 -102.980003 -102.220001 -101.910004 -101.730003 -101.589996 -101.489998
11.000000 -112.139999 -111.209999 -110.279999 -109.379997 -108.519997 -107.760002 -107.459999 -107.269997 -107.129997 -107.029999
12.000000 -110.589996 -109.660004 -108.730003 -107.839996 -106.970001 -106.209999 -105.910004 -105.730003 -105.589996 -105.489998
13.000000 -96.839996 -95.910004 -94.980003 -94.080002 -93.220001 -92.459999 -92.160004 -91.980003 -91.839996 -91.739998
14.000000 -103.510002 -102.580002 -101.650004 -100.760002 -99.889999 -99.139999 -98.830002 -98.650002 -98.510002 -98.410004
15.000000 -109.379997 -108.449997 -107.529999 -106.629997 -105.760002 -105.000000 -104.699997 -104.510002 -104.370003 -104.269997
16.000000 -114.650002 -113.720001 -112.800003 -111.900002 -111.029999 -110.269997 -109.970001 -109.779999 -109.639999 -109.540001
```

Apêndice C - Tensiômetros

A energia potencial da água no solo apresenta várias componentes, podendo ser expressa pela soma:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_{os}$$

onde

Ψ_g é a componente gravitacional

Ψ_p é a componente de pressão hidrostática

Ψ_m é a componente matricial

Ψ_{os} é a componente osmótica.

Dentre essas componentes, a de maior interesse neste trabalho é a matricial, a qual está relacionada diretamente à umidade do solo (θ = volume de água no solo/ volume total do solo). Essa componente se refere aos estados de energia da água devidos à sua interação com as partículas sólidas do solo, também chamadas matrizes do solo. Tal interação inclui fenômenos de capilaridade e adsorção, que conferem à água estados de energia menores do que o estado da água livre à pressão atmosférica. Ao estado livre é atribuído o valor zero. Portanto, o potencial mátrico é sempre negativo e recebe a denominação de pressão negativa ou tensão de água no solo.

A relação entre Ψ_m e θ é uma característica física do solo denominada curva de retenção. Assim, conhecida a curva de retenção de um solo e o potencial mátrico de água no solo, fica determinada a sua umidade.

Um solo saturado apresenta $\Psi_m = 0$ e um seco pode apresentar algumas dezenas de atmosfera para Ψ_m . Um instrumento capaz de medir o potencial mátrico de água no solo diretamente é o tensiômetro esquematizado na Figura 7.1

Figura 7.1- Corte de um tensiômetro de mercúrio instalado no solo.

Consiste de uma cápsula porosa de cerâmica conectada a um manômetro, usualmente de mercúrio, através de um tubo de plástico. A dimensão dos poros da cápsula é tal, que para esvaziá-los seria necessária uma pressão maior que 1 atm. Ao contato da cápsula com o solo, a água nele contida entra em contato com a água do tensiômetro e um equilíbrio é estabelecido. Se a umidade do solo diminuir, ou seja, a

tensão da água no solo aumentar, ocorrerá uma sucção da água do tensiômetro, com conseqüente diminuição de sua pressão interna e elevação do nível de mercúrio. Ao se estabelecer o equilíbrio dessa situação, o potencial da água no interior do tensiômetro se iguala ao potencial matricial da água no solo. A altura da coluna de mercúrio fornece diretamente o valor de ψ_m .

$$\psi_m = -(12,6h - h_1 - h_2) \text{ cmH}_2\text{O}$$

O fator 12,6 é a densidade do mercúrio que transforma a leitura h em cm de H_2O e a altura $h_1 + h_2$ é a componente de pressão positiva que a coluna de água no interior do tensiômetro exerce sobre a cápsula porosa.

De modo grosseiro, as faixas de umidade indicadas pelos tensiômetros são as seguintes:

a) solo molhado	ψ_m entre 0 e -0,3 atm
b) solo úmido	ψ_m entre -0,3 e -0,6 atm
c) solo seco	ψ_m entre -0,6 e -1 atm

Os tensiômetros não medem potenciais de água menores que -1 atm porque a coluna de água faz com que a tensão na cápsula se rompa em torno desse limite. Mesmo com essa limitação o tensiômetro é adequado para a faixa de medidas na área agrícola.

Apêndice D - Listagens da programação do TDI de temperatura no solo.

Arquivo: tdi.inc

```
-----
;
; Este include file contem as rotinas comuns a todos os TDis
;
; Andre' Torre Neto & Nelson Corona Jr.
;
; Sao Carlos, 19/11/92
;
-----
include "picreg.h"
;
; Main program:
; 1 Initialize ports (Esta no modulo especifico de cada TDI)
; 2 Check for serial input data
; 3 Data available?
; 4 No, goto 17
; 5 Sim, recebe dado (e' subrotina)
; 6 E' um comando Start Of Header ? (start_of_frame -> '?')
; 7 Sim, execute recebe_quadro (nao e' subrotina)
; 8 Execute confere_quadro (nao e' subrotina)
; 9 E' o meu endereco ?
; 10 Nao, va' para 2
; 11 Quadro correto?
; 12 Nao, va' para 2
; 13 Comando existe?
; 14 Nao, va' para 2
; 15 Execute comando (nao e' subrotina e esta no modulo especifico)
; 16 Va' para 2
; 17 Execute rotina do usuario ("user" no modulo especifico)
; 18 Va' para 2
;
; rotina recebe_quadro (nao e' subrotina)
; 1 Ponteiro <- inicio buffer_quadro
; 2 Verifica entrada de dados serial
; 3 Dado dispon'ivel?
; 4 N-ao, va' para 2
; 5 Recebe dado (e' subrotina)
; 6 Dado = End Of Transmission? (end_of_frame = 04h)
; 7 Sim, va' para confere_quadro
; 8 (*Buffer_quadro) = dado
; 9 Buffer_quadro++
; 10 Buffer_quadro == fim_quadro+1?
; 11 Sim, va' para main
; 12 Va' para confere_quadro
;
; rotina confere_quadro (nao e' subrotina)
; 1 Contador <- quantidade_dados +4
; 2 Calcula-se a soma
; 3 Soma = check sum?
; 4 Nao, va' para main
;
;----- Communication Parameters -----
;
X_MODE equ 1 ;If (X_MODE==1) then transmit LSB first
; If (X_MODE==0) then transmit MSB first (CODEC)
R_MODE equ 1 ;Like Transmit
;
X_Nbit equ 1 ;If (X_Nbit==1) # of transmit data bits == 8
; (X_Nbit==0) -> 7
R_Nbit equ 1 ;Like Transmit
;
Sbit2 equ 0 ;If (Sbit2 == 0) then 1 Stop bit else 2
;
DX equ 0 ;Transmit Pin Bit 0 of Port A
DR equ 1 ;Receive Pin Bit 1 of Port A
X_En equ 2 ;Transmit Enable Pin Bit 2 of Port A
R_En equ 3 ;Receive Enable Pin Bit 3 of Port A
;
;The following constants are for 1200 bauds @ 4Mhz Clock input
;
BAUD_1 equ .136 ;3+3X = CLKOUT/Baud
BAUD_2 equ .134 ;6+3X = CLKOUT/Baud
BAUD_3 equ .68 ;3+3X = 0.5*CLKOUT/Baud
BAUD_4 equ .172 ;3+3X = 1.25*CLKOUT/Baud
BAUD_X equ .132 ;11+3X = CLKOUT/Baud
BAUD_Y equ .132 ;9+3X = CLKOUT/Baud
char_delay equ .16
```

```

;
;
;----- Protocol Parameters -----
;
start_of_frame      equ '?'
end_of_frame        equ '#'
endereco_universal_lsb equ 'D'
endereco_universal_msb equ 'F'
comando_T           equ 'T'
comando_G           equ 'G'
comando_R           equ 'R'
s_o_f_slave         equ '@'
tamanho_maximo_quadro equ .12
;
;----- Data RAM assignments -----
;
      org      0ch      ;Data RAM Origin

; Variaveis de PROTOCOLO

check_sum           RES      1
check_calc          RES      1
buffer_quadro       RES      tamanho_maximo_quadro
endereco_origem_msb equ      buffer_quadro
endereco_origem_lsb equ      buffer_quadro+1
endereco_destino_msb equ      buffer_quadro+2
endereco_destino_lsb equ      buffer_quadro+3
comando_recebido     equ      buffer_quadro+4
tam_dados_msb       equ      buffer_quadro+5
tam_dados_lsb       equ      buffer_quadro+6
ultimo_comando       equ      buffer_quadro+7
status_master        equ      buffer_quadro+8
endereco_origem      equ      endereco_origem_msb

; Variaveis de comunicacao

RcvReg              RES      1      ;Data received
XmtReg              RES      1      ;Data to be transmited
Count               RES      1      ;Counter for # of bits transmited
DlyCnt              RES      1      ;Counter for delays
contador_uso_geral   RES      1

; Variaveis de conversao
var1                RES      1
var2                RES      1
var3                RES      1
var4                RES      1
;
; Palavra de status
status              RES      1
; Bits de STATUS

RESET      equ      7      ; 1 TDI foi resetado (Comando "R", WDT ou foi ligado)
                        ; 0 Apos comando "G"
HARD       equ      6      ; 1 Falha no hardware (ex: sensor fora de faixa)
                        ; 0 Hardware O.K.
CHECK      equ      5      ; 1 Checksum nao confere
                        ; 0 Checksum confere
UNIV       equ      4      ; 1 Se comando recebido e' universal
                        ; 0 Se comando recebido e' especifico
TXTED      equ      3      ; 1 Aquisicao ja foi transmitida
                        ; 0 Aquisicao ainda nao foi transmitida
;
;----- MACROS -----
;
X_Enable    MACRO
            bsf      Port_A,X_En
            ENDM

X_Disable   MACRO
            bcf      Port_A,X_En
            ENDM

R_Enable    MACRO
            bcf      Port_A,R_En
            ENDM

R_Disable   MACRO
            bsf      Port_A,R_En
            ENDM

IFNEQU     MACRO      P1, P2      ;Ir para P2 se w nao for igual a P1
            xorlw     P1
            skpz
            goto      P2
            ENDM

```

```

IFEQU      MACRO    P1, P2      ;Ir para P2 se w for igual a P1
            xorlw    P1
            skpnz
            goto     P2
            ENDM

TXL        MACRO    P1
            movlw    P1
            addwf    check_calc, Same
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            ENDM

TXF        MACRO    P1
            movf     P1,w
            addwf    check_calc, Same
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            ENDM

TXW        MACRO    P1
            movf     P1,w
            addwf    check_calc, Same
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            movf     P1+1,w
            addwf    check_calc, Same
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            ENDM

TXFASC     MACRO    P1
            swapf    P1, w                ; primeiro msnible
            BIN_TO_HEXASCII
            addwf    check_calc, Same      ; checksum, nao somar
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            movf     P1, w                ; segundo lsnible
            BIN_TO_HEXASCII
            addwf    check_calc, Same
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            ENDM

TXCHECK    MACRO
            swapf    check_calc, w        ; primeiro msnible
            BIN_TO_HEXASCII
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            movf     check_calc, w        ; segundo lsnible
            BIN_TO_HEXASCII
            movwf    XmtReg
            call     Transmit
            ENDM

TXACK      MACRO    P1

; inicio de quadro
            TXL      '@'
            clrf     check_calc           ; para calcular check sum

; endereco origem
            TXL      meu_endereco_msb
            TXL      meu_endereco_lsb

; endereco destino
            TXW      endereco_origem_msb

; comando ou resposta de comando
            TXL      'A'

; tamanho da sequencia de dados
            TXL      '0'
            TXL      '0'

; eco do comando
            TXL      P1

; status
            TXSTATUS

; convertendo e transmitindo check sum
            TXCHECK

; fim de quadro
            TXL      '#'

;          TXL      0dh

```

```

;      TXL      0ah
;      ENDM

TXSTATUS MACRO
    movlw      'A'
    btfsc      status, TXTED
    movlw      'G'
    btfsc      status, CHECK
    movlw      'B'
    btfsc      status, RESET
    movlw      'R'
    btfsc      status, HARD
    movlw      'C'
    addwf      check_calc, Same
    movwf      XmtReg
    call       Transmit
    bsf        status, TXTED
ENDM

BIN_TO_HEXASCII MACRO
    bsf        STATUS, PA0
    call       bin_to_hexascii
    bcf        STATUS, PA0
ENDM

HEXA_ASCII_TO_BIN MACRO
    bsf        STATUS, PA0
    call       hexa_ascii_to_bin
    bcf        STATUS, PA0
ENDM

;----- ROTINAS -----

start    org      0
         bsf      status, RESET
         goto     init

;-----
;
; receive: (e' subrotina)
;
; Recebe um caracter pelo barramento serial e o armazena em RcvReg
;
;-----
;
; receive
;
Rcvr     call     Delay4          ;delay for 104+104/4 uS
         IF      R_Nbit
         movlw    8                ;8 data bits
         ELSE
         movlw    7                ;7 data bits
         ENDIF
;
;
R_next   movwf    Count
         bcf      STATUS, CARRY
         IF      R_MODE
         rrf      RcvReg, Same      ;to set if MSB first or LSB first
         ELSE
         rlf      RcvReg, Same
         ENDIF
         btfsc    Port_A, DR
;
         IF      R_MODE
         IF      R_Nbit
         bsf      RcvReg, MSB      ;Conditional Assembly
         ELSE
         bsf      RcvReg, MSB-1
         ENDIF
         ELSE
         bsf      RcvReg, LSB
         ENDIF
;
         call     DelayY
         decfsz   Count, Same
         goto     R_next
         retlw    0

;-----
;
; Transmit: (e' subrotina)
;
; Transmite o caracter previamente carregado em XmtReg para o barramento serial
;
;-----
;

```

```

Transmit
    clrwdt

    ;Delay de um caracter para sincronizar o modem
    movlw char_delay
    movwf Count
Xmt1  call Delay1
    decfsz Count
    goto Xmt1

    R_Disable
    X_Enable
    call Delay1
    IF X_Nbit
    movlw 8
    ELSE
    movl 7
    ENDIF
    movwf Count
;
    IF X_MODE
    ELSE
    IF X_Nbit
    ELSE
    rlf XmtReg,Same
    ENDIF
    ENDIF
;
    bcf Port_A,DX ;Send start bit
    call Delay1
X_next bcf STATUS,CARRY
;
    IF X_MODE
    rrf XmtReg,Same ;Conditional assembly to set if
    ELSE ;MSB or LSB first
    rlf XmtReg,Same
    ENDIF
;
    btfsc STATUS,CARRY
    bsf Port_A,DX
    btfss STATUS,CARRY
    bcf Port_A,DX
    call DelayX
    decfsz Count,Same
    goto X_next
    bsf Port_A,DX ;Send stop bit
    call Delay1
;
    IF Sbit2
    bsf Port_A,DX
    call Delay1
    ENDIF
    X_Disable
    R_Enable
;
    retlw 0 ;Back to call procedure
;
;End of Transmission
;
;
DelayY movlw BAUD_Y ;Executando delay 2 vezes para 1200 bauds
    movwf DlyCnt
dy decfsz DlyCnt,Same
    goto dy
    movlw BAUD_Y
    goto save
DelayX movlw BAUD_X
    movwf DlyCnt
dx decfsz DlyCnt,Same
    goto dx
    movlw BAUD_X
    goto save
Delay4 movlw BAUD_4
    movwf DlyCnt
d4 decfsz DlyCnt,Same
    goto d4
    movlw BAUD_4
    goto save
Delay1 movlw BAUD_1
    movwf DlyCnt
d1 decfsz DlyCnt,Same
    goto d1
    movlw BAUD_1
    goto save
;
;Delay2 movlw BAUD_2
;
; movwf DlyCnt
;d2 decfsz DlyCnt,Same
;
; goto d2

```

```

;      movlw    BAUD_2
save   movwf    DlyCnt
redo_1 decfsz   DlyCnt,Same
      goto     redo_1
      retlw    0

;
;----- MAIN PROGRAM -----
;
main   clrf     RcvReg      ;Clear all bits of RcvReg
      btfsz    Port_A,DR   ;check for start bit
      goto     user
      call     receive

;
;      movf     RcvReg,w      ;Eco, usar somente para rastrear
;      movwf    XmtReg
;      call     Transmit
;

; verificando se e' um Start Of Frame
      movf     RcvReg,w      ;Coloca RcvReg no work
      IFNEQU   start_of_frame, main

;
;      movlw    'x'          ;Usar somente para rastrear
;      movwf    XmtReg
;      call     Transmit
;

;-----
;
;
;-----
;
recebe_quadro
      movlw    buffer_quadro ;Inicializa ponteiro
      movwf    4
      clrf     check_sum      ; zerando para iniciar calculo
      clrf     contador_uso_geral

wh_rec_qua
      clrwdt
      clrf     RcvReg      ;Clear all bits of RcvReg
      btfsz    Port_A,DR   ;check for start bit
      goto     wh_rec_qua
      call     receive

;
;      movf     RcvReg, w      ;Usar somente para rastrear
;      movwf    XmtReg
;      call     Transmit
;

; verificando se dado recebido e' o end_of_frame
      movf     RcvReg,w      ;Coloca RcvReg no work
      IFEQU    end_of_frame, confere_quadro ; e' end_of_frame

; calculando check sum e armazenando dado
      movf     RcvReg,w      ;Coloca RcvReg no work
      addwf    check_sum, Same ; calcula check sum
      movwf    0              ;Coloca work no file apontado por f4
      incf     4

; Verifica se o buffer esta cheio
      incf     contador_uso_geral, w
      movwf    contador_uso_geral
      IFNEQU   tamanho_maximo_quadro, wh_rec_qua ;o buffer nao esta cheio
;
;-----
;
confere_quadro ; nao e' subrotina
; neste ponto temos f4 apontando para check_sum recebido+1
; ordem : msb lsb
      decf     4              ; aponta para lsb
      movf     0,w
      subwf    check_sum, Same ;Check_sum recebido nao deve fazer parte do calculado
      HEXA_ASCII_TO_BIN
      movwf    contador_uso_geral
      decf     4              ; aponta para msb
      movf     0,w
      subwf    check_sum, Same ;Check_sum recebido nao deve fazer parte do calculado
      HEXA_ASCII_TO_BIN
      movwf    0
      swapf    0,w
      addwf    contador_uso_geral, w ; coloca check recebido no work
      xorwf    check_sum, w
      bcf     status,CHECK

```

```

        skpz
        bsf      status,CHECK

; transmitindo check sum para rastreamento

;       swapf    check_sum, w      ; primeiro msb
;       BIN_TO_HEXASCII
;       movwf    XmtReg
;       call     Transmit
;       movf     check_sum, w
;       BIN_TO_HEXASCII
;       movwf    XmtReg
;       call     Transmit

; neste ponto, o check sum foi aceito
; -----
;
; verificando endereco
; -----

; testando lsb meu_end

        bsf      status,UNIV          ; A principio comando e' universal

        movf     endereco_destino_lsb, w
        IF EQU   meu_endereco_lsb, verific_msb_meu_end

        ; falhando anterior, testo lsb end_uni
        movf     endereco_destino_lsb, w
        IF NEQU  endereco_universal_lsb, main

        ; verificando msb end_uni
        movf     endereco_destino_msb, w
        IF NEQU  endereco_universal_msb, main
        goto     decodifica_comando

verif_msb_meu_end
        movf     endereco_destino_msb, w
        IF NEQU  meu_endereco_msb, main
        bcf      status,UNIV          ; Comando nao e' universal

; -----

decodifica_comando

; Limpar endereco destino p/ prox. frame
        clrf     endereco_destino_lsb
        clrf     endereco_destino_msb

; Comando T, Transmitir dados

        movf     comando_recebido, w
        IF EQU   comando_T, exe_comando_T

; Comando R, Reset do TDI

        movf     comando_recebido, 0
        IF EQU   comando_R, exe_comando_R

; Comando G, Iniciar uma aquisicao com n leituras

        movf     comando_recebido, 0
        IF EQU   comando_G, exe_comando_G

; etc.

        goto     main                  ; comando nao foi reconhecido

exe_comando_T

        ; Transmitindo acknowledge do comando 'T'

        movf     status_master,w ;Verificar status do MASTER
        IF EQU   'A',user_T
        bcf      status,TXTED      ;e se houve falha da transmissao
        goto     user_T            ;retransmitir ultima aquisicao.

exe_comando_G

        btfsc    status,UNIV
        goto     noack_G
        bcf      status,TXTED
        TXACK    'G'

noack_G

        ; Executar o trecho abaixo somente com check OK.
        btfsc    status,CHECK

```

```

        goto    main
        btfss   status, TXTED
        goto    main
        bsf     status, HARD
        bsf     STATUS, PA0
        call    adc ; convertendo
        bcf     STATUS, PA0
        bcf     status, HARD
        bcf     status, RESET
        bcf     status, TXTED
        goto    user_G

exe_comando_R
        btfsc   status, UNIV
        goto    noack_R
        TXACK   'R'

noack_R
        ; Executar o trecho abaixo somente com check OK.
        btfsc   status, CHECK
        goto    main
        bsf     status, RESET
        clrf    var1
        clrf    var2
        clrf    var3
        clrf    var4
        goto    user_R

USUARIO_PAGINA0      ; Endereco onde iniciara rotinas do usuario na pagina 0

;-----
;
; As proximas rotinas estao localizadas na pagina 1 e portanto devem
; ser chamadas com o bit PA0 do STATUS register em "1".
; No seu retorno voltar este bit para "0".
;-----
;
        ORG     200H      ; PAGINA 1
;-----
;
; bin_to_hexa_ascii : (e' subrotina)
;
; Converte o nibble inferior do work em um
; hexa ascii, retornando o resultado em work
;-----
;
bin_to_hexa_ascii
        andlw   0fh
        addwf   2, Same    ; se falhar, watch dog timer vai recuperar
        retlw   '0'
        retlw   '1'
        retlw   '2'
        retlw   '3'
        retlw   '4'
        retlw   '5'
        retlw   '6'
        retlw   '7'
        retlw   '8'
        retlw   '9'
        retlw   'A'
        retlw   'B'
        retlw   'C'
        retlw   'D'
        retlw   'E'
        retlw   'F'
;
;-----
;
; hexa_ascii_to_bin : (e' subrotina)
;
; Converte o dado ascii-hexa apontado por f4 em um numero
; binario, retornando o resultado em w
;-----
;
hexa_ascii_to_bin
        movlw   '9'+1
        subwf   0, w
        btfsc   STATUS, CARRY      ; carry e' resetado se underflow
        goto    eh_letra
        ; se underflow, esta entre 0 e 9
        movlw   '0'
        subwf   0, w
        addwf   2, Same    ; se falhar, watch dog timer vai recuperar
        retlw   0
        retlw   1

```



```

        retlw 2
        retlw 3
        retlw 4
        retlw 5
        retlw 6
        retlw 7
        retlw 8
        retlw 9
eh_letra
        movlw 041h
        subwf 0,w
        addwf 2,Same
        retlw 0ah
        retlw 0bh
        retlw 0ch
        retlw 0dh
        retlw 0eh
        retlw 0fh
        retlw 10h

;-----
;
;      BinBCD: subrotina que converte o numero binario
;               apontado por f4 (msb, lsb) em um numero BCD
;               de tres digitos em var1, var2 e var3
;               (MSD, LSD, LSD).
;-----
;
BinBCD
;----- inicializando digitos bcd -----
        clrf   var1
        clrf   var2
        incf   4, Same      ; aponta para LSB
        movf   0, w
        movwf  var3
        decf   4, Same      ; aponta para MSB

centena
;----- subtraindo 100, se nao "carry", incrementar var1 -----
        movlw .100
        subwf  var3, w
        btfss STATUS, CARRY ; se > 100, w->var3, var1++
        goto   dec_msb

inc_cent      ; w->var3, var1++
        movwf  var3
        incf   var1
        goto   centena

dec_msb      ; se MSB maior que zero, decrementa, senao, fim centena
        movwf  contador_uso_geral ; variavel auxiliar
        movf   0, w                ; MSB -> w
        btfsc  STATUS, Z           ; se for zero, fim centena
        goto   dezena
        incf   var1, Same           ; incrementa var1
        decf   0, Same              ; decrementa MSB
        movf   contador_uso_geral, w ; validando o var3
        movwf  var3
        goto   centena             ; continua no loop

dezena
        movlw .10
        subwf  var3, w
        btfss STATUS, CARRY
        goto   final
        movwf  var3
        incf   var2, Same
        goto   dezena

final
        retlw 0

USUARIO_PAGINA1 ; Endereco onde iniciara rotinas do usuario na pagina 1
                ; Retornar a pagina 0
                ORG     USUARIO_PAGINA0

```

Arquivo: tditmp.asm

```

;----- TDI temperatura-----
;
;      Transmissor Digital de Temperatura no solo com o LM35

```

```

;
;
;-----
;
;       include "tdi.inc"
;
;       LIST      P=16C56,F=INHX8M,C=80,T=ON
;       TITLE     "TDI DE TEMPERATURA"
;
; Colocar abaixo o endereco deste TDI no barramento
;
meu_endereco_msb      equ '1'
meu_endereco_lsb      equ '3'

;-----
; Inicializacao programa
;
;
init
;
;       76543210
;       movlw     B'00111111'      ;WDT zera em ~2,5 S
;       option
;       movlw     02h              ;Bits 0,2 & 3 of Port A are output
;       tris      Port_A          ;Set Port A.0, A.1 & A.3 as output
;       bsf       Port_A,DR
;       bsf       Port_A,DX
;       X_Disable
;       R_Enable
;       movlw     B'01111111'      ;Bit 7 of Port B output
;       tris      Port_B
;
;       goto      main

;-----
; Rotinas do usuario
;
; Enquanto nao houver comunicacao o PIC podera executar rotinas do usuario
; que nao excedam 136 instrucoes de maquina. Estas rotinas devem ser colo-
; cadas abaixo e devem terminar com a intrucao "goto main".
;
user
;       clrwdt
;
;       76543210
;       movlw     B'00111111'      ;WDT zera em ~2,5 S
;       option
;       movlw     02h              ;Bits 0,2 & 3 of Port A are output
;       tris      Port_A          ;Set Port A.0, A.1 & A.3 as output
;       bsf       Port_A,DR
;       bsf       Port_A,DX
;       X_Disable
;       R_Enable
;       movlw     B'01111111'      ;Rit 7 of Port B output
;       tris      Port_B
;
;       goto      main

;
;-----
; Rotinas de execucao dos comandos a nivel especifico de cada sensor
;
; Cada comando a ser executado tem uma parte geral executada no modulo
; tid.inc e outra parte que depende do TDI em questao.
; A parte especifica para cada comando (T, G e R) devera ser colocada
; abaixo e terminar com "goto main".
;
;
;
user_T
;       ; Transmitindo dados

; inicio do quadro
;       TXL      '@'
;       clrf     check_calc      ; para calcular check sum

; endereco origem
;       TXL      meu_endereco_msb
;       TXL      meu_endereco_lsb

; endereco destino
;       TXW      endereco_origem

; comando ou resposta de comando
;       TXL      'D'

; tamanho da sequencia de dados
;       TXL      '0'

```

```

        TXL      '4'

; eco do comando

        TXF      comando_recebido

; status
        TXSTATUS

; convertendo os dados

        movlw    30H
        addwf    var3,Same
        addwf    var2,Same
        addwf    var1,Same

        movf     var3,w           ;Verificar overflow da conversao e
        IFNEQU   ';',teste_sinal ;se for o caso transmitir 99.9
        movlw    '9'
        movwf    var3
        movwf    var2
        movwf    var1
        goto     positivo
teste_sinal
        movf     var3,w
        IFNEQU   ':',positivo
        movf     var2,w           ;Verificar underflow da conversao e
        IFNEQU   ':',tx_sinal    ;se for o caso transmitir -9.9
        movlw    '9'
        movwf    var2
        movwf    var1
tx_sinal
        TXL      '-'              ;Sinal negativo
        goto     negativo
positivo
        TXF      var3              ;MSB
negativo
        TXF      var2              ;ISB
        TXL      '.'              ;ponto decimal
        TXF      var1              ;LSB

        movlw    30H
        subwf    var3,Same
        subwf    var2,Same
        subwf    var1,Same

; convertendo e transmitindo check sum

        TXCHECK

        TXL      '#'              ; fim de quadro
        TXL      0dh
        TXL      0ah

        goto     main

user_G
        goto     main

user_R
        goto     main

;-----
; Rotina de conversao (Observe que ela esta na pagina 1)
;
; Cada TDI tem sua propria rotina de conversao de dados que devera
; ser colocada abaixo. Terminar com "retlw 0".
;
        ORG      USUARIO_PAGINA1
adc
        bcf      Port_B,7          ; ad convertendo
        movlw    D'250'            ; dando um tempo para conversao
        movwf    var2
wh2adc
                                ; loop aprx. 25 ms
        decfsz   var2,1
        goto     delay1
        goto     ew2adc
;---
delay1
        movlw    (8000000d/120000d)+1
        movwf    var3
whladc
                                ; loop aprox. 100 microseg
        decfsz   var3,1            ; 4/clock
        goto     whladc            ; 8/clock
ewladc
;---

```

```

        goto    wh2adc
ew2adc
;
;   conversao pronta
        bsf     Port_B,7

; digito centenas

        movlw   D'50'
        movwf   contador_uso_geral
wh_cent
        movf    Port_B,w
        movwf   var3
        btfsc   var3,6
        goto    wh_cent
        btfss   var3,5
        goto    wh_cent
        btfss   var3,4
        goto    wh_cent
        decfsz  contador_uso_geral
        goto    wh_cent
        andlw   0fh
        movwf   var3

        movlw   D'50'
        movwf   contador_uso_geral
wh_unid
        movf    Port_B,w
        movwf   var1
        btfsc   var1,4
        goto    wh_unid
        btfss   var1,6
        goto    wh_unid
        btfss   var1,5
        goto    wh_unid
        decfsz  contador_uso_geral
        goto    wh_unid
        andlw   0fh
        movwf   var1

        movlw   D'50'
        movwf   contador_uso_geral
wh_deze
        movf    Port_B,w
        movwf   var2
        btfsc   var2,5
        goto    wh_deze
        btfss   var2,4
        goto    wh_deze
        btfss   var2,6
        goto    wh_deze
        decfsz  contador_uso_geral
        goto    wh_deze
        andlw   0fh
        movwf   var2
        retlw   0
;
;
;   org PIC56
        goto    start
;
        END

```

Apêndice E - Exemplo de arquivo de dados gerado pela Unidade Remota.

Parcela 1
Data : 25/03/94

Hora	Temperatura Sensor 01 - 15cm °C	Temperatura Sensor 02 - 30cm °C	Temperatura Sensor 03 - 60cm °C	Temperatura Sensor 04 - 15cm °C	Temperatura Sensor 05 - 30cm °C	Temperatura Sensor 06 - 60cm °C	Pressao Sensor 80 - 15cm mmHg	Pressao Sensor 84 - 30cm mmHg	Pressao Sensor 85 - 60cm mmHg
17:59:07	27.2	27.1	26.3	---	---	---	71.4	---	---
18:09:33	27.2	27.2	26.3	---	---	---	77.6	---	---
18:20:00	27.1	27.2	26.4	---	---	---	79.1	---	---
18:30:26	27.0	27.2	26.4	---	---	---	80.7	---	---
18:40:52	26.9	27.2	26.4	---	---	---	80.7	---	---
18:51:16	26.9	27.3	26.4	---	---	---	80.7	---	---
19:01:44	26.8	27.3	26.4	---	---	---	80.7	---	---
19:12:10	26.7	27.3	26.4	---	---	---	79.1	---	---
19:22:37	26.6	27.3	26.4	---	---	---	77.6	---	---
19:33:03	26.5	27.3	26.4	---	---	---	76.0	---	---
19:43:29	26.5	27.3	26.4	---	---	---	76.0	---	---
19:53:55	26.4	27.3	26.4	---	---	---	74.5	---	---
20:04:21	26.3	27.3	26.4	---	---	---	74.5	---	---
20:14:47	26.2	27.3	26.4	---	---	---	74.5	---	---
20:25:13	26.2	27.3	26.5	---	---	---	72.9	---	---
20:35:40	26.1	27.2	26.5	---	---	---	72.9	---	---
20:46:06	26.1	27.2	26.5	---	---	---	72.9	---	---
20:56:32	26.0	27.2	26.5	---	---	---	74.5	---	---
21:06:58	25.9	27.2	26.5	---	---	---	72.9	---	---
21:17:24	25.9	27.2	26.5	---	---	---	72.9	---	---
21:27:50	25.8	27.1	26.5	---	---	---	71.4	---	---
21:38:17	25.8	27.1	26.5	---	---	---	71.4	---	---
21:48:43	25.7	27.1	26.5	---	---	---	71.4	---	---
21:59:09	25.7	27.1	26.5	---	---	---	71.4	---	---
22:09:35	25.6	27.1	26.5	---	---	---	69.8	---	---
22:20:01	25.6	27.0	26.5	---	---	---	71.4	---	---
22:30:27	25.5	27.0	26.5	---	---	---	74.5	---	---
22:40:53	25.5	27.0	26.5	---	---	---	77.6	---	---
22:51:20	25.4	27.0	26.6	---	---	---	77.6	---	---
23:01:46	25.4	27.0	26.6	---	---	---	76.0	---	---
23:12:12	25.2	26.9	26.6	---	---	---	74.5	---	---
23:22:38	25.0	26.9	26.6	---	---	---	68.3	---	---
23:33:04	24.9	26.9	26.6	---	---	---	63.6	---	---
23:43:30	24.8	26.9	26.6	---	---	---	60.5	---	---
23:53:56	24.7	26.8	26.6	---	---	---	60.5	---	---
Minimo	24.7	26.6	26.3	---	---	---	74.0	---	---
Media	26.0	27.1	26.5	---	---	---	80.7	---	---
Maximo	27.2	27.3	26.6	---	---	---			

Parcela 2
Data : 25/03/94

Hora	Temperatura Sensor 07 - 15cm °C	Temperatura Sensor 06 - 30cm °C	Temperatura Sensor 09 - 60cm °C	Temperatura Sensor 0A - 15cm °C	Temperatura Sensor 0B - 30cm °C	Temperatura Sensor 0C - 60cm °C	Pressao Sensor 81 - 15cm mmHg	Pressao Sensor 86 - 30cm mmHg	Pressao Sensor 87 - 60cm mmHg
17:59:07	26.9	27.4	27.4	---	---	---	45.0	---	---
18:09:33	26.9	27.4	27.4	---	---	---	49.6	---	---
18:20:00	26.9	27.5	27.4	---	---	---	51.2	---	---
18:30:26	26.8	27.5	27.4	---	---	---	52.7	---	---
18:40:52	26.7	27.5	27.4	---	---	---	54.3	---	---
18:51:16	26.6	27.5	27.4	---	---	---	54.3	---	---
19:01:44	26.5	27.5	27.5	---	---	---	55.9	---	---
19:12:10	26.5	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
19:22:37	26.4	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
19:33:03	26.3	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
19:43:29	26.2	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
19:53:55	26.1	27.6	27.5	---	---	---	54.3	---	---
20:04:21	26.1	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
20:14:47	26.0	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
20:25:13	27.9	27.6	27.5	---	---	---	54.3	---	---
20:35:40	27.9	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
20:46:06	27.6	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
20:56:32	27.6	27.6	27.5	---	---	---	57.4	---	---
21:06:58	27.7	27.6	27.5	---	---	---	57.4	---	---
21:17:24	27.7	27.6	27.5	---	---	---	55.9	---	---
21:27:50	27.6	27.6	27.5	---	---	---	57.4	---	---

21:36:17	27.5	27.5	27.5	----	----	----	55.9	----	----
21:46:43	27.5	27.5	27.5	----	----	----	55.9	----	----
21:59:09	27.5	27.5	27.5	----	----	----	55.9	----	----
22:09:35	27.4	27.5	27.5	----	----	----	54.2	----	----
22:20:01	27.4	27.5	27.5	----	----	----	55.9	----	----
22:30:27	27.3	27.5	27.5	----	----	----	55.9	----	----
22:40:53	27.3	27.5	27.5	----	----	----	59.0	----	----
22:51:20	27.3	27.5	27.6	----	----	----	62.1	----	----
23:01:46	27.1	27.4	27.6	----	----	----	62.1	----	----
23:12:12	26.9	27.5	27.6	----	----	----	63.6	----	----
23:22:36	26.7	27.4	27.6	----	----	----	60.5	----	----
23:33:04	26.5	27.4	27.6	----	----	----	55.9	----	----
23:43:30	26.4	27.4	27.6	----	----	----	51.2	----	----
23:53:56	26.3	27.3	27.6	----	----	----	46.5	----	----
Minimo	26.3	27.3	27.4	----	----	----	45.0	----	----
Media	27.6	27.5	27.5	----	----	----	55.5	----	----
Maximo	28.9	27.6	27.6	----	----	----	63.6	----	----

Parcela 3
Data : 25/03/94

Hora	Temperatura Sensor 0D - 15cm °C	Temperatura Sensor 0E - 30cm °C	Temperatura Sensor 0F - 60cm °C	Temperatura Sensor 10 - 15cm °C	Temperatura Sensor 11 - 30cm °C	Temperatura Sensor 12 - 60cm °C	Pressao Sensor 82 - 15cm mmHg	Pressao Sensor 88 - 30cm mmHg	Pressao Sensor 89 - 60cm mmHg
17:59:07	XX.X	27.5	26.9	----	----	----	----	----	----
18:09:33	XX.X	27.6	26.9	----	----	----	----	----	----
18:20:00	XX.X	27.6	26.9	----	----	----	----	----	----
18:30:26	XX.X	27.6	26.9	----	----	----	----	----	----
18:40:52	XX.X	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
18:51:18	XX.X	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:01:44	28.0	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:12:10	28.0	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:22:37	28.0	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:33:03	28.0	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:43:29	27.9	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
19:53:55	27.9	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
20:04:21	27.9	27.8	26.9	----	----	----	----	----	----
20:14:47	27.6	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
20:25:13	27.6	27.8	26.9	----	----	----	----	----	----
20:35:40	27.7	27.8	26.9	----	----	----	----	----	----
20:46:06	27.7	27.8	26.9	----	----	----	----	----	----
20:56:32	27.7	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
21:06:56	27.7	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
21:17:24	27.6	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
21:27:50	27.6	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
21:36:17	27.6	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
21:46:43	27.6	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
21:59:09	27.5	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
22:09:35	27.5	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
22:20:01	27.5	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
22:30:27	27.4	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
22:40:53	27.4	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
22:51:20	27.4	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
23:01:46	XX.X	27.7	27.0	----	----	----	----	----	----
23:12:12	XX.X	27.6	27.0	----	----	----	----	----	----
23:22:36	26.9	27.6	27.0	----	----	----	----	----	----
23:33:04	26.8	27.5	27.0	----	----	----	----	----	----
23:43:30	26.8	27.5	27.0	----	----	----	----	----	----
23:53:56	26.7	27.5	27.0	----	----	----	----	----	----
Minimo	26.7	27.5	26.9	----	----	----	----	----	----
Media	27.5	27.7	26.9	----	----	----	----	----	----
Maximo	28.0	27.8	27.0	----	----	----	----	----	----

Parcela 4
Data : 25/03/94

Hora	Temperatura Substituindo 16 °C	Temperatura Substituindo 17 °C	Temperatura Substituindo 18 °C	Temperatura Sensor 16 - 15cm °C	Temperatura Sensor 17 - 30cm °C	Temperatura Sensor 18 - 60cm °C	Pressao Sensor 83 - 15cm mmHg	Pressao Sensor 8A - 30cm mmHg	Pressao Sensor 8B - 60cm mmHg
17:59:07	26.3	----	27.8	----	----	----	12.4	----	----

18:09:33	28.3	----	27.6	----	----	----	12.4	----	----
18:20:00	28.3	----	27.6	----	----	----	12.4	----	----
18:30:26	28.2	----	27.6	----	----	----	12.4	----	----
18:40:52	28.2	----	27.6	----	----	----	10.9	----	----
18:51:16	28.1	----	27.8	----	----	----	12.4	----	----
19:01:44	28.1	----	27.6	----	----	----	12.4	----	----
19:12:10	28.0	----	27.8	----	----	----	10.9	----	----
19:22:37	28.0	----	27.8	----	----	----	10.9	----	----
19:33:03	27.9	----	27.8	----	----	----	10.9	----	----
19:43:29	27.9	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
19:53:55	27.6	----	27.6	----	----	----	10.9	----	----
20:04:21	27.8	----	27.6	----	----	----	10.9	----	----
20:14:47	27.7	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
20:25:13	27.7	----	27.8	----	----	----	10.9	----	----
20:35:40	27.6	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
20:46:06	27.6	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
20:56:32	27.5	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:06:58	27.5	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:17:24	27.5	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:27:50	27.4	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:38:17	27.4	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:48:43	27.3	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
21:59:09	27.3	----	27.9	----	----	----	12.4	----	----
22:09:35	27.3	----	27.9	----	----	----	12.4	----	----
22:20:01	27.2	----	27.9	----	----	----	12.4	----	----
22:30:27	27.2	----	27.9	----	----	----	12.4	----	----
22:40:53	27.2	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
22:51:20	27.1	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:01:46	27.1	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:12:12	27.0	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:22:38	26.6	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:33:04	26.7	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:43:30	26.6	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
23:53:56	26.5	----	27.9	----	----	----	10.9	----	----
Minimo	26.5	----	27.8	----	----	----	10.9	----	----
Media	27.5	----	27.9	----	----	----	11.3	----	----
Maximo	28.3	----	27.9	----	----	----	12.4	----	----

Dados Climatologicos
Data : 25/03/94

Hora	Direcao do Vento Sensor B0	Velocidade do Vento Sensor B1	Pluviometro Sensor B7	Piranometro Sensor B3	Umidade do Ar Sensor B4	Evaporimetro Sensor B5	Temperatura Sensor B6	Termometro Sensor B2
	°	m/s	mm	KVm²/W	%	mm	°C	°C
17:59:07	236.25	00.0	0000.0	02.3	55.4	----	31.2	29.6
18:09:33	236.25	00.0	0000.0	00.5	57.7	----	30.9	29.0
18:20:00	270.00	00.0	0000.0	-0.1	60.7	----	30.7	28.6
18:30:26	270.00	00.0	0000.0	-0.4	59.6	----	30.2	28.6
18:40:52	270.00	00.0	0000.0	-0.5	61.2	----	30.3	27.9
18:51:16	270.00	00.0	0000.0	-0.5	61.4	----	30.2	27.6
19:01:44	270.00	00.0	0000.0	-0.5	62.2	----	30.2	27.3
19:12:10	270.00	00.0	0000.0	-0.5	62.1	----	30.2	27.7
19:22:37	270.00	00.0	0000.0	-0.4	62.5	----	30.0	27.2
19:33:03	270.00	00.0	0000.0	-0.4	63.5	----	30.0	27.0
19:43:29	270.00	00.0	0000.0	-0.4	64.0	----	29.7	27.1
19:53:55	270.00	00.0	0000.0	-0.4	64.4	----	29.9	27.3
20:04:21	270.00	00.0	0000.0	-0.4	65.0	----	29.5	26.9
20:14:47	270.00	00.0	0000.0	-0.4	66.0	----	29.6	27.2
20:25:13	270.00	00.0	0000.0	-0.4	66.5	----	29.6	27.0
20:35:40	270.00	00.0	0000.0	-0.5	66.8	----	29.4	26.7
20:46:06	270.00	00.0	0000.0	-0.5	67.9	----	29.3	26.7
20:56:32	270.00	00.0	0000.0	-0.5	66.2	----	29.3	27.0
21:06:58	270.00	00.0	0000.0	-0.5	67.2	----	29.2	26.7
21:17:24	270.00	00.0	0000.0	-0.4	67.5	----	28.9	26.3
21:27:50	270.00	00.0	0000.0	-0.5	68.1	----	28.9	26.5
21:38:17	270.00	00.0	0000.0	-0.5	68.4	----	28.7	26.4
21:48:43	270.00	00.0	0000.0	-0.4	69.5	----	28.9	26.3
21:59:09	270.00	00.0	0000.0	-0.4	69.3	----	28.7	26.6
22:09:35	270.00	00.0	0000.0	-0.4	69.8	----	28.7	26.5
22:20:01	270.00	00.0	0000.0	-0.4	70.3	----	28.3	26.7
22:30:27	225.00	00.9	0000.0	-0.4	74.2	----	26.3	26.5

22:40:53	270.00	05.5	0000.1	-0.6	78.3	---	24.6	25.7
22:51:20	247.50	01.0	0009.2	-0.5	92.5	---	21.3	22.5
23:01:46	315.00	00.5	0011.4	-0.4	93.5	---	21.5	22.4
23:12:12	326.25	00.4	0000.3	-0.4	91.7	---	22.4	22.9
23:22:38	326.25	00.0	0000.6	-0.5	89.0	---	24.1	22.9
23:33:04	146.25	00.7	0000.6	-0.4	85.9	---	23.7	23.6
23:43:30	123.75	00.0	0000.3	-0.5	83.1	---	23.4	23.6
23:53:56	202.50	00.6	0000.4	-0.5	82.3	---	22.7	23.3
Minimo	123.8	0.0	0.0	-0.6	55.4	---	21.3	22.4
Media	261.0	0.3	0.7	-0.3	70.1	---	26.0	26.4
Maximo	326.2	5.5	11.4	2.3	93.5	---	31.2	29.6

Parcela 1
Data : 26/03/94

Hora	Temperatura Sensor 01 - 15cm °C	Temperatura Sensor 02 - 30cm °C	Temperatura Sensor 03 - 60cm °C	Temperatura Sensor 04 - 15cm °C	Temperatura Sensor 05 - 30cm °C	Temperatura Sensor 06 - 60cm °C	Pressao Sensor 80 - 15cm mmHg	Pressao Sensor 84 - 30cm mmHg	Pressao Sensor 85 - 60cm mmHg
00:04:23	24.6	26.6	26.6	---	---	---	59.0	---	---
00:14:51	24.5	26.6	26.6	---	---	---	57.4	---	---
.									
.									
.									

Apêndice F - Biblioteca CBASE

A Cbase é uma biblioteca completa para gerenciamento de base de dados multiusuário, compatível com a linguagem C padrão, permitindo acesso indexado e seqüencial e em múltiplas chaves.

CARACTERÍSTICAS

- compatível com UNIX e DOS;
- todo código dependente do Sistema Operacional é isolado, facilitando a migração para novos Sistemas;
- inclui todo o código fonte;
- tanto registros como índices utilizam *buffers* do tipo LRU (Least Recently Used);
- possui proteção contra escrita e leitura de arquivos e
- utilitário **cbddl**, um processador de linguagem de definição de dados que gera automaticamente o código C, definindo a base de dados.

ARQUITETURA DA CBASE

A Cbase é projetada sobre uma arquitetura de quatro níveis: *File System*, *Buffered I/O*, *File Structure* e *ISAM*.

File System (Sistema de Arquivo): é o nível mais inferior, que integra o Sistema Operacional. Esta camada é acessada através de Chamadas ao Sistema, uma interface que varia de sistema para sistema.

Buffered I/O (Buffer E/S): nível acima do *File System*. Este nível tem duas funções principais: prover uma interface para o nível inferior e realizar “bufferização”. Para isso, é utilizada a biblioteca *blkio*, desenvolvida para acessar arquivos de base de dados, modelando os arquivos como uma coleção de blocos compostos de campos. (A biblioteca *stdio* também realiza a “bufferização” e fornece interface para acesso ao sistema de arquivos, mas seu uso é direcionado para manipulação de arquivos textos).

File Structure (Estrutura de Arquivo): é o nível mais complexo, onde são definidas as estruturas de arquivos. Como as diferentes estruturas de arquivos são apropriadas para diferentes aplicações, há mais do que uma simples biblioteca neste nível. A biblioteca *btree* organiza os arquivos utilizando a lógica de árvores, enquanto *lseq* estrutura os arquivos em forma de listas duplamente encadeadas.

ISAM - Indexed Sequential Access Method (Método de Acesso Seqüencial e Indexado): é a interface usualmente utilizada pelas aplicações Cbase. Como o próprio nome diz, este nível provê tanto acesso randômico aos registros através de índices como também o processamento seqüencial dos registros. A biblioteca que suporta este nível é a Cbase.

Arquitetura da Cbase

ISAM
File Structure
Buffered I/O
File System

Relação entre as bibliotecas e a arquitetura Cbase

Cbase
lseq/btree
blkio
system call

DEFINIÇÃO DA BASE DE DADOS

O primeiro passo em qualquer aplicação de base de dados é a definição da estrutura lógica da base de dados, isto é, os registros da base e os campos desses registros.

Para facilitar esse processo, a Cbase permite que base de dados sejam definidas utilizando uma DDL - Linguagem de Definição de Dados - relativamente simples.

O elemento mais importante da DDL é a definição dos registros. A definição de registros é similar as *struct* em C, enquanto que os tipos de dados diferem um pouco.

Para especificar um dos campos do registro como chave, basta colocar a palavra-chave *key* antes de seu tipo. Adicionando-se a palavra-chave *unique*, especifica-se que se trata de uma chave única. Definir uma chave significa que um índice é automaticamente mantido para aquele campo, permitindo acessos rápidos e eficientes. A especificação de uma base de dados utilizando a Linguagem de Definição de Dados utilizada pelo Cbase pode ser apreciada abaixo:

```
#define COL_MAX      (144)          /* Numero Maximo de Coletas */
#define DADOSP_MAX   (COL_MAX*36)   /* Maximo Numero de Dados das Parcelas */
#define DADOSC_MAX   (COL_MAX*8)    /* Maximo Numero de Dados - Dados Climat. */
#define HORAS_MAX    (COL_MAX*3)    /* Maximo Numero de Horas */

data file "dados.data" contains dadosrec; /* Arquivo de Dados */
index file "dados.index" contains rd_data; /* Arquivo de Indices */

record dadosrec
{
    unique key t_string rd_data[3]; /* Data: AA/MM/DD */
    t_char rd_colet;                /* Numero de Coletas do Dia */
    t_string rd_sensp[720];         /* (9 Sensores/Parcela)*(4 Parcelas)*(10 char) */
    t_float rd_dadp[DADOSP_MAX];    /* Dados das 4 Parcelas */
    t_float rd_mump[108];           /* Dados Minimos, Medios e Maximos */
    t_string rd_sensc[160];         /* (8 Sensores)*(10 char) - Dados Climat. */
    t_float rd_dadc[DADOSC_MAX];    /* Dados dos Dados Climatologicos */
    t_float rd_mmmc[24];            /* Dados Minimos, Medios e Maximos */
    t_string rd_horas[HORAS_MAX];   /* Horas: HH:MM:SS */
};

Arquivo dados.ddl
```

As informações do arquivo .DDL, mostrado acima, precisam ser transcritas para uma forma acessível ao programa C. Isso é feito pelo processador DDL - *cbddlp*.

A partir das informações do arquivo .DDL, o processador *cbddlp* gera todas as macros e estruturas de dados necessárias para definir completamente a base de dados C. Dois programas fontes são gerados:

- um *.h*, que deve ser incluído em todos os módulos do programa que manipulem a base de dados pois é requerido pelas aplicações desses módulos;
- outro *.i*, que é incluído em apenas um arquivo, geralmente o que contém o *main()*. Seu conteúdo será utilizado somente internamente, pela Cbase.

Os programas-fontes gerados pelo processador *cbddlp* a partir da especificação de *dados.ddl* são apresentados abaixo:

```

#ifndef H_DADOS          /* prevent multiple includes */
#define H_DADOS

/* library headers */
#include "cbase.h"

#define COL_MAX      (144)      /* Numero Maximo de Coletas */
#define DADOSP_MAX    (COL_MAX*36) /* Maximo Numero de Dados das Parcelas */
#define DADOSC_MAX    (COL_MAX*8) /* Maximo Numero de Dados - Dados Climat. */
#define HORAS_MAX     (COL_MAX*3) /* Maximo Numero de Horas */
/* record name */
#define DADOSREC      "dados.data"

/* dadosrec record definition */
typedef struct dadosrec {
    char rd_data[3];
    char rd_colet;
    char rd_sensp[720];
    float rd_dadp[DADOSP_MAX];
    float rd_mmmp[108];
    char rd_sensc[160];
    float rd_dadc[DADOSC_MAX];
    float rd_mmmc[24];
    char rd_horas[HORAS_MAX];
} dadosrec_t;

/* field names for record dadosrec */
#define RD_DATA      (0)
#define RD_COLET     (1)
#define RD_SENSP     (2)
#define RD_DADP      (3)
#define RD_MMMP      (4)
#define RD_SENSC     (5)
#define RD_DADC      (6)
#define RD_MMM       (7)
#define RD_HORAS     (8)
#define RDFLDC       (9)

/* field definition list for record dadosrec */
extern cbfield_t rdfldv[RDFLDC];

#endif /* #ifndef H_DADOS */

```

Arquivo dados.h

```

#ifndef I_DADOS          /* prevent multiple includes */
#define I_DADOS

#include "ansi.h"

/* ansi headers */
#ifdef AC_STDDEF
#include <stddef.h>
#endif

/* library headers */
#include "cbase.h"

/* local headers */
#include "dados.h"

/* field definition list for record dadosrec */
cbfield_t rdfldv[] = {
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_data),
        sizeof(struct dadosrec, rd_data),
        t_string,
        CB_FKEY | CB_FUNIQ,
        "dados.index"
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_colet),
        sizeof(struct dadosrec, rd_colet),

```

```

        t_char,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_sensp),
        sizeof(struct dadosrec, rd_sensp),
        t_string,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_dadp),
        sizeof(struct dadosrec, rd_dadp),
        t_float,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_mnmp),
        sizeof(struct dadosrec, rd_mnmp),
        t_float,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_sensc),
        sizeof(struct dadosrec, rd_sensc),
        t_string,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_dadc),
        sizeof(struct dadosrec, rd_dadc),
        t_float,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_mnmnc),
        sizeof(struct dadosrec, rd_mnmnc),
        t_float,
        0,
        NULL
    },
    {
        offsetof(struct dadosrec, rd_horas),
        sizeof(struct dadosrec, rd_horas),
        t_string,
        0,
        NULL
    },
    },
};
#endif /* #ifndef I_DADOS */

```

Arquivo dados.i

UTILIZANDO A BIBLIOTECA CBASE

A maneira como são utilizados os recursos da Cbase pode ser estudada através do esqueleto da aplicação de uma base de dados apresentado a seguir:

```

/* ansi headers */
#include <errno.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/* library headers */
#include <cbase.h>

/* local headers */
#include "dados.h"
#include "dados.i"

int main(int argc, char *argv[])
{
    cbase_t *cbp = NULL;
    int found = 0;
    struct dados data;

    /* create cbase */

```

```

if (cbcreate (PART, sizeof(struct part), RDFLDC, rdfldc) == -1){
    if (cbp == NULL){
        fprintf(stderr, "cbcreate: error %d. \n", errno);
        exit (EXIT_FAILURE);
    }
}

/* open cbase */
cbp = cbopen (DADOS, "r+", RDFLDC, rdfldc);
if (cbp == NULL){
    fprintf(stderr, "cbopen: error %d. \n", errno);
    exit (EXIT_FAILURE);
}

/* insert a register */
if (cbinsert (cbd, &date) == -1){
    if (errno == CREDUP){
        fprintf(stderr, "Part code %.*s already used.\n", sizeof (data.pt_code);
    }
    else{
        fprintf(stderr, "cbinsert"error %d.\n", errno);
    }
}

/* search a register */
found = cbkeysrch (cbd, PT_CODE, data.pt_code);
if (found == 0)
    fprintf(stderr, "key not found.\n");
}

/* delete a register */
cbdelcur(cbd);

/* close cbase */
if (cbclose(cbp) == -1){
    fprintf(stderr, "cbclose"error %d.\n", errno);
    exit (EXIT_FAILURE);
}

EXIT(EXIT_SUCCESS);

```

8. GLOSSÁRIO

adsorção

Fixação de moléculas de uma substância (o adsorvato) na superfície de outra substância (o adsorvente).

absorção

Fixação de uma substância, geralmente líquida ou gasosa, no interior da massa de outra substância, em geral sólida, e resultante de um conjunto complexo de fenômenos de capilaridade, atrações eletrostáticas, reações químicas, etc.

ASCII

American Standard Code for Information Interchange, conjunto de 256 códigos que compreendem a totalidade dos caracteres alfabéticos e numérico-decimais, além de vários símbolos de grafia.

AWG

Padrão de bitola para cabos de ligação elétrica. Atualmente pouco utilizado, pois se adotou a área da seção transversal em mm^2 para este tipo de especificação.

baud-rate

É a medida de quantas vezes por segundo o sinal analógico gerado por um modem muda de estado. Esta medida não é necessariamente igual à taxa de transferência em *bits* por segundo, *bps*. Dependendo da técnica de modulação, um único *baud* pode transmitir mais de um *bit* de informação. Portanto, a taxa de transmissão em *bps* será o número de *bits* por *baud* multiplicado pelo *baud-rate*. A maioria dos modems que transmitem a 1200 *bps* opera a 300 *bauds* e transmite quatro *bits* por *baud*.

bps

bits per second, número de *bits* transmitidos por segundo, no sistema de transmissão serial (ver também *baud-rate*).

CA

Corrente Alternada.

CC

Corrente Contínua.

CNPDIA

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, da EMBRAPA.

constante solar

É a quantidade de energia radiante, por unidade de tempo, que chega em uma superfície, colocada perpendicularmente aos raios solares, no topo da atmosfera (a cerca de 100 Km) à distância média do Sol à Terra (Reichardt, 1987).

DAT

Digital Audio Tape, fita de áudio digital que pode ser utilizada para o armazenamento digital, atingindo capacidades da ordem de Gigabytes (10^9 bytes).

DIN

Iniciais de *Deutsche Institut fur Normung* para se referir a um tipo de conector de áudio de alta qualidade, bastante utilizado em equipamentos domésticos.

DOS

Disk Operating System, sistema operacional largamente utilizado em microcomputadores compatíveis com a marca IBM-PC.

edáfico

Relativo ao solo.

EMBRAPA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária do governo federal.

FORTTRAN

Formula Translation, linguagem de computação dirigida para a área científica.

FTP

File Transfer Protocol, padrão de protocolo para transferência de arquivos entre diferentes máquinas ou plataformas.

handshake

São sinais que indicam quando os dispositivos envolvidos na transferência de dados estão prontos para comunicação. Esses sinais podem ser controlados por software ou por hardware. O controle por hardware envolve níveis lógicos em linhas específicas para deter ou liberar o fluxo de dados. O controle por software utiliza os próprios dados, através de informações específicas, para suspender temporariamente a transmissão de dados.

híbrida

Circuito que combina os sinais analógicos de transmissão e recepção de um *modem* em somente dois fios para que possam ser ligados ao mesmo tempo em uma linha telefônica.

IAC

Instituto Agrônomo de Campinas, tradicional órgão de pesquisa ligado à Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

Internet

Conjunto de redes que utiliza os serviços do protocolo TCP/IP e que opera como uma única rede virtual. A idéia é a de permitir conectividade universal entre computadores e vários serviços em nível de aplicação, como o correio eletrônico.

LEACHM

Leaching Estimation And Chemistry Model - Pesticide, modelo matemático de previsão do destino de pesticidas no solo.

LPR

Line Printer Remote, protocolo que permite a impressão remota em uma rede.

modem

Modem é um termo formado pelas iniciais de *MO*dulator e *DE*Modulator. Em comunicação de dados, um modulator converte sinais digitais, normalmente no formato serial para uma portadora analógica, a fim de permitir sua transmissão pela rede telefônica. Um demodulador recebe a portadora na forma analógica e a converte novamente em um sinal digital. Os sinais digitais são tipicamente uma sequência de pulsos, os quais possuem um espectro de frequências contínuo de zero a infinito. Sendo assim, na sua forma original eles não podem ser transmitidos por linhas telefônicas porque elas têm banda de frequência limitada entre 300 e 3400 Hz.

nible

Assim como o *byte* se refere a um conjunto de 8 *bits*, o *nible* se refere a um conjunto de quatro *bits*.

NFS

Network File System, protocolo desenvolvido pela SUN Microsystem e que tem se tornado um padrão da indústria de informática, o qual permite que um conjunto de

computadores em rede tenha acesso a arquivos entre si, como se esses arquivos estivessem armazenados localmente.

PC

Personal Computer.

power on reset

Seqüência de iniciação de uma unidade lógica de processamento (processador, microprocessador, microcontrolador etc.) que a coloca em condições iniciais precisamente conhecidas.

protocolo de comunicação

Na comunicação de computadores interligados em rede, a transferência de dados é normalmente controlada por um conjunto de regras ou convenções definido como protocolo de comunicação. As principais finalidades dos protocolos são o uso eficiente e ordenado dos recursos de comunicação e a manutenção da integridade dos dados. Os protocolos especificam o formato dos dados e das mensagens que controlam o fluxo desses dados, definem procedimentos para a troca dessas mensagens e estabelecem a temporização e o meio físico para a comunicação.

RAM

Random Access Memory, memória de trabalho volátil (perde o conteúdo quando desligada) onde os programas são executados e os dados armazenados temporariamente.

RISC

Reduced Instruction Set Computer, tecnologia inovadora na arquitetura de computadores que utiliza um número reduzido de instruções de máquina que normalmente são executadas mais rapidamente que as instruções de uma arquitetura convencional denominada *Complete Instruction Set Computer* ou *CISC*. A tecnologia RISC explora o fato de que, na maior parte do tempo, os computadores estão executando instruções simples.

RS-485

Padrão de transmissão de dados que utiliza sinais diferenciais para anular os efeitos de diferenças de potencial entre aterramentos e ruídos de modo comum na linha de transmissão. Esse padrão foi estabelecido pela EIA (Electronic Industry Association) em 1983, com base no padrão semelhante RS-222, porém com a capacidade de permitir ligações multipontos.

SLIP

Serial Line Internet Protocol, uma especificação para o uso do protocolo TCP/IP através de linhas seriais assíncronas de baixa velocidade.

UNIX

Sistema operacional desenvolvido nos laboratórios da Bell System que oferece o recurso de tempo compartilhado e que se tornou padrão em estações de trabalho (Bell System, 1978).

Watch Dog Timer

Recurso utilizado para a recuperação da seqüência lógica de execução de um programa, caso o processador, por motivos diversos, deixe de executar a seqüência programada.

Tanque classe A

Tanque no formato redondo, de dimensões 1,22 m de diâmetro por 0,3 m de altura.

TCP/IP

Transmission Control Protocol/Internet Protocol, padrão Internet de protocolo em nível de transporte que oferece um serviço confiável de transmissão de dados bidirecional.

Telnet

Conexão de um terminal remoto utilizando o padrão de protocolo Internet. Através do *telnet* um usuário em um determinado local pode interagir com um sistema remoto de tempo compartilhado, em outra localidade, como se ele estivesse conectado diretamente a essa máquina remota.

X-Term

Terminal gráfico para o padrão X Window System.

X Window System

Ambiente gráfico baseado em janelas que é independente do fabricante e da arquitetura da máquina e também é transparente através de redes. O sistema X permite que uma aplicação possa mostrar informações e receber comandos de um terminal gráfico nesse padrão.